

INOVASI DAN PENDAYAGUNAAN TEKNOLOGI UNTUK INDONESIA BERKEMAJUAN



Sabtu, 04 November 2017

08.00 - 16.30 WIB

Aula Ahmad Dahlan Lantai 6
Gedung A FKIP UHAMKA

Jl. Tanah Merdeka Kp. Rambutan,
Ciracas, Jakarta Timur.

PEMBICARA UTAMA

Dr. Handry Satriago
(CEO General Electric Indonesia)

PEMBICARA

Muhammad Fajrin Rasyid S.T.
(CFO Bukalapak.com)

Adityo Pratomo S.T., M.IDEA
(Labtek Indie)

Cahyadi Setiawan
(PT. Robo Marine Indonesia)

PENYELENGGARA : FAKULTAS TEKNIK UHAMKA

📍 Jl. Tanah Merdeka No. 6 Kp. Rambutan, Ciracas, Jakarta Timur

☎ (021) 8400941 📠 (021) 87782739

✉ teknoka@uhamka.ac.id 🌐 teknoka.uhamka.ac.id

DIDUKUNG OLEH :

Bukalapak



PENERBIT ERLANGGA
Kami Melayani Ilmu Pengetahuan



Prosiding
Seminar Nasional TEKNOKA (Teknologi, Kualitas dan Aplikasi) ke - 2
ISSN Cetak 2502-8782 / ISSN Online 2580-6408

Reviewer (Penelaah)

Ir. Harry Ramza, MT., PhD, MIPM (Program Studi Teknik Elektro, FT-UHAMKA, Jakarta - Indonesia).
Dr. Sugema, M.Kom (Program Studi Teknik Informatika, FT-UHAMKA, Jakarta - Indonesia).
Dr. Dan Mugsidi, MT (Program Studi Teknik Mesin, FT - UHAMKA, Jakarta - Indonesia).
Paramita Mirza, PhD (Max-Planck-Institut für Informatik, (Saarbrücken, Germany).
Dr. Ir. Yohannes Dewanto (Program Studi Teknik Elektro, FT - Universitas Surya Darma, Jakarta - Indonesia).
Dr. Herna Dewita (Program Studi Teknik Mesin, FT - Universitas Mercu Buana, Jakarta - Indonesia).
Joko Siswanto, MS, PhD (Program Studi Teknik Informatika, Universitas Surabaya, Surabaya - Indonesia).
Dr. Eng. Hendra, MT (Program Studi Teknik Mesin, Universitas Bengkulu, Bengkulu - Indonesia).

Ketua Editor

Ir. Harry Ramza, MT, PhD, MIPM

Editor Anggota

Arien Bianingrum, S.Sos
Drs Arjoni Amir, MT
Atiqah Meutia Hilda, S.Kom, M.Kom
Dwi Astuti Cahyasiwi, ST, MT
Estu Sinduningrum, SST, MT

Administrator

Herman Fauzi

Alamat

Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka
Jalan Tanah Merdeka No. 6, Kp Rambutan, Jakarta 13540
Telp : +62 21 8400941 / Faks : +62 21 8778 2739



Teknoka@2017

Editorial

Prosiding Seminar Nasional Teknoka ke – 2 mempunyai tema mengenai “*Inovasi dan Pendayagunaan Teknologi Untuk Indonesia Berkemajuan*”. Makalah yang disajikan berkaitan dengan perkembangan teknologi yang sedang berkembang pada masa sekarang. Pembagian kedalam tiga bidang; Bidang Teknik Informatika, Bidang Teknik Elektro dan Bidang Teknik Mesin bertujuan untuk pemetaan kepakaran yang disesuaikan kompetensi dan latar belakang peneliti.

Untuk bidang teknik informatika perkembangan *Knowledge Management System* telah dikembangkan oleh beberapa kelompok peneliti, pengembangan aplikasi penilaian pembelajaran berbasis android, serta pengembangan sistem *database* yang digunakan pada perusahaan yang memerlukan sistem manajemen informasi yang praktis dan berguna. Begitupula dengan pemanfaatan aplikasi *opensource* juga telah diberdayakan secara maksimal sebagai perangkat yang cukup efisien serta berbagai pemanfaatan lainnya.

Untuk bidang teknik elektro, beberapa peneliti telah memanfaatkan beberapa transduser elektronik untuk keperluan medis, pemanfaatan mikrokontroler untuk menghasilkan perangkat yang dapat digunakan secara langsung dan sebagai teknologi tepat guna. Penggunaan transformator tiga fasa untuk mengatasi fenomena harmonisa arus juga telah dilaporkan secara praktis serta pemanfaatan transfer daya nirkabel untuk keperluan kopling induksi. Beberapa peneliti juga telah melaporkan hasil penelitian yang berkaitan dengan simulasi atau komputasi mengenai perubahan frekuensi akibat faktor perubahan beban serta simulasi menggunakan perangkat OptiSys untuk menghasilkan perancangan sistem teknologi komunikasi optik, begitupula perkembangan simulasi antenna terkini telah dilaporkan oleh beberapa kelompok peneliti.

Untuk bidang teknik mesin, beberapa kelompok peneliti telah melaporkan hasil pengujian bahan serta fenomena – fenomena yang berhubungan dengan pemanfaatan turbin *pelton*. Pendayagunaan panel surya mulai dikembangkan untuk keperluan masyarakat sebagai inovasi teknologi yang berkelanjutan. Dilain pihak peneliti juga memberikan pembelajaran kepada pembaca mengenai potensi batubara sebagai sumber energi alternative serta pembahasan mengenai pembangkit listrik tenaga nuklir yang telah dikembangkan negara Korea Selatan sebagai bahan pertimbangan pembaca.

Hasil – hasil yang telah disampaikan secara signifikan dapat memberikan kontribusi secara akademik dan non-akademik sebagai peningkatan sumber daya ilmiah dan inovasi untuk kepentingan masyarakat industri secara khusus dan Indonesia secara umumnya.

Jakarta, 4 November 2017

Ketua Editor

Ir. Harry Ramza, MT, PhD, MIPM

Kata Sambutan Ketua Pelaksana

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah Subhanahuwata'ala, atas segala rahmat dan hidayah-Nya yang telah diberikan kepada kita semua, sehingga buku Prosiding Seminar Nasional Teknologi "TEKNOKA 2" yang diselenggarakan oleh Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA tanggal 4 November 2017 dapat terwujud.

Buku prosiding ini memuat sejumlah artikel hasil penelitian Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik UHAMKA, dosen dari perguruan tinggi lain, hasil penelitian kolaboratif antara dosen dan mahasiswa, serta dari peneliti lain. Untuk itu perkenankan kami mengucapkan terima kasih kepada:

1. Rektor Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA yang telah memfasilitasi pelaksanaan seminar ini.
2. Dekan beserta seluruh jajaran Pimpinan Fakultas Teknik UHAMKA, serta Panitia Seminar Nasional Teknologi ini yang telah menyumbangkan waktu, tenaga dan pikirannya dalam menyukseskan kegiatan seminar ini.
3. Bapak/Ibu Dosen, Peneliti dan Mahasiswa yang telah menyumbang artikelnya dalam seminar ini.

Semoga prosiding ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, untuk kepentingan pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, seni dan budaya. Mohon maaf jika masih banyak terdapat kekurangan baik dalam penyelenggaraan seminar maupun dalam penerbitan buku prosiding ini. Saran dan kritik yang membangun sangat kami harapkan demi kesempurnaan prosiding ini.

Jakarta, 4 November 2017

Mia Kamayani, ST, MT

Kata Sambutan
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

Alhamdulillah, berkat rahmat dan karunia dari Allah SWT serta upaya dari seluruh Team Teknoka II, Proceeding Teknoka II dalam rangka seminar Nasional Teknologi (Teknoka II) Fakultas Teknik UHAMKA dapat tersusun dan terbit pada saat seminar Teknoka ini dilaksanakan.

Proceeding ini memuat Artikel dari Dosen, Peneliti dan Mahasiswa baik dari internal UHAMKA maupun dari luar UHAMKA, yang mengikuti kegiatan Seminar Teknologi (Teknoka II) yang diselenggarakan oleh Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof.DR,HAMKA pada tanggal 4 November 2017, di Aula Ahmad Dahlan, Kampus UHAMKA Jl.Tanah Merdeka, Jakarta Timur. Pimpinan Fakultas Teknik UHAMKA menyampaikan Ucapan Terimakasih Kepada Pimpinan UHAMKA, Seluruh Civitas AKademika Fakultas Teknik UHAMKA, Panitia Teknoka II, para sponsor dan semua pihak yang telah mendukung terselenggaranya acara seminar nasional dan terbitnya buku Teknoka II ini.

Semoga Buku Proceeding Teknoka II ini dapat memberikan manfaat buat kita semua, Mohon maaf jika masih terdapat kekurangan dalam penyusunan buku Proceeding ini, semoga kedepan kami dapat memperbaikinya.

Jakarta, 4 November 2017.

Dr. Sugema, M.Kom

Daftar Isi

Editorial	iii
Kata Sambutan Ketua Pelaksana	v
Kata Sambutan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka	vii
Daftar Isi	ix

Bidang Teknik Informatika

<i>Herlinda, I. Mutia & Atikah, “Perancangan Knowledge Management System (KMS) Kurikulum 2013 Sekolah Menengah Atas Negeri Di Jakarta Selatan”</i>	I1 – I7
<i>W. Wisudawan, B. Hendriana, I. Nuriadin & H. Ramza, “Pengembangan Aplikasi Math Mobile Learning Bangun Datar Berbasis Android pada Materi Segitiga dan Segiempat Pelajaran Matematika di Tingkat SMP”</i>	I8 – I13
<i>A. Gunawan & J. F. Andry, “Audit Aplikasi Zahir di PT Radisa Mahardi Rekatama Menggunakan Framework COBIT 5”</i>	I14 – I21
<i>A. I. Harsapranata, “Pemanfaatan Open Source untuk Internal dan Eksternal DNS di Perusahaan</i>	I22 – I28
<i>Suryadi & J. F. Andry, “Perancangan Enterprise Architecture Menggunakan Togaf Architecture Development Method (Studi Kasus: Yakuza Gym Jakarta Barat)</i>	I29 – I34
<i>B. Mujasir, I. Nuriadin, & B. Hendriana, “Pengembangan Mobile Learning Aplikasi Castle Math Berbasis Sistem Operasi Android pada Materi Bangun Ruang Sisi Datar Tingkat SMP/MTS”</i>	I35 – I41
<i>I. B. Sukmajaya & J. F. Andry, “Audit Sistem Informasi Pada Aplikasi Accurate Menggunakan Model Cobit Framework 4.1 (Studi Kasus: PT. Setia Jaya Teknologi)”.....</i>	I42 – I51
<i>Wamiliana, Warsono & M. D. Maulana, “Perbedaan Solusi Masalah Instalasi Jaringan Multi Tahap Dalam Proses Koneksi Menggunakan Algoritma Modifikasi Prim dan GNU Octave”</i>	I52 – I55
<i>Widiarti, R. R. Pertiwi & A. Sutrisno, “Perbandingan Mean Squared Error (MSE) Metode Prasad-Rao dan Jiang-Lahiri-Wan Pada Pendugaan Area Kecil”</i>	I56 – I60
<i>D. Kurniasari, N. Setiawan, Warsono & Y. Antonio, “Pendugaan Parameter Model Produksi Constant Elasticity of Substitutions (CES) dengan Metode Kuadrat Terkecil Nonlinear”</i>	I61 – I66

<i>N. Zakiyan, E. Sinduningrum & H. Irfan, “Perancangan Media Pembelajaran Virtualisasi Masjidil Haram Dengan Virtual Reality”</i>	I67 – I74
<i>Ritzkal & M. Subchan, “Pengukuran Kualitas Perangkat Lunak Sistem Manajemen Pelaporan Kegiatan Berbasis Web Peringatan Berbasis Email”</i>	I75 – I80
<i>D. Utomo, M. Sholeh, & A. Avorizano, “Membangun Sistem Mobile Monitoring Keamanan Web Aplikasi Menggunakan Suricata dan Bot Telegram Channel”</i>	I81 – I87
<i>Y. Adharani & P. Meilina, “Penjadwalan Imunisasi Anak Usia 0 – 18 Tahun Menggunakan Metode Forward Chaining”</i>	I88 – I95
<i>M. A. Kusuma, M. Kamayani, A.Avorizano, “Pencarian Full Text Pada Koleksi Skripsi Fakultas Teknik Uhamka Menggunakan Metode Vector Spacemodel”</i>	I96 – I102
<i>A. R. Ruli, “Implementasi Active Directory Singgle Domain pada Anak Perusahaan Akita Jaya Mobilindo Jakarta”</i>	I103 – I108
<i>Aprianda, A. M. Hilda, G. Prayitno, “Penerapan Logika Fuzzy Pada Alat Pengering Lada Otomatis Berbasis Mikrokontroler DHT-22”</i>	I109 – I116

Bidang Teknik Elektro

<i>A. Gamayel, “Pengaruh Bentuk Bluff Body Terhadap Tegangan Listrik yang dihasilkan Piezoelektrik dengan Sistem Kantilever”</i>	E1 – E5
<i>M. R. Robiansyah, “Perancangan Kontroler Untuk Turbin Angin Skala Kecil”</i>	E6 – E15
<i>A. D. M. Surachman, M. Ramdani, & R. Nugraha, “Desain Dan Implementasi Lengan Robot Berbasis Electromyogram Untuk Orang Berkebutuhan Khusus”</i>	E16 – E23
<i>I. M. W. Kastawan, “Reduksi Harmonisa Arus Sumber Tiga-Fasa dengan Transformator Penggeser Fasa”</i>	E24 – E30
<i>Supriyadi, E. Rakhman, Suyanto, A.Rahman, & N. C. Basjaruddin, “Transfer Daya Nirkabel dengan Kopling Induksi”</i>	E31 – E36
<i>A. Goeritno & W. K. Soekarna, “Simulasi Perubahan Frekuensi Akibat Perubahan Beban Untuk Prediksi Waktu Kestabilan pada Sistem Tenaga Listrik Dua Area”</i>	E37 – E46
<i>F. Pahlawan, D. A. Cahyasiwi & K. Fayakun, “Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON): Studi Kasus Perumahan Graha Permai Ciputat”</i>	E47 – E54
<i>Nuryanti, Suparman & E. S. Amitayani, “Analisis Kelayakan Finansial Proyek PLTN SMR di Indonesia Dengan Pendekatan Probabilistik: Studi kasus pengaruh</i>	

<i>penambahan jumlah variabel ketidakpastian”</i>	E55 – E60
<i>M. Musaruddin, A. Munawir, & S. Hay, “Pengaruh Pemasangan Pembangkit Terdistribusi (Distributed Generation) Terhadap Magnitude Arus Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik”</i>	E61 – E67
<i>Triyono, D. A. Cahyasiwi, E. Roza, & K. Fayakun, “Analisis Interferensi TV Digital Terhadap Long Term Evolution (LTE) Pada Frekuensi 700 MHZ”</i>	E68 – E77
<i>Sukmara, E. Roza, & D. A. Cahyasiwi, “Rancang Bangun Antena Multiband V-Double Dipole Frekuensi 700 MHz dan 2,4 GHz”</i>	E78 – E88
<i>Rosalina, I. Qosim, dan M. Mujiudin, “Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (Proportional Integral Derivative)”</i>	E89 – E94

Bidang Teknik Mesin

<i>U. Sumirat, A. Djohar, I. Kuntadi & S. Supriatno, “Analisis Sifat Mekanis Magnesium Melalui Uji Tarik”</i>	M1 – M3
<i>A. S. Mubarak, M. Y. Djeli & D. Mugsidi, “Pengaruh Berat Bucket Terhadap Putaran dan Torsi Pada Turbin Pelton”</i>	M4 – M8
<i>M. Wasi, D. Mugsidi, & Rifky, “Uji Eksperimental Pengaruh Fresnel Pada Modul Surya 10 W Peak Dengan Posisi Sesuai Pergerakan Arah Matahari”</i>	M9 – M16
<i>G. Gundara, “Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Serat Gelas Berlapis”</i>	M17 – M21
<i>M. Gunara, “Potensi Batubara Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Pengembangan Industri Logam”</i>	M22 – M27
<i>T. Suhaemi, “Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Korea Selatan: Pembelajaran Bagi Indonesia”</i>	M28 – M36
<i>D. Agusman, Rifky, & A. K. Buono, “Pengaruh Starter Ragi dalam Proses Pembentukan Biogas Limbah Buah”</i>	M37 – M43
<i>O. Heriyani, D. Mugsidi & H. Faturahman, “Pengaruh Kekasaran Material Pada Laju Penguapan Air Laut Dalam Proses Desalinasi Dengan Panas Matahari”</i>	M44 – M48

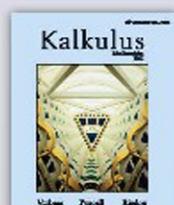
Bidang
Teknik Informatika

15

Judul unggulan bidang Mipa-Teknik



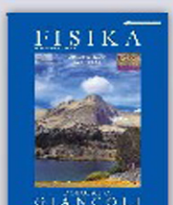
PENERBIT ERLANGGA



KALKULUS JL.1 ED.9
PURCELL
51-34-020-0
Tahun 2010 | 424 Hal
9789790339378
Rp 310.000



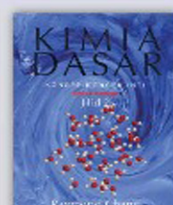
KALKULUS JL.2 ED.9
PURCELL
51-34-021-0
Tahun 2011 | 448 Hal
9789790991545
Rp 278.000



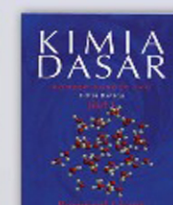
FISIKA JL.1 ED.7
DOUGLAS C. GIANCOLI
007-530-003-0
Tahun 2014 | 608 Hal
9785022981885
Rp 310.000



FISIKA JL.2 ED.7
DOUGLAS C. GIANCOLI
007-530-004-0
Tahun 2015 | 408 Hal
9786022984337
Rp 245.000



KIMIA DASAR JL.1 ED.3
RAYMOND CHANG
22-00-025-2
Tahun 2005 | 440 Hal
9757810399
Rp 395.000



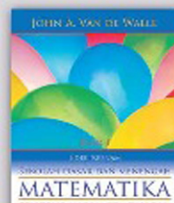
KIMIA DASAR JL.2 ED.3
RAYMOND CHANG
22-00-025-3
Tahun 2006 | 344 Hal
9797810402
Rp 325.000



DATA ARSITEK JL.1 ED.33
ERNST NEUFERT
32-00-101-8
Tahun 1996 | 304 Hal
9794113077
Rp 420.000



DATA ARSITEK JL.2 ED.33
ERNST NEUFERT
32-00-101-9
Tahun 2003 | 304 Hal
9794115525
Rp 247.000



MATEMATIKA: PENGEMBANGAN PENGAJARAN JL.1 ED.6
JOHN VAN DE WALLE
51-84-002-0
Tahun 2008 | 336 Hal
9789790331310
Rp 210.000



MATEMATIKA: PENGEMBANGAN PENGAJARAN JL.2 ED.6
JOHN VAN DE WALLE
51-84-005-0
Tahun 2009 | 312 Hal
9789790334380
Rp 210.000



MATEMATIKA U/ TEKNIK JL.1 ED.5
K.A. STROUD
24-00-065-9
Tahun 2004 | 696 Hal
9796889985
Rp 418.000



MATEMATIKA U/ TEKNIK JL.2 ED.5
K.A. STROUD
24-00-065-0
Tahun 2004 | 468 Hal
9796889994
Rp 423.000



BIOLOGI JL.1 ED.8
CAMPBELL
51-34-017-0
Tahun 2010 | 606 Hal
9789790756885
Rp 597.000



BIOLOGI JL.2 ED.8
CAMPBELL
51-34-018-0
Tahun 2012 | 568 Hal
9789790757776
Rp 440.000



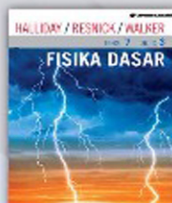
BIOLOGI JL.3 ED.8
CAMPBELL
51-34-019-0
Tahun 2012 | 576 Hal
9789790991538
Rp 406.000



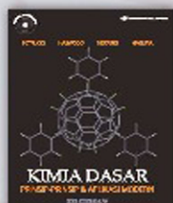
FISIKA DASAR JL.1 ED.7
HALLIDAY, RESNICK & WALKER
007-530-005-0
Tahun 2012 | 548 Hal
9789790993273
Rp 310.000



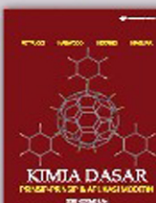
FISIKA DASAR JL.2 ED.7
HALLIDAY, RESNICK & WALKER
007-530-006-0
Tahun 2014 | 544 Hal
9786022415954
Rp 370.000



FISIKA DASAR JL.3 ED.7
HALLIDAY, RESNICK & WALKER
007-530-007-0
Tahun 2014 | 288 Hal
9786022417361
Rp 255.000



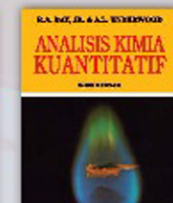
KIMIA DASAR JL.1 ED.9
PETRUCCI
51-34-022-0
Tahun 2011 | 448 Hal
9789790755895
Rp 400.000



KIMIA DASAR JL.2 ED.9
PETRUCCI
51-34-023-0
Tahun 2012 | 488 Hal
9789790991989
Rp 320.000



KIMIA DASAR JL.3 ED.9
PETRUCCI
51-34-024-0
Tahun 2014 | 472 Hal
9786022411628
Rp 290.000



ANALISIS KIMIA KUANTITATIF ED.6
R.A. DAY & UNDERWOOD
22-00-032-5
Tahun 2002 | 692 Hal
9789796882410
Rp 487.000



PERENCANAAN STRUKTUR BAJA DENGAN METODE LRFD ED.2
AGUS SETIAWAN
007-624-001-0
Tahun 2013 | 368 Hal
9786022414988
Rp 220.000



PENGANTAR PENERBANGAN PERSPEKTIF PROFESIONAL
CAPT. DESMOND H.
51-17-001-0
Tahun 2013 | 384 Hal
978602241100-0
Rp 203.000



BERPIKIR MATEMATIS: MATEMATIKA UNTUK SEMUA
WONO SETYA BUDHI
Kode Buku : 007-511-002-0
Tahun 2015 | 272 Hal
9786022982791
Rp 113.000



ARSITEKTUR BENTUK, RUANG & TATANAN ED.3
FRANCIS D.K. CHING
51-37-068-0
Tahun 2009 | 448 Hal
9789790339385
Rp 290.000



ILUSTRASI KONSTRUKSI BANGUNAN
FRANCIS D.K. CHING
51-38-012-0
Tahun 2008 | 456 Hal
9789790159440
Rp 296.000

ERLANGGA GOES TO Campus

PIRACY ISN'T PART OF ME

ErlanggaKampus

Penerbit Erlangga

@ErlanggaPerti

Belajar Lebih, Lebih Belajar

erlangga.co.id

PERANCANGAN *KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM* (KMS) KURIKULUM 2013 SEKOLAH MENENGAH ATAS NEGERI DI JAKARTA SELATAN

Herlinda^{1*}, Intan Mutia², Atikah³

Universitas Indraprasta PGRI

Jl. Nangka No. 58 C Tanjung Barat Jagakarsa Jakarta Selatan

E-mail : herlindasaid72@gmail.com, as_syifaraa@yahoo.com, atikah_mardi@yahoo.com

Abstrak – Penelitian ini secara jangka panjang memberikan kontribusi untuk penerapan *Knowledge Management System* (KMS) Kurikulum 2013 pada Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN). Secara akademis dapat membantu untuk : 1) Menjadi pusat pengelolaan pengetahuan bagi lingkungan Sekolah Menengah Atas Negeri, 2) Sebagai sarana menampung/menyimpan, mendiskusikan, memanfaatkan pengetahuan sesuai regulasi institusi, 3) mengoptimalkan pemanfaatan teknologi sistem informasi pada manajemen pengetahuan, demi efisiensi dan efektifitas pembelajaran kurikulum 2013 internal Sekolah Menengah Atas Negeri, 4) Memudahkan guru mencari informasi ilmu pengetahuan terkait mata pelajaran yang diampunya. Lokasi penelitian di Jakarta Selatan dengan subjek penelitian adalah Sekolah Menengah Atas Negeri 34 Pondok Labu. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif jenis studi kasus dengan kerangka kerja model Amrit Tiwana. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini adalah kuesioner, wawancara, dan observasi. Tahap analisis dan disain dengan pendekatan berorientasi objek menggunakan UML. Hasil penelitian rancangan KMS berkualitas baik dengan fitur utama: input data guru, mata pelajaran, forum diskusi, memuat dan mengunduh berkas, dan pencarian berkas.

Kata kunci: *Knowledge Management System, Kurikulum 2013, Model Tiwana, SMAN, UML.*

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi semakin cepat dan merambah di semua bidang, termasuk di bidang pendidikan. Dalam penyelenggaraan nya di sekolah, melibatkan guru dan siswa, melalui interaksi belajar mengajar. Pendidik harus paham materi pelajaran dan model-model pembelajaran agar meningkatkan motivasi belajar siswa. Guru harus berupaya melakukan hal-hal konstruktif, agar dapat meningkatkan kompetensi ke-profesi-annya. Tersedianya sarana prasarana sekolah pun berperan penting bagi proses pembelajaran [1].

Pendidikan formal diadakan di sekolah, yaitu lembaga yang dirancang untuk pengajaran di bawah pengawasan guru. Sekolah dipimpin Kepala Sekolah, dibantu oleh Wakil Kepala Sekolah. Jumlah Wakil Kepala Sekolah di setiap sekolah berbeda, tergantung kebutuhan. Sekolah Menengah Atas merupakan sekolah jenjang terakhir sebelum siswa menentukan minatnya ke jenjang perguruan tinggi, yang diselenggarakan pemerintah maupun swasta.

SMA Negeri 34 merupakan instansi besar, dengan banyak pengetahuan sebagai aset informasi yang harus dikelola agar dimanfaatkan maksimal.

Kurikulum 2013 (Kurtis) adalah kurikulum yang kini berlaku dalam Sistem Pendidikan Indonesia, diterapkan menggantikan Kurikulum-2006 (KTSP). Kurtis awalnya diterapkan di beberapa sekolah unggulan sebagai sekolah rintisan, dengan mengedepankan empat (4) aspek penilaian, [2] yaitu aspek pengetahuan, aspek keterampilan, aspek sikap, dan perilaku. Adapun perubahan-perubahan yang ada dalam kurikulum 2013 dari kurikulum sebelumnya antara lain adalah: 1) Perubahan Standar Kompetensi Lulusan (SKL). Penyempurnaan SKL memperhatikan pengembangan nilai pengetahuan dan keterampilan secara terpadu, dengan fokus pada pencapaian kompetensi. Pada setiap jenjang pendidikan rumusan empat (4) kompetensi inti (penghayatan dan pengamalan agama, sikap, ketrampilan, dan pengetahuan) menjadi landasan pengembangan kompetensi dasar siswa; 2) Perubahan Standar Isi. Jika dulu pengembangan berfokus

pada kompetensi, kini melalui pendekatan tematik integratif; 3) Perubahan Standar Proses, yaitu perubahan strategi pembelajaran. Guru wajib membangun proses pembelajaran aktif yang menyenangkan. Siswa difasilitasi untuk mengamati, bertanya, mengolah, menyajikan, menyimpulkan dan mencipta; 4) Perubahan Standar Evaluasi. Penilaian otentik yang mengukur kompetensi sikap, keterampilan, pengetahuan, berdasarkan hasil dan proses. Sebelumnya penilaian hanya mengukur hasil kompetensi.

Dengan pergantian kurikulum maka ditemukan kendala seperti kerancuan informasi tentang bahan ajar terkini dari suatu mata pelajaran, penyaluran informasi pengetahuan yang kurang efisien dari guru senior kepada guru junior atau guru kordinator mata pelajaran kepada guru-guru di bawahnya, maupun sebaliknya. Belum ada wadah berupa sistem komputer, dimana perkembangan pengetahuan dicatat/disimpan, didiskusikan, dan dapat dimanfaatkan perangkat sekolah terutama guru. Permasalahan ini, mengindikasikan manajemen pengetahuan pada SMA Negeri masih kurang optimal.

1.1. Perumusan Masalah

Dari latar belakang itu, kami merumuskan masalah penelitian adalah: “bagaimana perancangan sistem dengan pendekatan KMS sesuai Kurikulum 2013 yang menjadi pusat pengelolaan pengetahuan bagi lembaga dan guru pada SMA Negeri?”

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi untuk memperkaya penerapan KMS sesuai Kurikulum 2013 pada SMA Negeri yang dapat:

1. Menjadi pusat pengelolaan pengetahuan Kurikulum 2013,
2. Menjadikan Sistem sebagai sarana menampung, mendiskusikan, memanfaatkan pengetahuan sesuai regulasi lembaga,
3. Mengoptimalkan pemanfaatan teknologi sistem informasi pada manajemen pengetahuan,
4. Membantu guru mencari informasi, terutama yang berkenaan dengan mata pelajaran yang diampu.

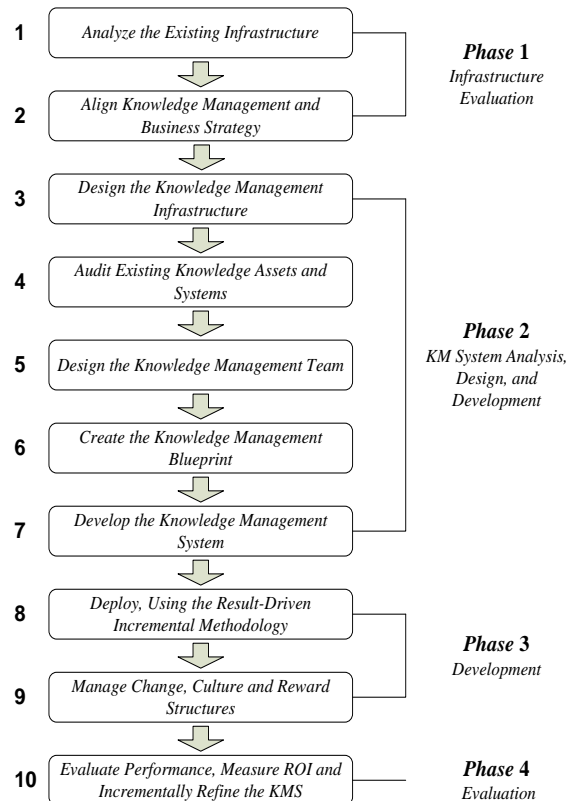
2 Dasar Teori

2.1. Knowledge Management System

Knowledge management adalah disiplin yang memperlakukan modal intelektual sebagai aset yang dikelola. KMS memberikan informasi yang tepat kepada orang yang tepat pada saat yang tepat. *Knowledge management* mengubah pengalaman dan informasi menjadi hasil [3]. KM adalah sistem untuk menciptakan, mendokumentasi, menggolongkan, dan menyebarkan pengetahuan, agar mudah digunakan sesuai tingkat otoritas dan kompetensinya [4].

Jadi, KMS adalah metode pengelolaan pengetahuan yang meningkatkan kualitas SDM organisasi, dengan mengoptimasi jalur komunikasi *knowledge* antar elemennya, sehingga pengetahuan SDM meningkat. KMS merupakan proses kompleks menggabungkan berbagai solusi menjadi satu. Institusi harus komprehensif dalam mengumpulkan, mengatur, menyebarkan, menganalisa pengetahuan untuk kebutuhan institusi kini dan di masa datang.

3 Metodologi Penelitian



Gambar 1 Kerangka Kerja KM Tiwana

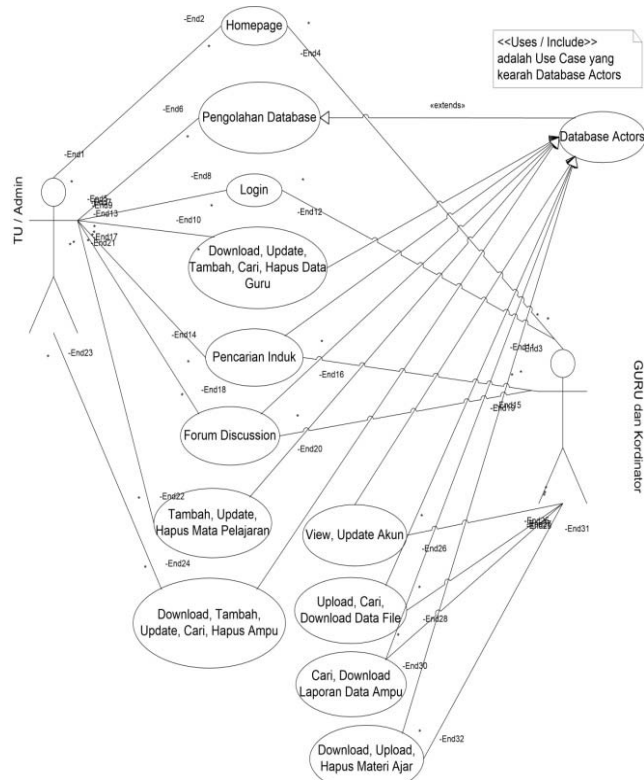
Rancangan penelitian ini adalah penelitian kualitatif jenis studi kasus, yang merupakan penelitian terapan dengan cara eksplorasi mendalam terhadap program, kejadian, proses, aktifitas, terhadap satu atau lebih orang, yang terikat waktu dan aktifitas, dimana data dikumpulkan secara rinci [5].

Perancangan KMS ini menggunakan metodologi kerangka kerja Model Tiwana dan pemetaan organisasi model Zack, analisis dan perancangan sistem UML [6].

Dalam merancang, dikaji kebutuhan institusi, mencatat semua aktifitas, membangun aplikasi, sesuai konteks perencanaan, dengan menggunakan Model Tiwana yang terdiri atas empat (4) fase dengan sepuluh (10) langkah [7]. Seperti terlihat di gambar 1.

4 Pembahasan

Tahap analisis dan disain dengan pendekatan berorientasi objek menggunakan UML:



Gambar 2 Diagram Use Case KMS Kurikulum 2013 SMA Negeri.

Tabel 1 Use Case Login

Use Case Name	Use Case Login
Brief Description	menggambarkan bagaimana user masuk ke dalam sistem
Actor	Guru, Tata Usaha
Precondition	Guru dapat melakukan Login dengan memasukkan data user name dan password yang ditentukan TU
Main Flow	Memanggil 1. Website KMS lewat web browser 2. Menuju ke menu login 3. Memasukkan username dan password 4. Klik tombol Login
Postcondition	Jika Guru, masuk pada laman Guru Jika TU, masuk pada laman TU

Tabel 2 Use Case Update Data Account

Use Case Name	Use Case Update Data Account
Brief Description	menggambarkan bagaimana semua user melakukan Update identitas
Actor	Guru, tata usaha
Precondition	Guru dan TU dapat melakukan Update identitas. 1. Guru dapat me-Update Phone Number, Email dan Foto Profile. 2. TU dapat me-Update Kode Guru, NIP, Nama, Email, Kontak, Jenis Kelamin, Mata Pelajaran

Main Flow	1. Masuk pada 'system user' TU dengan pilihan menu Guru 2. Masuk pada 'system user' Guru dengan pilihan menu Account
Postcondition	Jika Guru masuk pada menu Account atau TU masuk pada menu Guru, Maka klik "Update"

Tabel 3 Use Case Manage Data Account

Use Case Name	Use Case Manages Data Account
Brief Description	menggambarkan bagaimana user TU dapat mengatur Data Account untuk 'system user' Guru
Actor	Tata usaha
Precondition	TU dapat me-Manages Data Account dengan persyaratan : 1. Create, harus sesuai dengan identitas Guru yang bersangkutan 2. Search, dapat mencari identitas (Account) Guru 3. Download, dapat unduh identitas (Account) Guru 4. Hapus, dapat menghapus identitas (Account) Guru.
Main Flow	1. Sesuai pada system user TU 2. Pilih menu Guru 3. Dapat mengatur data Account Guru
Postcondition	TU dapat mencari, menghapus, membuat dan mengunduh Data Account Guru, sesuai Otoritas Actor Guru atau Otoritas lainnya dalam suatu Organisasi.

Tabel 4 Use Case Forum Discussion

Use Case Name	Use Case Forum Discussion
Brief Description	menggambarkan bagaimana 'user' TU dan 'user' Guru dapat berinteraksi
Actor	Guru, Tata usaha
Precondition	Semua 'system user' dapat berinteraksi dengan mengakses menu pada 'Forum'.
Main Flow	1. Sesuai pada system user TU atau system user Guru 2. Pilih menu Forum 3. Dapat berinteraksi antara system user Guru dan system user TU
Postcondition	Jika Guru, masuk pada laman Guru, klik menu 'Forum' Jika TU, masuk pada laman TU, klik menu 'Forum'

Tabel 5 Use Case Manage Mata Pelajaran

Use Case Name	Use Case Manage Mata Pelajaran
Brief Description	menggambarkan bagaimana user TU dapat me-Manages Mata Pelajaran pada 'system user' Guru
Actor	Tata Usaha
Precondition	TU dapat me-Manages Mata Pelajaran dengan persyaratan : 1. Create, harus sesuai Data Mata Pelajaran untuk Guru bersangkutan 2. Update, dapat merubah Data Mata Pelajaran 3. Hapus, dapat menghapus Data Mata Pelajaran
Main Flow	1. Sesuai pada system user TU 2. Pilih menu Mata Pelajaran 3. Dapat mengatur data Mata Pelajaran
Postcondition	TU dapat menghapus, membuat dan

	mengupdate Mata Pelajaran pada Guru, sesuai dengan Otoritas Actor Guru atau Otoritas lainnya dalam suatu Organisasi
--	---

Tabel 6 Use Case Data Files

<i>Use Case Name</i>	Use Case Manage Data Files
<i>Brief Description</i>	menggambarkan bagaimana <i>user</i> Guru dapat mengatur Data Files pada 'system user'
<i>Actor</i>	Guru, TU
<i>Precondition</i>	User dapat me-Manages Data Files dengan persyaratan : 1. <i>Upload</i> , Harus sesuai dengan kepentingan pendidikan untuk menyimpan dan berbagi data 2. <i>Search</i> , Dapat mencari data yang telah di Upload oleh <i>user</i> 3. <i>Download</i> , Dapat Unduh Data yang sudah tersimpan di Data Files
<i>Main Flow</i>	1. Sesuai pada <i>system user</i> Guru. 2. Pilih menu Data Files 3. Dapat mengatur Data Files
<i>Postcondition</i>	Guru dapat Upload, mencari dan mengunduh Data Files pada Guru, untuk berbagi data

Tabel 7 Use Case Laporan Data Pengampu

<i>Use Case Name</i>	Use Case Laporan data pengampu
<i>Brief Description</i>	Use case ini menggambarkan bagaimana <i>user</i> TU dapat me-Manages Laporan Data Pengampu pada 'system user' TU
<i>Actor</i>	Tata Usaha
<i>Precondition</i>	TU dapat mengatur Laporan Data Pengampu dengan persyaratan: 1. <i>Create</i> , harus sesuai dengan informasi pada guru yang bersangkutan 2. <i>Update</i> , dapat mengedit informasi yang telah dibuat di <i>system user</i> TU 3. Hapus, dapat menghapus informasi yang telah tersimpan
<i>Main Flow</i>	1. Sesuai pada <i>system user</i> TU 2. Pilih menu Ampu 3. Dapat mengatur Laporan Data Pengampu
<i>Postcondition</i>	TU dapat membuat, Update dan menghapus informasi Laporan Data Pengampu untuk <i>system user</i> Guru, sesuai dengan Otoritas guru-guru yang bersangkutan atau Otoritas organisasi tersebut

Tabel 8 Use Case Download, Search Laporan Data Ampu

<i>Use Case Name</i>	Use Case Download, Search Laporan Data Ampu
<i>Brief Description</i>	menggambarkan bagaimana <i>user</i> TU atau Guru dapat mengatur Laporan Data Ampu
<i>Actor</i>	Tata Usaha, Guru
<i>Precondition</i>	TU dan Guru dapat me-Manages Laporan Data Ampu dengan persyaratan: 1. <i>Download</i> , Dapat Unduh Laporan Data Ampu yang sudah tersimpan, baik di <i>system user</i> Guru atau <i>system user</i> TU 2. <i>Search</i> , Dapat mencari Laporan Data Ampu yang telah disimpan di <i>system user</i> TU atau <i>system user</i> Guru
<i>Main Flow</i>	1. Sesuai pada <i>system user</i> TU atau <i>system user</i> Guru 2. Pilih menu Ampu pada <i>system user</i> TU atau Pilih menu Laporan Data Ampu pada <i>system user</i> Guru 3. Dapat me-Manages Laporan Data Ampu

<i>Postcondition</i>	<i>System user</i> TU atau Guru dapat mencari dan Unduh informasi Laporan Data Ampu, sesuai dengan informasi yang telah dibuat
----------------------	--

Tabel 9 Use Case Manages Mata Pelajaran yang Diampu

<i>Use Case Name</i>	Use Case Manages Mata Pelajaran yang Diampu Tahun ini
<i>Brief Description</i>	menggambarkan bagaimana <i>user</i> Guru atau (Guru Kordinator) dapat mengatur mata pelajaran yang diampu tahun ini
<i>Actor</i>	Guru
<i>Precondition</i>	Guru dapat mengatur mata pelajaran yang diampu tahun ini dengan persyaratan: 1. <i>Download</i> , Guru atau (Guru Kordinator) Dapat Unduh mata pelajaran yang diampu tahun ini yang telah tersimpan di <i>system user</i> Guru, seperti File SAP, File Presentasi, Modul, File Pendukung 2. <i>Upload</i> , (Guru Kordinator) Dapat Upload data mata pelajaran yang diampu tahun ini yang telah disimpan di <i>system user</i> Guru seperti File SAP, File Presentasi, Modul, File Pendukung 3. Hapus, (Guru Kordinator) Dapat menghapus data mata pelajaran yang diampu tahun ini yang telah disimpan di <i>system user</i> Guru seperti File SAP, File Presentasi, Modul, File Pendukung
<i>Main Flow</i>	1. Sesuai pada <i>system user</i> Guru 2. Pilih menu Materi Ajar pada <i>system user</i> Guru 3. Dapat mengatur Data sesuai Otoritas actor Guru yang dibagi menjadi dua kategori yaitu, Guru dan (Guru Kordinator)
<i>Postcondition</i>	Jika Guru atau (Guru Kordinator), Dapat mengatur fungsi Download pada mata pelajaran yang diampu tahun ini. sedangkan, Jika (Guru Kordinator), Dapat me-Manages fungsi Upload dan Hapus pada mata pelajaran yang diampu tahun ini

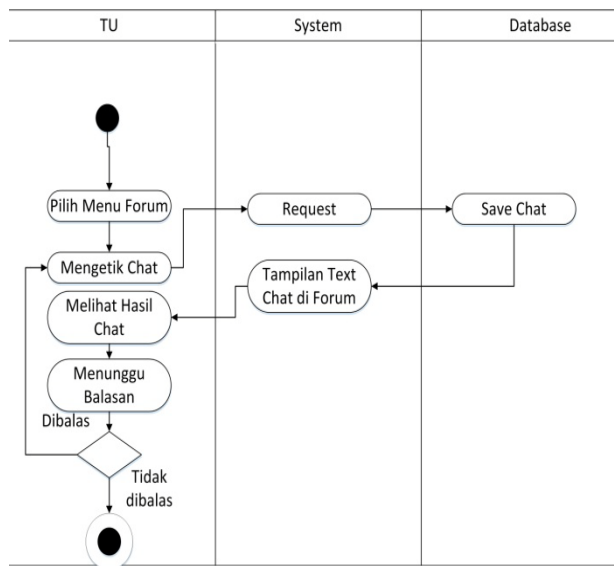
Tabel 10 Use Case Pencarian Induk

<i>Use Case Name</i>	Use Case Pencarian Induk
<i>Brief Description</i>	menggambarkan bagaimana 'user' TU dan 'user' Guru dapat mencari informasi yang ada di website KMS
<i>Actor</i>	Tata Usaha, Guru
<i>Precondition</i>	TU atau Guru dapat mencari informasi Pencarian Induk dengan persyaratan: 1. Setelah login di user TU, TU dapat menggunakan Pencarian Induk untuk mencari data yang ada pada menu <i>system user</i> TU 2. Setelah login di user Guru, Guru dapat menggunakan Pencarian Induk untuk mencari data yang ada pada menu <i>system user</i> Guru
<i>Main Flow</i>	1. Sesuai <i>system user</i> Guru atau TU 2. Mesin pencarian berada pada <i>Header</i> website
<i>Postcondition</i>	Guru atau TU, masuk sesuai pada <i>system user</i> yang sudah ditentukan, dan ketik Informasi yang ingin dicari pada <i>Header</i> website KMS, dan cari Informasi yang diinginkan

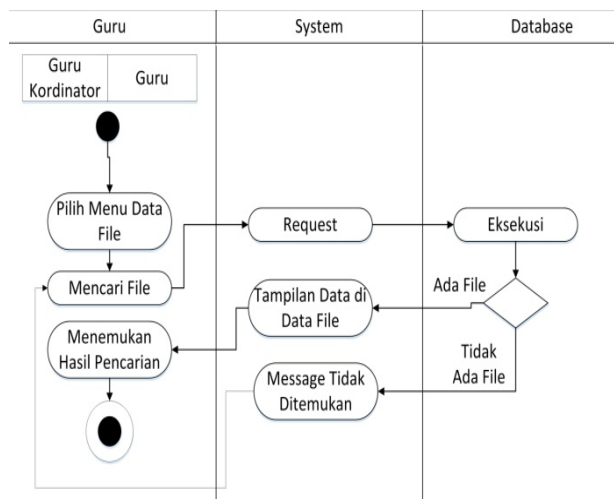
4.1. Activity Diagram

Activity Diagram merupakan model analisis yang menggambarkan proses aktivitas. Kegunaan [8]:

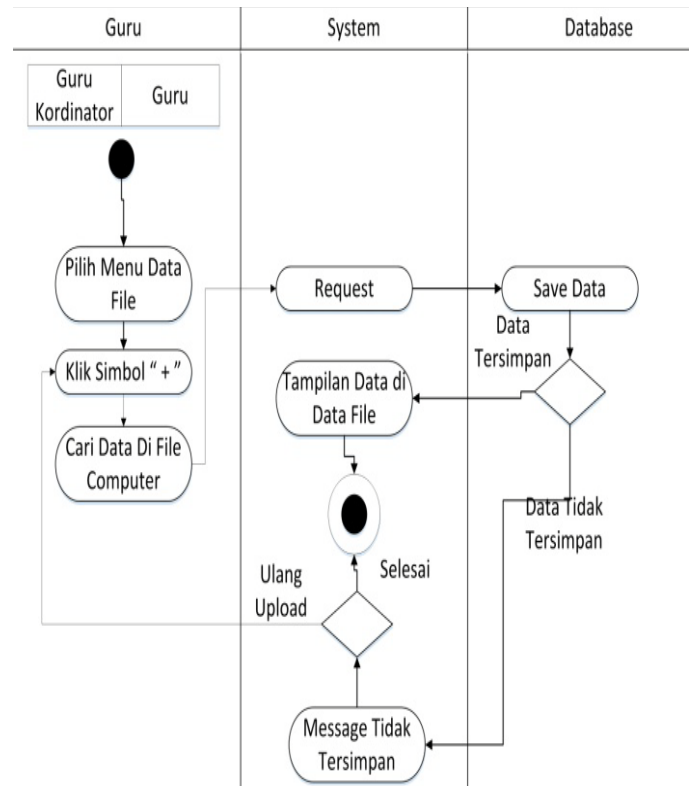
1. Memodelkan suatu proses atau operasi.
2. Menggambarkan sebuah fungsi sistem.
3. Dalam sebuah operasi spesifik, diagram ini menggambarkan logika sebuah proses atau operasi.



Gambar 3 Activity Diagram Forum



Gambar 4 Activity Diagram Search Data File



Gambar 5 Activity Diagram Data File

4.2. Desain Rancangan Antarmuka KMS

Berdasarkan hasil analisis proses KMS dan teknologi yang akan didapatkan, maka langkah berikutnya adalah membuat rancangan model KMS. Model KMS untuk guru terdiri atas fungsi Input/Output, Forum Discussion, Upload/Download Files, Search Files, yang mendukung proses-proses KMS (Eksternalisasi, Internalisasi, Sosialisasi, dan Kombinasi) [9]. Semua knowledge yang ada, baik berupa database pada DBMS, dokumen/file, summary, dan data elektronik lainnya disimpan dalam *Knowledge Repositories*. Tipe dokumen dapat berbentuk pdf, doc, txt, dan lain-lain.

The screenshot shows a web interface for KMS Login. At the top is a 'Logo / Banner' area. Below it is a navigation bar with 'Menu 1', 'Menu 2', 'Menu 3', and 'Menu 4'. The main content area is titled 'Login' and contains a form with 'Username :', 'Password :', and a 'Sign in' button. A 'Footer' is visible at the bottom of the page.

Gambar 8 Laman KMS Login

Logo

Search

Nama User Foto

Menu

Menu 1

Menu 2

Menu 3

Menu 4

Foto Nama Pengirim Isi Chat tanggal & waktu

tanggal & waktu Nama User Foto

Foto Nama Pengirim Isi Chat tanggal & waktu

Attach Send

Footer

Gambar 9 Laman KMS Forum Discussion

Logo

Search

Nama User Foto

Menu

Menu 1 Data File

Menu 2

Menu 3

Menu 4

Icon Nama File Tgl Upload

Icon Nama File Tgl Upload

Icon Nama File Tgl Upload

Icon Nama File Tgl Upload

Icon Nama File Tgl Upload

1 2 >>

Footer

Gambar 10 Laman KMS Data File

Logo

Search

Nama User Foto

Menu

Menu 1 Account

Menu 2

Menu 3

Menu 4

NIP NIP Guru

Nama Nama Guru

E-mail E-mail Guru

No. Telp No. Telp Guru

Jenis Kelamin Jenis Kelamin Guru

Update

Foto

Footer

Gambar 11 Laman KMS Data Account

Logo

Search

Nama User Foto

Menu

Menu 1 Laporan Data Pengampu PDF

Menu 2

Menu 3

Menu 4

Kelas : Mata Pelajaran : Koordinator : Search

No	Nama Guru	Mata Pelajaran	Kelas	Koordinator
				<input type="checkbox"/>

Footer

Gambar 12 Laman KMS Data Ampu

Logo

Search

Nama User Foto

Menu

Menu 1 Mata Pelajaran yang Diajarkan

Menu 2

Menu 3

Menu 4

Nama Mata Pelajaran	
Tahun Ajaran	
Kelas	
Koordinator	<input type="checkbox"/>
File Terkait	
File SAP	<input type="button" value="Upload"/> <input type="button" value="Get"/>
Modul	<input type="button" value="Upload"/> <input type="button" value="Get"/>
File Lain	<input type="button" value="Upload"/> <input type="button" value="Get"/>

Footer

Gambar 13 Laman KMS Materi Ajar

Gambar 14 Laman KMS Materi Ajar

Gambar 15 Laman Admin Data Guru

4.3. Implementasi Pengujian

Perangkat lunak yang digunakan dalam mengembangkan sistem *knowledge management system* ini adalah sebagai berikut.

1. Sistem Operasi Windows 7 SP 1 Ultimate.
2. XAMPP untuk basis data server.
3. Adobe Dreamweaver CS6 untuk penulisan kode desain HTML, CSS, PHP, Java, dan Javascript.
4. Google Chrome sebagai web browser.

Hasil pengujian ditunjukkan dengan hasil Web Application. Web Application ini hanya bisa dibuka oleh user yang terkoneksi dengan jaringan *Local Area Network* (LAN) saja

lingkaran memiliki nilai terendah saat dipasang pada jarak 50 mm dan nilainya berada di atas aliran udara tanpa *bluff body* saat dipasang pada jarak 100 mm. Hal ini terjadi karena saat dipasang pada jarak 50 mm, terjadi vorteks tetapi tidak banyak mengenai sirip piezoelektrik, sehingga impuls yang dihasilkan kecil dibanding dengan aliran udara tanpa *bluff*

body. Pada jarak 100 mm, sirip piezoelektrik lebih banyak bertumbukan dengan vorteks dari *bluff body* penampang lingkaran.

5 Simpulan dan Saran

5.1. Simpulan

Berdasarkan penjabaran yang telah disampaikan, maka didapat simpulan sebagai berikut :

1. Dengan model analisis kerangka kerja Tiwana, perancangan dan implementasi KMS dapat diterapkan pada SMA Negeri 34 Jakarta.
2. Model KMS ini dapat menjadi pusat pengelolaan pengetahuan Kurikulum 2013, yang berfungsi sebagai sarana menampung, mendiskusikan, memanfaatkan pengetahuan guru sesuai regulasi sekolah,
3. Membantu guru mencari informasi, terutama yang berkenaan dengan mata pelajaran yang diampu dengan mengoptimalkan pemanfaatan teknologi sistem informasi pada manajemen pengetahuan.

5.2. Saran

1. Pelaksanaan penerapan sistem hendaknya mengacu pada rencana implementasi sistem, sehingga dapat beroperasi sesuai harapan.
2. Agar ruang lingkup penelitian selanjutnya terkait prototipe KMS pada SMA Negeri lebih diperluas sampai ke seluruh bagian di dalam lingkungan Sekolah, agar semua karyawan mendapat kemudahan dalam kegiatan *sharing knowledge*, yang pada akhirnya hal ini akan meningkatkan kompetensi profesional seluruh SDM di Sekolah.
3. Pengembangan fitur disesuaikan kebutuhan semua pengguna di SMA Negeri 34.

Kepustakaan

- [1] Saud, Udin Syaefudin, Pengembangan Profesi Guru, Bandung, CV. Alfabeta (2008).
- [2] UU RI No. 14 Tahun 2005 tentang guru dan dosen. <http://: Akhmad Sudrajat.wordpress.com> (2017)
- [3] Honeycutt, J., *Knowledge Management Strategies; Strategi Manajemen Pengetahuan*, Jakarta, PT. Elex Media Komputindo (2005).
- [4] Widayana, Lendy, *Knowledge Management-Meningkatkan Daya Saing Bisnis*, Malang, Bayu Media Publishing (2005).
- [5] Prof. Dr. Sugiyono, *Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)*, Bandung, Alfabeta (2014).
- [6] Paul, L Tobing, *Knowledge Management, Konsep, Arsitektur dan Implementasi*, Yogyakarta : Graha Ilmu (2007),
- [7] Tiwana, A., (1999), *The Knowledge Management Toolkit: Practical Techniques for Building A Knowledge Management System*, Second Edition, New Jersey: Prentice Hall, 1999.
- [8] Dennis, Alan, at.al., (2009), *Systems Analysis and Design with UML – 3rd Edition*, John Wiley & Sons, Inc.
- [9] McLeod, Raymond, and George P. Schell, (2009), *Management Information System, 10th ed.* Dialihbahasakan oleh Yulianto, A, Akbar dan Afia, R, Fitriati, Jakarta: Salemba Empat.

Pengembangan Aplikasi *Math Mobile Learning* Bangun Datar Berbasis Android pada Materi Segitiga dan Segiempat Pelajaran Matematika di Tingkat SMP

Wahyudin Wisudawan^{1*}, Benny Hendriana¹, Ishaq Nuriadin¹, Harry Ramza²

¹Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

Jalan Tanah Merdeka Telp. (021) 8400341, 8403683 Fax. (021) 8411531 Mobile. +62 857 7476 3733

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka

Jalan Tanah Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Jakarta 13140

Telp : +62 21 8400941 Fax : +62 21 87782739 Mobile : +62 813 1251 7572

E-mail: hramza@uhamka.ac.id

Abstrak – Penelitian pengembangan ini bertujuan untuk menghasilkan aplikasi *math mobile learning* berbasis Android untuk siswa Kelas VII SMP, serta mengetahui kualitas produk aplikasi *mobile learning* yang telah dihasilkan sehingga layak digunakan dalam pembelajaran matematika. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan atau *Research and Development (R&D)* yang diadaptasi dari model pengembangan ADDIE. Tahapannya ada 5 tahap yaitu: 1) *Analysis (Analisis)*, 2) *Design (Perancangan)*, 3) *Development (Pengembangan)*, 4) *Implementation (Implementasi)*, dan 5) *Evaluation (Penilaian)*, namun hanya dilaksanakan hingga tahap ketiga, yaitu *Development (Pengembangan)*. Validasi dilakukan oleh ahli materi dan ahli media. Media yang dikembangkan diujicoba kepada publik sebanyak 70 responden. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi *Math Mobile Learning* berbasis Android yang telah dikembangkan berdasarkan penilaian ahli media dalam aspek kualitas tampilan 83,3% dengan kategori baik, aspek tulisan sebesar 75% dengan kategori baik, dan aspek rekayasa perangkat lunak sebesar 81,25% sehingga secara keseluruhan penilaian aplikasi sebesar 80,88% dengan kategori baik. Penilaian ahli materi dalam aspek materi sebesar 90,38% dan aspek evaluasi sebesar 75% sehingga penilaian secara keseluruhan sebesar 88,3% dengan kategori sangat baik. Uji coba publik diambil melalui perangkat google form, maka data hasil kualitas aplikasi yang diperoleh dalam aspek kualitas tampilan sebesar 79,2% dengan kategori baik, aspek tulisan sebesar 82,87% dengan kategori baik, dan aspek rekayasa perangkat lunak sebesar 83% sehingga secara keseluruhan penilaian 81,76% dengan kategori baik. Berdasarkan hasil perolehan data menunjukkan bahwa aplikasi *Math Mobile Learning* bangun datar berbasis Android materi segitiga dan segiempat layak digunakan sebagai sumber belajar siswa kelas VII SMP.

Kata kunci: *Math mobile learning*, Segitiga dan segiempat, dan Android

1 Pendahuluan

Pendidikan merupakan hal yang penting bagi peserta didik untuk maju dan memiliki tingkat kesejahteraan yang tinggi. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di era globalisasi begitu pesat, segala bentuk inovasi dilakukan demi terwujudnya kesejahteraan masyarakat. Pada bidang pendidikan, teknologi dimanfaatkan untuk mencapai tujuan pendidikan yang sesuai dengan tuntutan zaman.

Salah satu bentuk perkembangan pengetahuan dan teknologi yang begitu pesat adalah *Smartphone*. *Smartphone* merupakan perangkat telepon genggam *handphone* yang mampu digunakan untuk berkomunikasi dasar (mengirim pesan singkat dan telepon), serta di dalamnya terdapat fungsi *Personal Digital Assistant (PDA)* dan dapat bekerja layaknya sebuah komputer. *Smartphone* hasil dari perkembangan teknologi yang dimanfaatkan secara optimal dalam bidang ICT.

Berdasarkan penelitian Ahmad Fadhilah, menyatakan bahwa “terdapat hubungan positif yang signifikan antara penggunaan alat komunikasi *handphone* terhadap aktivitas belajar siswa. Hal tersebut artinya bahwa semakin banyak siswa mempergunakan alat komunikasi *handphone* maka semakin berdampak negatif terhadap aktivitas belajar siswa di SMP Negeri 66 Jakarta Selatan.” [1]

Pada tahap pembelajaran merupakan salah satu tahap yang menentukan keberhasilan suatu proses pendidikan. Media pembelajaran memegang peran penting dalam proses pembelajaran. Penggunaan media pembelajaran, dapat membantu guru dalam menyampaikan materi pembelajaran. Fungsi media dalam proses belajar-mengajar yaitu untuk meningkatkan rangsangan peserta didik dalam kegiatan belajar.

Deni Darmawan Menyatakan bahwa, di era global dan di era digital maka orientasi berbagai inovasi akan tertuju pada upaya layanan yang mudah diperoleh, mudah diakses, mudah memberikan pencerahan dan pencerahan bahkan sangat murah. Demikian pula halnya dalam dunia pendidikan, dimana para inovator berlomba untuk menemukan berbagai model pembelajaran yang praktis murah dan mudah serta demokratis dengan karakter digital dan *mobile*. [2] Hal ini dapat diamati secara perlahan contohnya perkembangan media pembelajaran yang bersifat *direct learning* penggunaan proyektor dan penggunaan *power point* atau pada pembelajaran yang bersifat *indirect learning* yang sudah mampu menjalankan pembelajaran tanpa harus bertatap muka secara langsung atau melalui *video*, *website*, *chatting*, dan lain-lain.

Penggunaan perangkat *mobile* berupa *smartphone* dalam media pembelajaran ini dinamakan *mobile learning*. *Mobile learning* merupakan salah satu alternatif pengembangan media pembelajaran. *Mobile learning* memiliki karakteristik yang praktis dan dapat dibawa kemanapun.

Dilihat dari dampak dari *handpone* yang telah diteliti dan perkembangan inovasi media pembelajaran Oleh karena itu peneliti memikirkan cara membuat media pembelajaran pada telepon seluler berbasis sistem operasi *android*.

Aplikasi *mobile learning* berbasis sistem operasi *android* pada materi bangun datar yaitu segitiga dan segi empat tingkat SMP/MTs diberi nama *Math Mobile Learning*. Tujuan peneliti untuk mengetahui bagaimana cara mengembangkan *mobile learning* aplikasi *Math Mobile Learning* dan mengetahui kelayakan dari media pembelajaran serta mengetahui kelebihan dan kekurangan aplikasi tersebut.

2 Dasar Teori

Dasar pemikiran pembuatan aplikasi dibagi menjadi tiga aspek, yaitu aspek pendidikan, aspek informasi, dan aspek teknologi. Pada bidang pendidikan akan menjelaskan pentingnya aplikasi dalam bidang pendidikan. Aspek informasi akan menjelaskan tentang mudahnya mendapatkan

informasi dalam kemajuan teknologi. aspek teknologi akan menjelaskan perkembangan teknologi *gadget*.

Pada aspek pendidikan, sistem pembelajaran yang dilakukan oleh guru yang kurang memanfaatkan media pembelajaran menyebabkan peserta didik mudah merasa bosan dan kurang tertarik untuk memperhatikan pelajaran khususnya pelajaran matematika. Seharusnya guru memilih dan menggunakan strategi, metode, dan media yang sesuai agar tujuan pembelajaran tercapai dengan baik. Media merupakan salah satu dari komponen pembelajaran yang memiliki fungsi penting dalam proses pembelajaran.

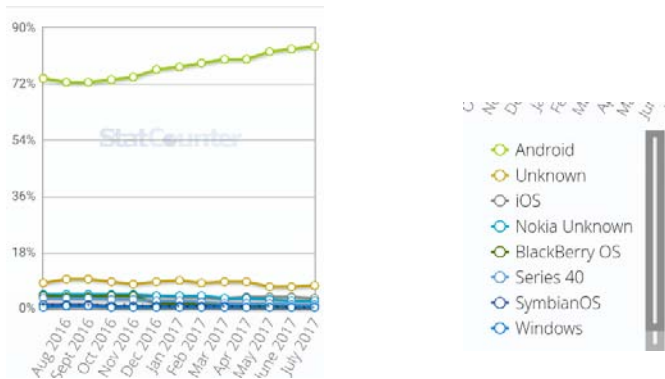
Semakin berkembangnya dunia teknologi dan pemanfaatan teknologi dalam bidang pendidikan guru dituntut untuk selalu membuat sebuah media pembelajaran yang inovatif, sehingga proses pembelajaran menjadi lebih menarik. Penggunaan media yang tepat mampu membuat siswa belajar dengan mudah dan menyenangkan dalam mengikuti pembelajaran. Di era globalisasi seperti ini secara tidak langsung menuntut siswa untuk selalu mengikuti *trend* yang ada salah satunya yaitu memiliki *smartphone*, namun dalam penggunaannya *smartphone* kalangan siswa hanya dimanfaatkan untuk memutar musik dan mengakses video, bermain *games*, serta mengakses berbagai macam media sosial. *Smartphone* mampu dimanfaatkan menjadi sebuah media pembelajaran yang menarik dan menyenangkan apabila diisi sebuah aplikasi dan konten-konten edukasi. Penggunaan perangkat *mobile* berupa *smartphone* dalam media pembelajaran ini dinamakan *mobile learning*. *Mobile learning* memiliki karakteristik yang praktis dan dapat dibawa kemanapun.

Pada aspek Informasi, informasi yang berkembang begitu cepat membawa dampak positif dan negatif bagi semua penerima informasi. Akibatnya mudahnya pengguna *smartphone* dalam menyebarkan informasi. Setiap orang mampu mencari informasi di belahan bumi manapun dengan berbagai konten yang positif dan negatif. Sehingga hal ini erat dengan pertanyaan sudahkah manfaat informasi tersebut untuk diterima pada segala umur.

Informasi yang dikembangkan dalam aplikasi ini berupa ilmu pengetahuan yang telah dikemas dalam bentuk aplikasi *mobile learning*. Berupa materi segitiga dan segitiga dengan bahasan jenis bangun datar, mencari luas dan keliling bangun datar, dan sifat-sifat bangun datar yang diharapkan mampu bermanfaat bagi pengguna aplikasi di segala umur, yaitu siswa, mahasiswa, guru, maupun orang tua.

Aspek teknologi, perkembangan teknologi yang semakin cepat dan mudah berkembang menjadikan *gadget* sebagai kebutuhan yang dianggap penting. Sehingga tingkat kebutuhan masyarakat akan *smartphone* meningkat. Hal ini mengakibatkan persaingan di pasar penjualan *gadget*.

Berikut ini adalah data statistik *mobile operating system market* (pemasaran sistem operasi pada *mobile*) terutama pada *smartphone* di Indonesia berdasarkan hasil survei *Statcounter Globalstats* dari Juli 2016 hingga Juni 2017. [3] Dengan sistem operasi *mobile android*, *iOS*, *nokia*, *blackberry*, *series 40*, *symbian*, *windows*, dan lainnya.



Gambar 1 Survei Pemasaran Sistem Operasi pada Perangkat Mobile di Indonesia

Dari hasil survei diketahui bahwa pemasaran sistem operasi pada perangkat *mobile* di Indonesia dari yang terbesar adalah sistem operasi *android* sebesar 84,%, sistem operasi lainnya 7,45%, sistem operasi *iOS* 3.1%, *nokia* 2,55%, *series 40* 1,04%, *blackberry* 1% dan selain itu di bawah 1%. Artinya pengguna *smartphone* di Indonesia paling besar menggunakan sistem operasi *mobile android*.

Android, Inc. inilah nama perusahaan yang dibangun pada bulan Oktober 2003 oleh Andy Rubin, Rich Miner, Nick Sears dan Chris White di Palo Alto, California. Awal mula pengembangan *android* adalah untuk sistem operasi canggih pada perangkat kamera digital, namun pada saat itu pasar perangkat kamera digital tidak terlalu besar kemudian *android* dialihkan menjadi sistem operasi pada perangkat telepon seluler untuk menyaingi sistem operasi *symbian* dan *windows*. [4]

Android memiliki beberapa versi dalam pembaharuan sistem operasi. Berikut adalah versi-versi *android* dan awal rilis versi tersebut. Versi *android* yang dirilis dimulai dari versi *android cupcake*. [5]

Tabel 1 Versi-versi sistem operasi android

VERSI	NAMA	TANGGAL RILIS
1.5	<i>Cupcake</i>	30 April 2009
1.6	<i>Donut</i>	15 September 2009
2.0 - 2.1	<i>Éclair</i>	26 Oktober 2009
2.2	<i>Froyo</i>	20 Mei 2010
2.3 – 2.3.7	<i>Gingerbread</i>	6 Desember 2010
3.1	<i>Honeycomb</i>	10 Mei 2011

4.0.3 – 4.0.4	<i>Ice Cream Sandwich</i>	16 Desember 2011
4.1	<i>Jelly Bean</i>	9 Juli 2012
4.4	<i>Kitkat</i>	31 Oktober 2013
5.0	<i>Lollipop</i>	15 Oktober 2014
6.0	<i>Marshmallow</i>	5 Oktober 2015

Banyaknya perusahaan perangkat *smartphone* yang menggunakan sistem operasi *android* pasti perusahaan tahu beberapa kelebihan dari sistem operasi tersebut. Sistem operasi *android* memiliki kelebihan-kelebihan seperti *user friendly*, *open source* dan ekonomis.

User friendly, bersifat *open source*, ekonomis, dukungan dari berbagai aplikasi. *User friendly* diartikan bahwa sistem operasi *android* sangat mudah digunakan dan dioperasikan dari kalangan muda sampai tua hingga kalangan disabilitas seperti tuna netra. Bersifat *open source* karena *android* dikembangkan dari *kernel Linux* maka siapapun boleh memodifikasi dan mengembangkan sistem operasi *android* tanpa harus membayar. Ekonomis artinya perangkat *smartphone* dengan menggunakan sistem operasi *android* mudah sekali di beli masyarakat baik kelas bawah sampai kelas atas dan tidak heran sistem operasi *android* terkenal di masyarakat. Dukungan dari berbagai aplikasi artinya banyak aplikasi yang dapat berjalan dengan baik dan menunjang kinerja di sistem operasi *android*.

Media pembelajaran yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa aplikasi *Android* mengenai pembelajaran matematika di SMP yang didalamnya terdapat sebuah materi dan evaluasi pembelajaran. *Android* merupakan salah satu sistem *handphone* yang bersifat terbuka yang memungkinkan pengguna untuk membuat berbagai *fitur* aplikasi sesuai dengan kebutuhan penggunaannya.

Aplikasi *Math mobile learning* ini dikemas dengan menarik sehingga diharapkan menjadi media pembelajaran yang praktis dan menyenangkan yang dapat diakses kapan saja dan dimana saja serta dapat meningkatkan keterterikan siswa dalam mempelajari matematika dan dapat dijadikan sarana untuk belajar secara mandiri dan sebagai sumber referensi siswa.

3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan langkah-langkah penelitian dan pengembangan *research and development* (R&D). Adapun tahapan penelitian seperti menemukan potensi dan masalah, pengumpulan informasi, desain produk, validasi desain, revisi desain, ujicoba produk, revisi produk, ujicoba pemakaian, revisi produk dan terakhir produksi masal. [9]

Potensi dan masalah dilakukan peneliti untuk mengutarakan masalah yang terjadi. Pengumpulan informasi dilakukan peneliti untuk mencari solusi yang dapat mengatasi masalah. Desain produk dilakukan peneliti untuk membuat suatu produk. Desain produk terdiri dari pembuatan *flowchart*, pembuatan *storyboard*, pembuatan gambar dan tombol serta penyusunan materi dan soal. Validasi desain dilakukan oleh ahli materi dan ahli media. Peneliti melakukan validasi desain saat melakukan uji coba produk. Revisi desain dilakukan peneliti setelah validasi desain perubahan berdasarkan kritik dan saran ahli materi dan ahli media. Uji coba produk peneliti membuat prototype dan dinilai oleh ahli materi dan ahli media. Revisi produk dilakukan setelah uji coba produk peneliti melakukan perubahan pada produk berdasarkan saran dari ahli materi dan ahli media. Uji coba pemakaian peneliti menggunakan produk yang telah di revisi dan di uji coba kepada sebagian pengguna. Revisi produk kembali di lakukan setelah uji coba pemakaian bila produk mengalami kekurangan. Produksi massal produk siap digunakan oleh semua orang.

Sumber data yang digunakan untuk menentukan lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media dan lembar angket pengguna telepon seluler berbasis sistem operasi *android*.

Pengumpulan data dalam penelitian dilakukan dengan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara angket validasi ahli dan tanggapan pengguna. Proses pengumpulan data dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berupa data penilaian terhadap aplikasi yang di tinjau dari beberapa aspek dan data kualitatif berupa saran-saran yang membangun.

Untuk validasi dari ahli materi, ahli media dan pengguna penilaian dilakukan dengan teknik deskriptif presentase dengan rumus:[6]

$$P = \frac{f}{N} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

f = Frekuensi yang sedang di cari persentasinya.

N = Number of Cases (jumlah frekuensi/ banyaknya individu).

P = Angka Presentase

Pengolahan data angket dilakukan dengan menggunakan skala Likert. Pemberian skor yang digunakan:[7]

Tabel 2 Kriteria penilaian angket

Alternatif Jawaban	Skor untuk Pernyataan	
	Positif	Negatif
Sangat Baik (SB)	4	1
Baik (B)	3	2
Tidak Baik (TB)	2	3
Sangat Tidak Baik (STB)	1	4

Hasil penilaian dalam bentuk (%) kemudian diberikan rentang presentase dan kriteria sebagai berikut.[8]

Tabel 3 Rentang presentase dan kriteria kelayakan media

Rentang Presentase	Kriteria
80% - 100%	Sangat Baik
66% - 79%	Baik
56% - 65%	Cukup
40% - 55%	Kurang
30% - 39%	Gagal

4 Hasil dan Pembahasan

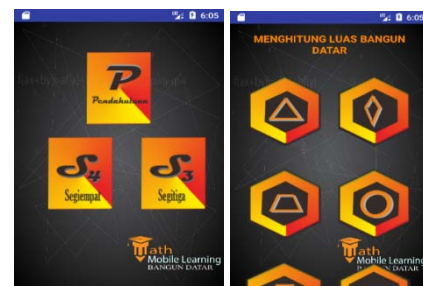
Produk yang akan di uji adalah produk aplikasi android dengan format *.apk* yang kompatibel dengan sistem operasi android. Berikut adalah tampilan produk yang akan di uji dan hasil dari ujicoba produk.

Gambar 2 menunjukkan tampilan Sebelum melakukan uji coba produk, berikut adalah tampilan produk yang akan diuji coba.

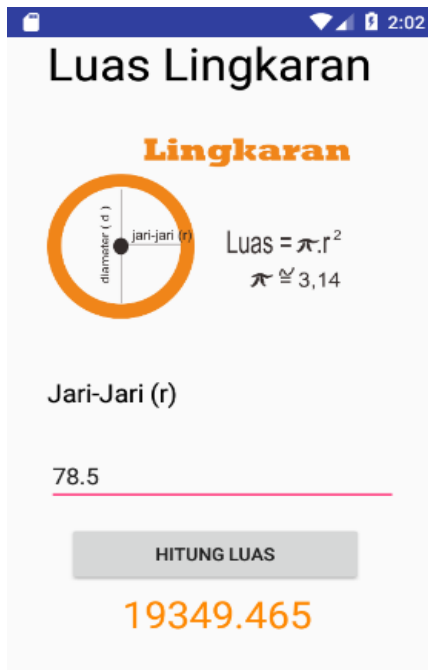


Gambar 2. Tampilan awal aplikasi dan menu utama

Pada gambar 3. Menunjukkan tampilan sub menu materi, yang akan mengantarkan user ke materi -materi bangun datar dan sub menu hitung. Terdapat tiga sub menu pada materi yaitu pendahuluan yang berisi pengetahuan awal materi, segiempat yang berisi sifat, dan rumus-rumus luas dan keliling segiempat. Dan Segitiga yang berisi sifat, jenis, dan rumus segitiga dalam menentukan luas dan kelilingnya.

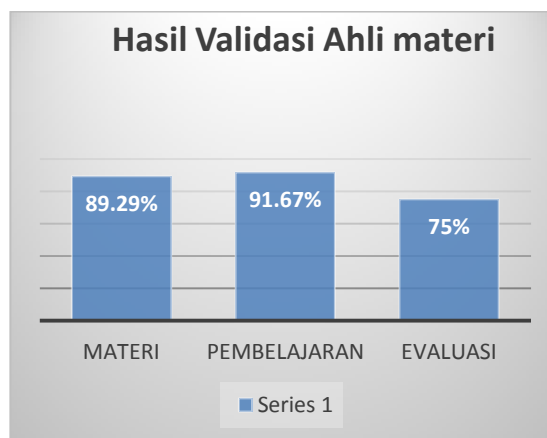


Gambar 3. Tampilan awal sub menu materi dan sub menu hitung luas



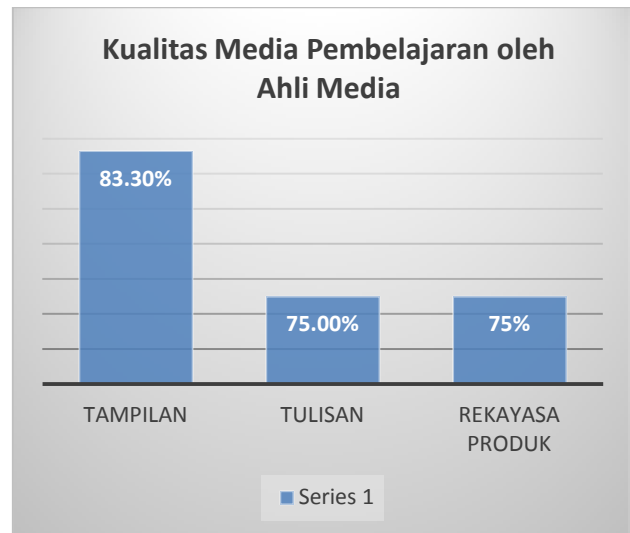
Gambar 4. Hitung luas lingkaran. Tampilan awal salah satu menu konten hitung.

Produk di ujicoba dan di validasi oleh ahli materi dan ahli media. Ahli materi adalah dosen matematika UHAMKA bernama Samsul Maarif, M.Pd. dan ahli media adalah dosen teknik informatika bernama Ir. Harry Ramza, MT., Ph.D. mereka yang akan menjadi validator yang menguji aplikasi. Berikut adalah hasil penilaian dari ahli materi.



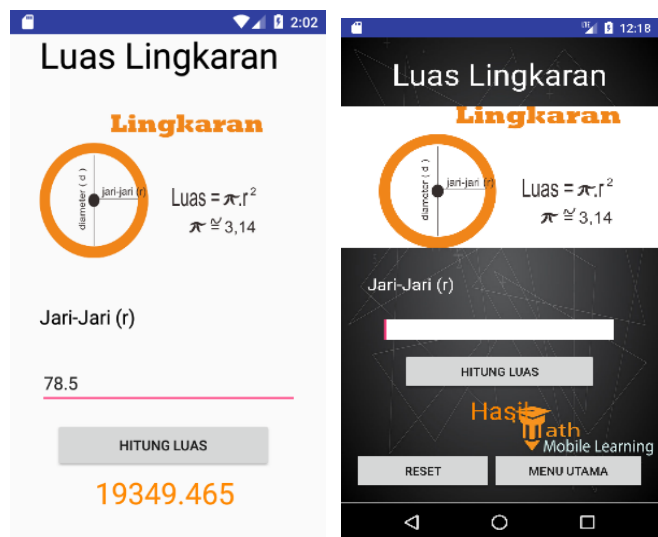
Gambar 5. Diagram hasil penilaian aplikasi dari validator materi.

Hasil validasi dari ahli materi di dapat bahwa aplikasi *Math Mobile Learning* mendapat penilaian 89,29% dengan kategori sangat baik untuk aspek materi, 91,67% dengan kategori sangat baik untuk aspek pembelajaran dan 75% untuk aspek evaluasi dengan kategori baik. Total keseluruhan penilaian adalah 91,67% untuk kategori sangat baik. Berikut ini adalah hasil penilaian dari ahli media.



Gambar 6. Diagram hasil penilaian aplikasi dari validator media.

Aplikasi *Math mobile learning* ditinjau dari aspek Tampilan dengan persentase sebesar 83,3% dengan kategori baik, aspek tulisan dengan nilai persentase sebesar 75% dengan kategori baik, dan aspek rekayasa produk dengan nilai persentase 81,25% dengan kategori baik. Berikut adalah beberapa tampilan hasil revisi dari ahli materi dan ahli media.



Gambar 7. Tampilan konten hitung yang telah direvisi.



Gambar 8. Tampilan fitur keluar aplikasi.

Cara mendapatkan penilaian aplikasi dari pengguna telepon seluler berbasis sistem operasi *android* peneliti menggunakan jasa *google form* dalam pembuatan angket penilaian. Hasil penilaian dari pengguna di dapat bahwa aplikasi *Math Mobile Learning* mendapat nilai rata-rata keseluruhannya adalah 81,69% dengan kategori baik.

Sebelum melakukan produk masal, peneliti membuat sertifikat hak kekayaan intelektual. Setelah membuat sertifikat tersebut peneliti mengunggah aplikasi ke *google playstore*.

Berdasarkan hasil penilaian dari ahli materi dan ahli media. Rata-rata akhir penilaian dari ahli materi adalah 93,34% untuk kategori sangat baik dan pernyataan validasi yang diberikan ahli materi bahwa aplikasi layak digunakan. Rata-rata akhir penilaian dari ahli media adalah 80,8% untuk kategori baik dan pernyataan validasi yang diberikan ahli materi bahwa aplikasi layak digunakan dengan perbaikan. Artinya peneliti di luar penelitian harus melakukan perbaikan terhadap aplikasi *Math Mobile Learning*.

5 Simpulan

Berdasarkan hasil penilaian dari ahli materi dan ahli media. Rata-rata akhir penilaian dari ahli materi adalah 93,34% untuk kategori sangat baik dan pernyataan validasi yang diberikan ahli materi bahwa aplikasi layak digunakan. Rata-rata akhir penilaian dari ahli media adalah 80,8% untuk kategori baik dan pernyataan validasi yang diberikan ahli materi bahwa aplikasi layak digunakan dengan perbaikan. Artinya peneliti di luar penelitian harus melakukan perbaikan terhadap aplikasi *Math Mobile Learning*.

Kepustakaan

- [1]. Fadhilah, Ahmad. Skripsi “*Pengaruh Penggunaan Alat Komunikasi Handphone Terhadap Aktifitas Belajar siswa SMP Negeri 66 Jakarta Selatan*”. Jakarta : UIN Syarif Hidayatullah. (2010).
- [2]. Darmawan ,Deni. Mobile Learning. “*Sebuah Aplikasi Teknologi Pembelajaran*”, Jakarta : Rajawali Press. (2016).
- [3]. Globalstats, StatCounter. “*Mobile Operating System Market Share in Indonesia*”. Diakses 05 Agustus 2017. <http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/indonesia>
- [4]. Irsyad, Hanif. *Aplikasi Android dalam 5 Menit Edisi Revisi*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo. (2016)
- [5]. Android, Developers. “*Platform Versions*”. Diakses 05 Agustus 2017. <https://developer.android.com/about/dashboards/index.html#Platform>
- [6]. Sudijono, Anas. *Pengantar Statistik Pendidikan*. Jakarta: PT Rajagrafindo Persada. (2017)

Audit Aplikasi Zahir di PT Radisa Mahardi Rekatama Menggunakan *Framework COBIT 5*

Ardi Gunawan^{1*}, Johanes Fernandes Andry²

Sistem Informasi, Universitas Bunda Mulia
Jl. Lodan Raya Ancol No. 2, Jakarta 14430 Indonesia
E-mail: elnavaro@live.com¹, jandry@bundamulia.ac.id²

Abstrak – Berdiri pada tahun 2009, PT. Radisa Mahardi Rekatama bergerak di bidang *planning, engineering, manufacturing, installing dan customizing*. Dalam aktivitas harian mereka menggunakan Aplikasi Office seperti Word dan Excel untuk pembukuan mereka. Namun mereka beralih ke Aplikasi Zahir Project karena mereka sering kehilangan data ketika terjadi mati listrik secara tiba-tiba. Tujuan dari Audit ini adalah untuk mengetahui seberapa besar penggunaan dan keefektifan dan efisiensi dari Aplikasi Zahir Project dalam Perusahaan. Hal ini untuk mencari tahu apakah penggunaan Aplikasi Zahir Project sudah tepat untuk Perusahaan ini atau belum. Manfaat untuk Perusahaan sendiri adalah untuk menjadi evaluasi apakah mereka sudah tepat menggunakan Aplikasi Zahir Project di Perusahaan mereka. COBIT merupakan salah satu framework yang sering digunakan oleh para auditor terutama auditor sistem informasi. Ini karena COBIT dapat dipakai sebagai alat yang komprehensif untuk menciptakan tata kelola teknologi informasi pada suatu perusahaan. Hasil dari kajian yang dilakukan adalah membuat pengukuran kinerja aplikasi *customized* yang berupa analisa, pemetaan *level of capability* dan rekomendasi bagi perusahaan tersebut. Standar yang digunakan pada penelitian ini adalah COBIT 5 yang berfokus pada domain *Delivery-Support-and-Service (DSS)*.

Kata kunci: PT. Radisa Mahardi Rekatama, Audit, Cobit 5, *Delivery-Support-and-Service (DSS)*

1 Pendahuluan

Banyaknya perusahaan Teknologi informasi yang berdiri, makin banyak pula aplikasi-aplikasi yang beredar diluar sana. Aplikasi-aplikasi yang ditawarkan juga sangat bervariasi, mulai dari yang paling murah sampai yang paling mahal, dari yang paling buruk hingga yang paling baik, semua itu banyak dipakai oleh perusahaan-perusahaan kecil hingga besar [1].

PT. Radisa Mahardi Rekatama adalah salah satu dari banyak Perusahaan yang bergerak dibidang *planning, engineering, manufacturing, installing dan customizing* yang menggunakan Aplikasi Zahir Project untuk laporan keuangan mereka. Untuk selanjutnya, kalimat PT. Radisa Mahardi Rekatama akan disingkat menjadi RMR.

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan gambaran mengenai kinerja, efektivitas serta efisiensi dari Aplikasi Zahir Project di RMR yang sedang berjalan saat ini, dengan berbagai aspek yang

diperhatikan seperti: efektivitas (*effectiveness*), efisiensi (*efficiency*), *data integrity, realibility, confidentiality, availability*, dan *security*.

COBIT ialah acuan atau kerangka kerja untuk pengukuran dan pengendalian TI. Kerangka kerja COBIT merupakan standar yang dinilai paling lengkap dan menyeluruh sebagai framework audit TI, karena dikembangkan berdasarkan aturan atau prosedur internal perusahaan atau institusi, sehingga saat dilakukan pengukuran akan sesuai dengan kondisi, aturan, prosedur kerja dan norma yang ada di perusahaan tersebut. COBIT telah dikembangkan secara berkelanjutan oleh lembaga profesional auditor yang tersebar hampir di seluruh dunia [2].

2 Dasar Teori

2.1. Audit Sistem Informasi

Audit Teknologi informasi pada hakekatnya merupakan salah satu dari bentuk audit operasional, tetapi kini audit

teknologi informasi sudah dikenal sebagai satu satuan jenis audit tersendiri yang tujuan utamanya lebih untuk meningkatkan tata kelola TI. Sebagai suatu audit operasional terhadap manajemen sumber daya informasi, yaitu efektivitas, efisiensi, dan ekonomis tidaknya unit fungsional sistem informasi pada suatu organisasi. Dengan diperkenalkan *COBIT*, kini tujuan audit bukan hanya terbatas pada konsep klasik saja, melainkan kini menjadi: efektivitas, efisiensi, kerahasiaan, keterpaduan, ketersediaan, kepatuhan pada kebijakan/aturan dan keandalan sistem informasi. Dalam pelaksanaannya, jenis audit ini berkembang dalam beberapa variannya:

1. Pemeriksaan operasional (*operational audit*) terhadap pengelolaan sistem informasinya, atau lebih tepatnya/tegasnya terhadap tata-kelola teknologi informasi (*IT governance*),
2. *General information review*, audit terhadap sistem informasi secara umum pada suatu organisasi tertentu,
3. Audit terhadap aplikasi tertentu yang sedang dikembangkan (*quality assurance* pada tahap *system development*) [3].

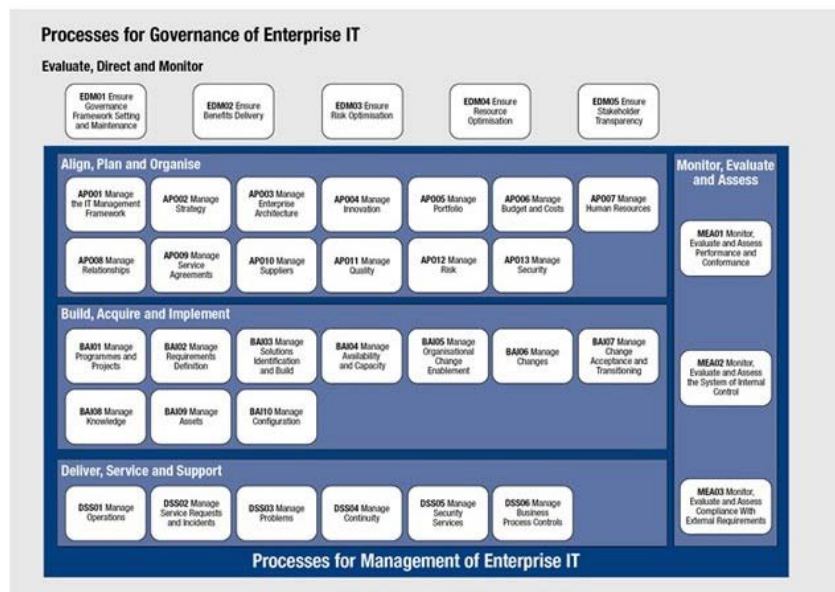
2.2. COBIT 5

Control Objectives for Information and Related Technology (COBIT) adalah *framework* yang dibuat oleh *Information Systems Audit and Control Association (ISACA)* untuk manajemen TI dan tata kelola TI dan sekarang banyak digunakan oleh bisnis. ISACA adalah pemimpin dunia yang diakui dalam tata kelola, kontrol, keamanan dan kepastian TI [4], [5].

COBIT 5 bersifat umum dan berguna untuk segala jenis ukuran perusahaan, baik itu sektor komersial, sektor *nonprofit* atau pada sektor pemerintahan atau publik. *COBIT 5* didasarkan pada lima prinsip kunci untuk tata kelola dan manajemen TI perusahaan. Kelima prinsip ini memungkinkan perusahaan untuk membangun sebuah kerangka tata kelola dan manajemen yang efektif, yang dapat mengoptimalkan investasi dan penggunaan TI untuk mendapatkan keuntungan bagi para *stakeholder* [6].

Secara teori, perusahaan dapat mengatur prosesnya sesuai keinginan, selama tujuan pengelolaan dan pengelolaan dasar tercakup. Usaha kecil mungkin memiliki lebih sedikit proses; Perusahaan yang lebih besar dan lebih kompleks mungkin memiliki banyak proses, semuanya mencakup tujuan yang sama. Model referensi proses *COBIT 5* adalah penerus model proses *COBIT 4.1*, dengan model proses TI Risiko dan Val IT terintegrasi juga. Gambar 1. Model Referensi Proses *COBIT 5* menunjukkan rangkaian lengkap 37 proses tata kelola dan manajemen dalam *COBIT*. *COBIT 5 Process Reference Model* menunjukkan rangkaian lengkap 37 proses tata kelola dan manajemen dalam *COBIT 5* [7], [9].

Bahkan dalam *COBIT 5* juga ada tujuan terkait TI tentang keamanan dan ada salah satu produk dari *COBIT 5* yang khusus fokus pada keamanan informasi, yaitu *COBIT 5 for Information Security* [8]. Hal itulah yang menjadi pertimbangan bagi peneliti untuk melakukan Audit Aplikasi Zahir menggunakan *COBIT*, terutama pada domain DSS01, DSS02, DSS04 dan juga pada Domain DSS05.



Gambar 1 Model Referensi Proses dalam COBIT 5 [5], [6], [7], [8], [9].

2.3. Capability Model

Model penilaian kapabilitas proses pada COBIT 5 berdasarkan pada ISO/IEC 15504, standar mengenai *Software Engineering* dan *Process Assessment*.

Kapabilitas proses merupakan karakteristik dari kemampuan sebuah proses untuk mencapai tujuan bisnis saat ini ataupun saat mendatang. Penilaian kapabilitas proses dilakukan untuk mengidentifikasi *level* kapabilitas proses tertentu dan kemudian menentukan langkah selanjutnya untuk melakukan peningkatan terhadap kapabilitas proses tersebut. Setiap atribut mendefinisikan aspek tertentu dari kapabilitas proses. Kombinasi pencapaian atribut proses tersebut akan menentukan *level* kapabilitas proses [10].

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa *Level* kapabilitas proses yang digunakan di dalam penilaian proses terdiri dari enam *level* yaitu:

Tabel 1 Capability Level di dalam COBIT 5 [10].

Level	Definisi Proses
0	<i>Incomplete process</i> Proses tidak diimplementasi atau gagal mencapai tujuan proses. Terdapat sedikit atau tidak ada bukti pencapaian tujuan proses secara sistematis
1	<i>Performed process</i> Implementasi proses mencapai tujuannya. Atribut proses yang mencerminkan pencapaian level ini adalah PA1.1 process performance. PA 1.1 mengukur sampai sejauh mana tujuan proses dicapai. Hasil pencapaian atribut ini tercermin dari setiap proses menghasilkan keluaran yang diharapkan.
2.1	<i>Performance Management</i> Mengukur sampai sejauh mana pelaksanaan proses diatur.
2.2	<i>Work Product Management</i> Mengukur sampai sejauh mana produk kerja diproduksi oleh proses yang telah diatur dengan baik.
3.1	<i>Process Definition</i> Mengukur sejauh mana proses didefinisikan untuk mendukung pelaksanaan proses.
3.2	<i>Process Deployment</i> Mengukur sejauh mana standar proses dilaksanakan secara efektif.
4.1	<i>Process Measurement</i> Mengukur sejauh mana hasil pengukuran digunakan untuk menjamin pelaksanaan proses dapat mendukung pencapaian tujuan organisasi.
4.2	<i>Process Control</i> Mengukur sejauh mana proses diatur secara kuantitatif untuk menghasilkan sebuah proses yang stabil dan dapat diprediksi sesuai dengan batasan yang didefinisikan.
5.1	<i>Process Innovation</i> Pengukuran sejauh mana perubahan proses diidentifikasi dari pelaksanaan proses dan dari pendekatan inovasi terhadap

	pelaksanaan proses.
5.2	<i>Process Optimization</i> Mengukur sejauh mana perubahan didefinisikan, mengelola pelaksanaan proses secara efektif untuk mendukung pencapaian tujuan peningkatan proses.

Skala yang digunakan untuk menilai atribut proses yaitu [11]:

N: *not achieved* (0 sampai dengan 15%) Terdapat sedikit atau tidak terdapat sama sekali bukti pencapaian atribut terhadap proses yang dinilai.

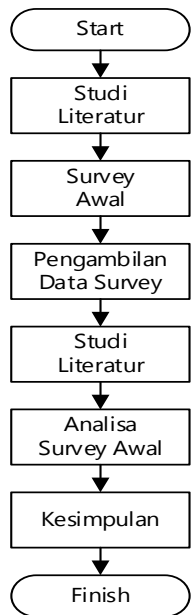
P: *partially achieved* (>15% sampai dengan 50%) Terdapat beberapa bukti pendekatan dan beberapa pencapaian atribut proses yang dinilai. Beberapa aspek pencapaian atribut mungkin tidak dapat diprediksi.

L: *largely achieved* (>50% sampai dengan 85%) Terdapat bukti pendekatan sistematis dan pencapaian yang signifikan terhadap atribut proses yang dinilai. Beberapa kelemahan terkait atribut ini mungkin terdapat di dalam proses yang dinilai.

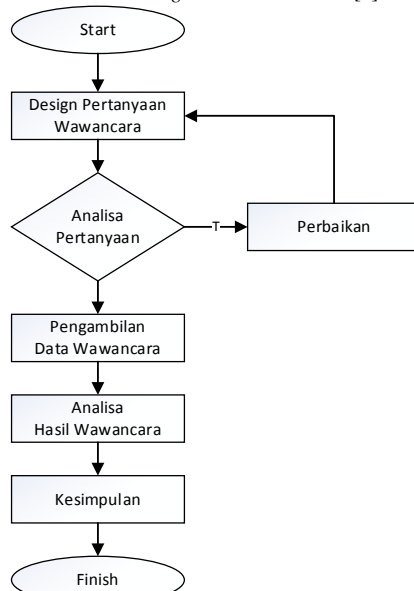
F: *fully achieved* (>85% sampai dengan 100%) Terdapat bukti lengkap dan pendekatan sistematis serta pencapaian penuh terhadap atribut proses yang dinilai. Tidak terdapat kelemahan terkait atribut yang terdapat di dalam proses yang dinilai.

3 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan dan tahapan-tahapan penulis dalam mengambil ataupun memperoleh data dari sumber, mulai dari studi literatur, survei awal, dan wawancara ditujukan pada Gambar 2. Diagram Alir Penelitian, Gambar 3 Diagram Alir Wawancara.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian [1].



Gambar 3 Diagram Alir Wawancara [1].

4 Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini, akan dibahas hasil Analisa dari Domain DSS yang berfokus pada Domain DSS dan proses-proses nya. RMR mengharapkan bahwa mereka mendapatkan hasil *process capability* bernilai 3, yaitu *Established Process*.

4.1. DSS01 Process Practices, Inputs/Outputs and Activities
Mengkoordinasikan dan melaksanakan kegiatan dan prosedur operasional yang diperlukan untuk memberikan layanan TI *internal* dan *outsourced*, termasuk pelaksanaan prosedur

operasi standar yang telah ditentukan sebelumnya dan kegiatan pemantauan yang diperlukan.

4.1.1. DSS01.01 Manage Operations

Menjaga dan melaksanakan prosedur operasional dan tugas operasional secara andal dan konsisten.

Hasil audit didapatkan bahwa RMR telah mempunyai prosedur tetap dan juga telah melaksanakan penggunaan Aplikasi Zahir sesuai dari prosedur yang telah ditetapkan. *Level capability* 3.1 yaitu *Process Definition*.

4.1.2. DSS01.02 Manage outsourced IT services

Mengelola pengoperasian layanan TI dari *Outsource* untuk menjaga perlindungan informasi perusahaan dan keandalan pemberian layanan.

Pihak Aplikasi Zahir tidak memiliki *ToS Agreement* didalam Aplikasi mereka yang mengikat Perusahaan, namun pihak RMR masih dapat menghubungi pihak Zahir ketika ada *error* yang terjadi pada program Zahir tersebut. Pihak Zahir akan langsung menangani masalah pada RMR saat itu juga. *Level Capability* 2.2 yaitu *Work Product Management*

4.1.3. DSS01.03 Monitor IT infrastructure

Memantau infrastruktur TI dan acara terkait. Simpan informasi kronologis yang cukup dalam *log* operasi untuk memungkinkan rekonstruksi, peninjauan dan pemeriksaan terhadap urutan waktu operasi dan aktivitas lain yang mengelilingi atau mendukung operasi.

RMR sudah mempunyai *log* tentang keuangan keluar masuk yang terjadi di dalam Perusahaan tetapi belum di urutan dari yang terpenting dan tidak terlalu penting. Semua masuk dalam 1 *log* di dalam aplikasi Zahir. *Level Capability* 2.2 yaitu *Work Product Management*.

4.1.4. DSS01.04 Manage the environment

Mengelola pengoperasian layanan TI secara *outsourced* untuk menjaga perlindungan informasi perusahaan dan keandalan pemberian layanan.

RMR sudah mengetahui ancaman yang mungkin terjadi di dalam ruang *Server*, namun Karena kondisi lingkungan yang baik, sehingga perusahaan belum berpikir untuk melindungi *Server* ketika terjadi bencana seperti banjir, gempa bumi, dsb. Namun perusahaan telah mempunyai prosedur untuk para karyawan ketika terjadi bencana alam, yaitu pertama menyelamatkan diri untuk para karyawan lalu sebisa mungkin melindungi data yang bias diselamatkan didalam ruang *Server*. *Level Capability* 2.1 yaitu *Performance Management*.

4.1.5. DSS01.05 Manage facilities

Mengelola fasilitas, termasuk peralatan listrik dan komunikasi, sesuai dengan peraturan perundang-undangan, persyaratan teknis dan bisnis, spesifikasi *vendor*, dan pedoman keselamatan dan kesehatan kerja.

RMR telah memiliki salah satu dari hal wajib untuk penanganan ketika listrik padam, yaitu *UPS* yang mampu menahan daya hingga 2 jam ketika listrik padam. Hal ini sudah lebih dari cukup ketika terjadi pemadaman listrik. Karena dalam waktu tersebut perusahaan masih bisa menggunakan alat TI dan masih memiliki banyak waktu untuk menyimpan data penting perusahaan.

Selain itu didapat bahwa seluruh penanganan kabel dari tiang listrik hingga kedalam gedung dikelola oleh PLN, sementara untuk pembagian listrik untuk penggunaan IT dan manufaktur sudah dilakukan oleh pihak perusahaan sendiri. *Level Capability 2.2* yaitu *Work Product Management*.

4.2. DSS02 Manage Service Requests and Incidents

Memberikan respon yang tepat waktu dan efektif terhadap permintaan pengguna dan penyelesaian semua jenis insiden. Kembalikan layanan normal; Merekam dan memenuhi permintaan pengguna; Dan mencatat, menyelidiki, mendiagnosis, meningkatkan dan menyelesaikan insiden.

4.2.1. DSS02.01 Define incident and service request classification schemes

Menentukan skema klasifikasi dan model permintaan dan permintaan.

RMR telah mengetahui proses tentang insiden keamanan ini, namun mereka belum memiliki prosedur seperti pencatatan apa saja yang akan dilakukan ketika terjadi bencana. *Level Capability 1.1* yaitu *Process Performance*

4.2.2. DSS02.02 Record, classify and prioritise requests and incidents

Mengidentifikasi, mencatat dan mengklasifikasikan permintaan layanan dan insiden, dan menetapkan prioritas sesuai dengan kekritisitas dan kesepakatan layanan bisnis.

RMR telah mengetahui dan mengidentifikasi informasi di Perusahaan dan telah mengurutkan catatan pada masing-masing topik, namun belum mengurutkan dari hal yang terpending hingga tidak terlalu penting. *Level Capability 2.1* yaitu *Performance Management*.

4.2.3. DSS02.03 Verify, approve and fulfil service requests

Memilih prosedur permintaan yang sesuai dan verifikasi bahwa permintaan layanan memenuhi kriteria permintaan yang ditentukan. Dapatkan persetujuan, jika diperlukan, dan memenuhi permintaan. Dengan kekritisitas dan kesepakatan layanan bisnis.

RMR telah mengetahui proses ini namun mereka belum menerapkan di dalam standar operasional mereka. *Level Capability 1.1* yaitu *Process Performance*

4.2.4. DSS02.04 Investigate, diagnose and allocate incidents

Mengidentifikasi dan mencatat gejala kejadian, menentukan penyebab yang mungkin, dan mengalokasikan untuk resolusi.

RMR telah mengetahui proses ini dan telah meletakkan hal yang mungkin terkena bencana alam di tempat yang aman, namun mereka belum memiliki standar untuk mencatat, dan menganalisa bencana alam yang kemungkinan bias terjadi secara tiba-tiba. *Level Capability 1.1* yaitu *Process Performance*

4.2.5. DSS02.05 Resolve and recover from incidents

Mendokumentasikan, menerapkan dan menguji solusi dan solusi yang teridentifikasi dan melakukan tindakan pemulihan untuk memulihkan layanan terkait TI.

RMR memiliki Server yang terpisah yang digunakan sebagai *Master Backup* ketika terjadi bencana dan hal-hal yang tidak diinginkan. Ketika komputer *Client* yang digunakan *IT Manager* maupun *Manager* terkena serangan *virus*, *malware* dan sebagainya ataupun ketika *hardware* dari komputer tiba-tiba rusak, maka data RMR akan tetap aman karena tersimpan pada *storage* yang berbeda. Ketika hal yang diinginkan pun itu terjadi, maka RMR sudah memiliki prosedur sendiri untuk memulihkan data mereka ke masing-masing komputer *Client*. *Level capability 3.2* yaitu *Process Deployment*.

4.2.6. DSS02.06 Close service requests and incidents

Melakukan verifikasi penyelesaian insiden yang memuaskan dan / atau pemenuhan permintaan, dan tutup.

RMR akan melakukan verifikasi apakah masalah yang mereka hadapi sudah terselesaikan atau belum, jika sudah maka mereka akan membuat laporan bahwa masalah tersebut sudah selesai, namun jika belum maka mereka akan meminta *vendor* terkait untuk melakukan *crosscheck* hingga masalah mereka terselesaikan. *Level Capability 2.2* yaitu *Work Product Management*.

4.2.7. DSS02.07 Track status and produce reports

Secara teratur melacak, menganalisa dan melaporkan kejadian dan meminta pemenuhan tren untuk memberikan informasi perbaikan terus-menerus.

RMR sudah menerapkan pencatatan masalah TI yang terjadi namun hanya sebatas informasi saja, belum sampai ke pembukuan dan mereka belum sampai ke integrasi data secara *online*. *Level Capability 1.1* yaitu *Process Performance*

4.3. DSS03 Manage Problems

Mengidentifikasi masalah dan mengklasifikasikan masalah dan akar permasalahannya dan memberikan resolusi tepat waktu untuk mencegah kejadian berulang. Memberikan rekomendasi untuk perbaikan.

4.3.1. DSS03.01 Identify and classify problems

Menentukan dan menerapkan kriteria dan prosedur untuk melaporkan masalah yang teridentifikasi, termasuk klasifikasi masalah, kategorisasi dan prioritas.

RMR tidak terlalu berfokus kepada manajemen TI di Perusahaan mereka karena RMR bergerak di bidang

manufacturing produk yang tidak terlalu membutuhkan infrastruktur TI yang besar, sehingga mereka tidak memiliki standar ketika terjadi perubahan besar pada bidang TI di dalam Perusahaan. Mereka akan menyerahkan tugas TI kepada pihak yang bersangkutan untuk menangani masalah tersebut. Tetapi untuk masalah penentuan ahli TI untuk *hardware* dan *software* yang bersifat *simple* di, RMR telah menunjuk seorang ahli TI di Perusahaan untuk mengatur hal tersebut. *Level Capability* 1.1 yaitu *Process Performance*.

4.3.2. DSS03.02 Investigate and diagnose problems

Menyelidiki dan mendiagnosa masalah dengan menggunakan ahli manajemen subjek yang relevan untuk menilai dan menganalisis akar permasalahan.

RMR telah memiliki prosedur ketika terjadi masalah *error* pada program mereka yaitu menghubungi *Developer* aplikasi Zahir untuk melakukan konsultasi langsung melalui telfon, namun RMR belum sampai memiliki catatan khusus tentang masalah-masalah yang mereka hadapi untuk menjadi pedoman di kemudian hari. *Level Capability* 1.1 yaitu *Process Performance*

4.3.3. DSS03.03 Raise known errors

Segera setelah akar penyebab masalah diidentifikasi, buat catatan kesalahan yang diketahui dan solusi yang sesuai, dan identifikasi solusi potensial.

RMR sampai saat ini belum memiliki kasus kesalahan di bidang Aplikasi Zahir yang sangat fatal hingga terjadi *error* yang membuat lumpuh Perusahaan, maka dari itu RMR belum sampai memiliki catatan dari kesalahan apa dan solusi apa yang harus dilakukan ketika Aplikasi terjadi *error*. Mereka akan langsung menghubungi pihak *Developer* ketika hal tersebut terjadi. *Level Capability* 0 yaitu *Incomplete Process*.

4.3.4. DSS03.04 Resolve and close problems

Mengidentifikasi dan memulai solusi berkelanjutan yang menangani akar permasalahan, meningkatkan permintaan perubahan melalui proses manajemen perubahan yang mapan jika diperlukan untuk menyelesaikan kesalahan. Pastikan personil yang terkena dampak sadar akan tindakan yang diambil dan rencana yang dikembangkan untuk mencegah kejadian di masa depan.

RMR memiliki pengaturan jadwal ketika terjadi kerusakan hal TI di dalam Perusahaan seperti sambungan kabel yang putus, *hardware* atau *software* komputer yang *error*, semua hal itu mereka jadwalkan untuk kapan diperbaiki oleh teknisi terkait.

RMR juga akan memberikan laporan konfirmasi bahwa masalah yang mereka hadapi telah selesai, sehingga pihak terkait mengetahui bahwa masalah yang mereka hadapi telah terselesaikan. *Level capability* 3.1 yaitu *Process Definition*.

4.3.5. DSS03.05 Perform proactive problem managements

Mengumpulkan dan menganalisis data operasional (terutama kejadian dan catatan perubahan) untuk mengidentifikasi

kecenderungan yang muncul yang mungkin mengindikasikan masalah. *Log* catatan masalah untuk mengaktifkan penilaian.

RMR belum mengetahui proses ini, mereka belum memiliki *log* masalah dan mereka tidak melakukan penilaian terhadap masalah terkait dengan TI yang terjadi.

Mereka juga belum memikirkan jadwal teratur untuk mengadakan pertemuan antar manager dan pemilik RMR untuk membahas masalah perubahan tata kelola TI. *Level Capability* 0 yaitu *Incomplete Process*.

4.4. DSS05 Manage Security Services

Melindungi informasi perusahaan untuk menjaga tingkat risiko keamanan informasi yang dapat diterima oleh perusahaan sesuai dengan kebijakan keamanan. Menetapkan dan memelihara peran keamanan informasi dan hak akses dan melakukan pemantauan keamanan.

4.4.1. DSS05.01 Protect against malware

Melaksanakan dan memelihara tindakan pencegahan, detektif dan perbaikan yang ada (terutama *patch* keamanan dan pengendalian *virus* terkini) di seluruh perusahaan untuk melindungi sistem informasi dan teknologi dari perangkat lunak perusak (misal *Virus*, *worm*, *spyware*, *spam*).

RMR sudah memiliki *Anti-virus* di dalam masing-masing komputer *Client*. Perusahaan juga menetapkan bahwa komputer *Client* hanya boleh digunakan untuk proses kerja, dan tidak boleh untuk hal lain seperti melakukan *install* aplikasi dari luar.

RMR menerima order melalui telfon dan sms dan mereka juga memiliki alamat *e-mail* bernama support@radisa-mr.com yang belum memiliki fitur *auto-filter* pesan spam sehingga seluruh pesan akan masuk tanpa dilakukan *filter* terlebih dahulu.

Namun untuk pemantauan secara teratur, pihak RMR belum sampai melakukan hal tersebut.

Ketika hal paling buruk seperti *Harddisk* komputer *Client* rusak, terkena *virus* dan serangan lainnya, mereka sudah memiliki *backup Server* di ruangan yang berbeda sehingga kehilangan data dapat diminimalisir. *Level capability* 3.1 yaitu *Process Definition*.

4.4.2. DSS05.02 Manage network and connectivity security

Gunakan tindakan pengamanan dan prosedur manajemen terkait untuk melindungi informasi dari semua metode konektivitas.

RMR membagi menjadi 2 bagian operasional komputer mereka, yaitu *Client* dan *Server*. Masing-masing tentu saja memiliki *password* yang dibutuhkan ketika ingin melakukan penggunaannya.

RMR memiliki jalur sendiri dan tidak berhubungan dengan jalur lain yaitu dengan menggunakan *Wireless* yang di *password* untuk menghubungkan *Client* dan *Server* mereka.

Namun RMR belum melakukan proses enkripsi data sehingga data yang keluar masuk adalah data asli yang dapat

dengan mudah dibaca oleh semua orang tanpa proses lebih lanjut lagi.

RMR belum pernah melakukan ujian penetrasi sistem mereka dan tidak memiliki jadwal pengujian sistem secara berkala untuk mengetahui seberapa kuat keamanan dari *Server* mereka. *Level Capability 2.2* yaitu *Work Product Management*.

4.4.3. DSS05.03 Manage endpoint security

Memastikan titik akhir (misalnya, *laptop*, *desktop*, *server*, dan perangkat seluler dan jaringan seluler atau perangkat lunak lainnya) dijamin pada tingkat yang sama atau lebih besar dari persyaratan keamanan yang ditetapkan dari informasi yang diproses, disimpan atau dikirim.

Pihak RMR telah melakukan konfigurasi sistem operasi dengan aman yaitu menggunakan *Windows Original* pada perusahaan mereka. Namun mereka sama sekali tidak melakukan proses enkripsi data masuk dan keluar dalam Perusahaan.

Pihak RMR juga belum mengetahui proses isi lebih lanjut namun beberapa proses sudah mereka ketahui. *Level Capability 1.1* yaitu *Process Performance*

4.4.4. DSS05.04 Manage user identity and logical access

Memastikan semua pengguna memiliki hak akses informasi sesuai dengan kebutuhan bisnis mereka dan berkoordinasi dengan unit bisnis yang mengelola hak akses mereka sendiri dalam proses bisnis.

Hanya *manager* dan ahli TI terkait yang boleh menggunakan komputer di dalam ruangan TI, dan hanya ahli TI yang boleh masuk ke ruangan *Server* sehingga bencana oleh manusia sudah diminimalisir oleh RMR.

Namun untuk hak akses istimewa hanya ada *password* ketika *login Windows* tanpa ada akses eksklusif dengan *Username* yang berbeda.

Pihak RMR juga belum memiliki jadwal untuk manajemen rutin terkait dengan peninjauan akun istimewa. *Level Capability 1.1* yaitu *Process Performance*

4.4.5. DSS05.05 Manage physical access to IT assets

Menentukan dan menerapkan prosedur untuk memberi, membatasi dan mencabut akses terhadap bangunan, bangunan dan area sesuai kebutuhan bisnis, termasuk keadaan darurat. Akses ke bangunan, bangunan dan area harus dibenarkan, disahkan, dicatat dan dipantau. Ini harus berlaku untuk semua orang yang memasuki tempat itu, termasuk staf, staf sementara, klien, *vendor*, pengunjung atau pihak ketiga lainnya.

RMR berjalan dalam sebuah gedung yang memiliki ruangan *Server*, ruangan kantor/kerja dan ruangan untuk proses *manufacturing*. Karena gedung hanya terdiri dari tiga lantai dan tidak terlalu besar, makan akses untuk masuk tidak terlalu ketat, pengunjung tidak memerlukan tanda pengenal dan tidak diharuskan menggunakan *nametag* untuk masuk ke dalam.

Di RMR juga belum ada kartu tanda pengenal yang sampai digunakan untuk proses *authentication* dan disini belum ada pembatasan akses antar ruang, semua bekerja di dalam satu ruangan kantor, satu ruangan untuk *manufacture* dan satu ruangan untuk *Server*, namun untuk ruangan *Server* dijaga 24 jam 7 hari untuk memastikan tidak boleh ada orang yang tidak berwenang masuk ke dalam ruangan *Server*.

Untuk penggunaan *biometric*, RMR menggunakan sidik jari hanya untuk sebatas melakukan absen harian. *Level Capability 1.1* yaitu *Process Performance*

4.4.6. DSS05.06 Manage sensitive documents and output devices

Menetapkan pengamanan fisik, praktik akuntansi dan pengelolaan persediaan yang tepat atas aset TI yang sensitif, seperti formulir khusus, instrumen yang dapat dinegosiasikan, printer tujuan khusus atau token keamanan.

Semua dokumen yang masuk harus diterima oleh *manager* dan melalui proses pengecekan terlebih dahulu, namun belum ada penetapan hak akses terhadap dokumen apa saja yang boleh dilihat oleh masing-masing *manager*.

RMR membuang sampah dokumen yang pernah dianggap penting dengan cara di rusak terlebih dahulu seperti perobekan kertas sehingga jika ada orang yang menemukan dokumen tersebut, maka orang tersebut akan kesulitan untuk mengetahui informasi apa yang ada di dalam dokumen tersebut, namun RMR tidak menyediakan tempat terpisah untuk sampah pembuangan dokumen dan menjadikan 1 dengan sampah lainnya. *Level Capability 2.1* yaitu *Performance Management*.

4.4.7. DSS05.07 Monitor the infrastructure for security-related events

Menggunakan alat deteksi intrusi, memantau infrastruktur untuk akses yang tidak sah dan memastikan bahwa setiap peristiwa diintegrasikan dengan pemantauan kejadian dan pengelolaan kejadian secara umum.

RMR belum memiliki laporan kejadian terkait TI yang terjadi di perusahaan, mereka juga belum mempunyai alat TI seperti *Metal Detector* namun mereka sudah mempunyai CCTV untuk bagian keamanan.

Karyawan di RMR dilatih untuk bisa secara terus mematuhi aturan dan standar prosedur yang berlaku dan mereka juga dituntut untuk bisa bekerja dibawah tekanan agar proyek yang mereka kerjakan bisa selesai tepat waktu sesuai dengan permintaan *Client*. *Level Capability 1.1* yaitu *Process Performance*.

Dari hasil diatas, maka didapatkan hasil rata-rata Domain DSS beserta proses-prosesnya seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2 Summary Hasil Rata-rata.

No.	Sub Domain	Current	Expected
DSS01	Process Practices, Inputs/Outputs and Activities	2.4	3
DSS02	Manage Service Requests and Incidents	1.7	3
DSS03	Manage Problems	1.1	3
DSS05	Manage Security Services	1.7	3

5 Simpulan dan Saran

5.1. Simpulan

Dari pembahasan diatas, bias dikatakan bahwa RMR sudah menggunakan Aplikasi Zahir dan sudah mengimplementasikan standar pengoperasionalan IT di Perusahaan mereka.

Mereka juga sudah melakukan tindakan preventif untuk penanggulangan bencana dengan menempatkan Server yang berbeda dengan ruang kerja mereka.

RMR belum memiliki prosedur pencatatan akan bencana yang kemungkinan dapat terjadi dan belum memiliki pembukuan tentang bencana apa saja yang pernah terjadi di dalam Perusahaan.

5.2. Saran

RMR harus secara rutin melakukan *maintenance Server* serta membuat *backup* data yang ada di *Server*, dan juga membuat persiapan untuk menanggulangi ketika terjadi bencana baik dari alam maupun dari manusia, hal ini untuk meminimalisir adanya kehilangan data ketika terjadi hal yang tidak diinginkan.

RMR juga harus membuat prosedur yang perlu dilakukan ketika terjadi bencana ataupun hal yang tidak diinginkan, dan melakukan pencatatan *history error* apa saja yang terjadi di dalam aplikasi Zahir sehingga ketika kedepan nya terjadi pergantian orang ataupun penambahan pekerja yang terkait dalam bidang TI di dalam Perusahaan, maka orang tersebut

bisa melihat hal apa yang harus ia lakukan ketika terjadi *error* pada aplikasi Zahir.

Kepustakaan

- [1] Andry, J.F., *Audit Tata Kelola TI Menggunakan Kerangka Kerja COBIT pada Domain DS dan ME di Perusahaan Kreavi Informatika Solusindo*, Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi 2016, Yogyakarta, 18-19 Maret 2016.
- [2] Hidayat, A.E., *Audit Control Capability Level Tata Kelola Sistem Informasi Menggunakan COBIT 5*, Jurnal Informasi, Bandung, November 2015.
- [3] Andry, J.F., *Audit Sistem Informasi Sumber Daya Manusia Pada Training Center di Jakarta Menggunakan Framework COBIT 4.1*, Jurnal Ilmiah FIFO Vol. 8, No.1, Mei 2016.
- [4] Pasquini, A., *COBIT 5 and the Process Capability Model. Improvements Provided for IT Governance Process*, *Proceedings of FIKUSZ '13 Symposium for Young Researchers*, pp. 67-76, 2013.
- [5] Andry, J.F., *Performance Measurement IT of Process Capability Model Based on COBIT: A Study Case*, Jurnal Ilmiah DASI Vol.17 No. 3, Yogyakarta, September 2016.
- [6] Putri, R.E., *Teknik Informatika Program Studi Sistem Komputer FTI Universitas Andalas*, Jurnal CoreIT, Vol.2, No.1, Juni 2016, Padang: Jl. Kampus Limau Manis. (2016).
- [7] ISACA COBIT 5, 2012, *Enabling Process Institute*, www.itgi.org.
- [8] Ciptaningrum, D., Nugroho, E. & Adhipta, D., *Audit Keamanan Sistem Informasi pada Kantor Pemerintah Kota Yogyakarta menggunakan COBIT 5*, Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi 2015, Yogyakarta, 28 Maret 2015.
- [9] Andry, J.F., *Process Capability Model Based on COBIT 5 Assessments (Case Study)*, Jatisi, Vol. 3 No. 1 September 2016, Palembang.
- [10] ISO/IEC 15504-2, "Software Engineering Process Assessment Part 2: Performing an assessment", 2003.

Pemanfaatan Open Source untuk Internal dan Eksternal DNS di Perusahaan

Agni Isador Harsapranata

Akademi Manajemen Informatika dan Komputer
Bina Sarana Informatika
Jl. Cut Mutiah No. 88, Bekasi , Mobile 081510103848
Website: <http://www.bsi.ac.id>
E-mail: agniiisador@gmail.com

Abstrak – Perkembangan teknologi internet saat ini sudah sedemikian pesatnya. Ini dapat dilihat dari jumlah ketersediaan jaringan yang semakin luas. Dalam penggunaan internet, pengguna tidak akan lepas dari service Domain Name System atau juga sering disingkat dengan DNS. Teknologi DNS saat ini sangat menunjang dalam komunikasi data dari Client dan Server. Tanpa menggunakan DNS, komunikasi data akan terhambat, bahkan akan mengalami gangguan, yang akan mengakibatkan kerugian disisi pengguna dan penyedia service di server. Dalam penelitian ini penulis melakukan penelitian mengenai DNS menggunakan open source, disini penulis menggunakan Linux Centos sebagai sistem operasinya, dan aplikasi BIND. Kedua aplikasi ini akan memberikan service DNS, yang mana service tersebut memiliki dua sisi, yaitu sisi eksternal yang dapat diakses secara public yaitu dapat dilihat dari Internet secara global, dan sisi internal, dimana hanya dapat dilihat oleh internal perusahaan. Service DNS yang dilakukan oleh satu mesin ini sangat membantu administrator jaringan perusahaan dan pengguna internal perusahaan, dikarenakan pengguna internal aplikasi di perusahaan tidak perlu menghafal setiap IP Address server yang akan digunakan. Konfigurasi aplikasi ini bermanfaat dalam melakukan administrasi server, dimana dalam perusahaan memiliki lebih dari satu server, bahkan berpuluh server yang berbeda fungsi.

Kata kunci: *DNS, Server, Bind*

1 Pendahuluan

Melakukan pemanggilan aplikasi melalui ip address bukanlah pekerjaan yang sulit, akan tetapi menjadi berbeda apabila jumlah service dan server yang tersedia berjumlah puluhan dan bahkan ratusan. Tentu sebagai pengguna sistem informasi akan mengalami kesulitan dalam menghafal setiap alamat ip address penyedia service. Oleh karena itu disini penulis tertarik dalam penelitian mengenai DNS Serve. Dimana dengan memanfaatkan DNS, disisi pengguna tidak akan kesulitan dalam menghafal alamat ip address penyedia sistem informasi, DNS ini akan bekerja baik dari *intranet* dan *internet*. Disini penulis memanfaatkan teknologi *open source*, baik dari sistem operasi, dan aplikasi yang dipergunakan. *Open source* walaupun didapatkan secara gratis, kemampuan yang dimiliki tidaklah kalah dengan aplikasi *close source*.

2 Dasar Teori

Disini penulis mencoba memberi penjelasan mengenai teori teori yang berhubungan dalam penelitian ini:

2.1. Ip Address

Setiap computer yang terkoneksi ke *Internet* ataupun *intranet* diberi alamat yang berbeda. Alamat ini supaya beragam diseluruh dunia maka pemberian alamat *IP address* diseluruh dunia diberikan oleh badan internasional *Internet Assigned Number Authority (IANA)*, dimana *IANA* hanya memberikan *IP address Network ID* nya saja sedangkan *host ID* diatur oleh pemilik *IP address* tersebut. *Ip address* dibagi menjadi 2 bagian yaitu *Network ID* dan *Host ID*, *Network ID* yang akan menentukan alamat dalam jaringan (*network address*) sedangkan *Host ID* menentukan alamat dari peralatan jaringan yang sifatnya unik untuk membedakan antara satu mesin dengan mesin lainnya. Ibaratkan *Network ID* Nomor jalan dan alamat jalan sedangkan *Host ID* adalah

nomor rumahnya. Dalam *IP address* dibagi menjadi beberapa kelas seperti di gambar 1.

IP address class	IP address range (First Octet Decimal Value)
Class A	1-126 (00000001-01111110) *
Class B	128-191 (10000000-10111111)
Class C	192-223 (11000000-11011111)
Class D	224-239 (11100000-11101111)
Class E	240-255 (11110000-11111111)

Gambar 1. Kelas IP Address

Kelas yang umum digunakan adalah kelas A sampai dengan kelas C.

Catatan :

- Alamat *Network ID* dan *Host ID* tidak boleh semuanya 0 atau 1 karena jika semuanya angka biner 1 : 255.255.255.255 maka alamat tersebut disebut *flooded broadcast*
- Alamat *network*, digunakan dalam routing untuk menunjukkan pengiriman paket *remote network*, contohnya 10.0.0.0, 172.16.0.0 dan 192.168.10.0.

Dari gambar 2 dapat diperhatikan kelas A menyediakan *jumlah network* yang paling sedikit namun menyediakan *host id* yang paling banyak dikarenakan hanya oktet pertama yang digunakan untuk alamat *network* bandingkan dengan kelas B dan C.

Address Class	Number of Networks	Number of Host per Netw
A	126 *	16,777,216
B	16,384	65,535
C	2,097,152	254
D (Multicast)	N/A	N/A

Gambar 2. Jumlah IP Host dan Network

2.2. Linux Operating System

Linux adalah nama yang diberikan kepada sistem operasi komputer bertipe Unix. Linux merupakan salah satu contoh hasil pengembangan perangkat lunak bebas dan sumber terbuka. Seperti perangkat lunak bebas dan sumber terbuka lainnya pada umumnya, kode sumber Linux dapat dimodifikasi, digunakan dan didistribusikan kembali secara bebas oleh siapa saja. Nama "Linux" berasal dari nama pembuatnya, yang diperkenalkan tahun 1991 oleh Linus Torvalds. Sistemnya, peralatan sistem dan pustakanya umumnya berasal dari sistem operasi *GNU (General Public License)*, yang diumumkan tahun 1983 oleh Richard Stallman. Kontribusi *GNU* adalah dasar dari munculnya nama alternatif Linux. Linux telah lama dikenal untuk penggunaannya di server, dan didukung oleh perusahaan-perusahaan komputer ternama seperti Intel, Dell, Hewlett-Packard, IBM, Novell, Oracle Corporation, Red Hat, dan Sun Microsystems. Linux digunakan sebagai sistem operasi di berbagai macam jenis

perangkat keras komputer, termasuk komputer desktop, superkomputer, dan sistem benam seperti pembaca buku elektronik, sistem permainan video (PlayStation 2, PlayStation 3 dan Xbox), telepon genggam dan router. Para pengamat teknologi informatika beranggapan kesuksesan Linux dikarenakan Linux tidak bergantung kepada vendor (vendor independence), biaya operasional yang rendah, dan kompatibilitas yang tinggi dibandingkan versi UNIX tak bebas, serta faktor keamanan dan kestabilannya yang tinggi dibandingkan dengan sistem operasi lainnya seperti Microsoft Windows. Ciri-ciri ini juga menjadi bukti atas keunggulan model pengembangan perangkat lunak sumber terbuka (*opensource software*). seperti GNOME, KDE dan Xfce juga memiliki paket aplikasi perkantoran (office suite) seperti OpenOffice.org, KOffice, Abiword.

Sistem operasi Unix dikembangkan dan diimplementasikan pada tahun 1960-an dan pertama kali dirilis pada 1970. Faktor ketersediaannya dan kompatibilitasnya yang tinggi menyebabkannya dapat digunakan, disalin dan dimodifikasi secara luas oleh institusi-institusi akademis dan pada pebisnis.



Gambar 3. Logo Linux Tux

Logo Linux (Tux) seperti di lihat di gambar 3 dimulai saat Linus Torvalds sedang berjalan-jalan di taman Perth. Saat sedang berjalan itu lah Linus Torvalds di patok oleh seekor Pinguin dan demam selama berhari-hari. Ia berpikir bahwa karakter penguin cocok untuk menjadi logo dari sistem operasi barunya itu. Maka diadakan sebuah kompetisi untuk mendesain Logo Linux yang baru, dan kompetisi itu dimenangkan oleh Larry Ewing yang berhasil menggambarkan seekor penguin yang sedang duduk.

Proyek *GNU* yang mulai pada 1984 memiliki tujuan untuk membuat sebuah sistem operasi yang kompatibel dengan Unix dan lengkap dan secara total terdiri atas perangkat lunak bebas. Tahun 1985, Richard Stallman mendirikan Yayasan Perangkat Lunak Bebas dan mengembangkan Lisensi Publik Umum *GNU*. Kebanyakan program yang dibutuhkan oleh sebuah sistem operasi (seperti pustaka, kompiler, penyunting teks, shell Unix dan sistem jendela) diselesaikan pada awal tahun 1990-an, walaupun elemen-elemen tingkat rendah seperti *device driver*, dan kernel masih belum selesai pada saat itu. Linus Torvalds pernah berkata bahwa jika kernel *GNU* sudah tersedia pada saat itu (1991), dia tidak akan memutuskan untuk menulis versinya sendiri.

MINIX, sebuah sistem bertipe Unix yang ditujukan untuk penggunaan akademis dirilis oleh Andrew S. Tanenbaum pada tahun 1987. Kode sumber MINIX 1.0 tercantum dalam bukunya *Operating Systems: Design and Implementation*. Walaupun dapat secara mudah didapatkan, modifikasi dan pendistribusian ulang tidak diperbolehkan pada saat itu. Hak cipta dari kode sumbernya termasuk ke dalam hak cipta dari bukunya yang dipublikasikan oleh Prentice Hall. Sebagai tambahan, disain versi 16-bit dari MINIX kemudian tidak secara baik diadaptasikan kepada versi 32-bit dari arsitektur Intel 386 yang murah dan populer yang digunakan secara luas di komputer pribadi.

Tahun 1991, Torvalds mulai bekerja untuk membuat versi non-komersial pengganti MINIX sewaktu ia belajar di Universitas Helsinki. Hasil kerjanya itu yang kemudian akan menjadi kernel Linux. Pada tahun 1992, Tanenbaum menulis sebuah artikel di Usenet, mengklaim bahwa Linux sudah ketinggalan zaman. Dalam artikelnya, ia mengkritik Linux sebagai sebuah sistem operasi dengan rancangan monolitik dan terlalu terpaku dengan arsitektur x86 sehingga tidak bersifat *portable*, di mana digambarkannya sebagai sebuah "kesalahan mendasar". Tanenbaum menyarankan bahwa mereka yang menginginkan sebuah sistem operasi modern harus melihat kepada sebuah rancangan yang berdasarkan kepada model *mikrokernel*. Tulisan tersebut menekankan tanggung jawab Torvalds yang berujung kepada sebuah debat tentang rancangan kernel *monolitik* dan *microkernel*. Sekarang ini Linux telah digunakan di berbagai domain, dari sistem benam sampai superkomputer, dan telah mempunyai posisi yang aman dalam instalasi server web dengan aplikasi *LAMP*-nya yang populer. Pengembangan kernel Linux masih dilanjutkan oleh Torvalds, sementara Stallman mengepalai Yayasan Perangkat Lunak Bebas yang mendukung pengembangan komponen *GNU*. Selain itu, banyak individu dan perusahaan yang mengembangkan komponen non-*GNU*. Komunitas Linux menggabungkan dan mendistribusikan kernel, komponen *GNU* dan non-*GNU* dengan perangkat lunak manajemen paket dalam bentuk distribusi Linux. Linux merupakan sistem operasi bertipe Unix modular. Linux memiliki banyak disain yang berasal dari disain dasar Unix yang dikembangkan dalam kurun waktu 1970-an hingga 1980-an. Linux menggunakan sebuah *kernel monolitik*, *kernel* Linux yang menangani kontrol proses, jaringan, *periferal* dan pengaksesan sistem berkas. *Device driver* telah terintegrasi ke dalam kernel. Banyak fungsi-fungsi tingkat tinggi di Linux ditangani oleh proyek-proyek terpisah yang berintegrasi dengan *kernel*. Userland *GNU* merupakan sebuah bagian penting dari sistem Linux yang menyediakan shell dan peralatan-peralatan yang menangani banyak fungsi-fungsi dasar sistem operasi. Di atas *kernel*, peralatan-peralatan ini membentuk sebuah sistem Linux lengkap dengan sebuah antarmuka pengguna grafis yang dapat digunakan, umumnya berjalan di atas *X Window System*.

Linux dapat dikendalikan oleh satu atau lebih antarmuka baris perintah (*command line interface* atau *CLI*) berbasis teks, antarmuka pengguna grafis (*graphical user interface* atau *GUI*), yang umumnya merupakan konfigurasi bawaan untuk versi *desktop*.

Pada komputer meja, GNOME, KDE dan Xfce merupakan antarmuka pengguna yang paling populer, walaupun terdapat sejumlah varian antarmuka pengguna. Antarmuka pengguna yang paling populer berjalan di atas *X Window System* (X), yang menyediakan transparansi jaringan yang memperolehkan sebuah aplikasi grafis berjalan di atas satu mesin tetapi ditampilkan dan dikontrol di mesin yang lain.

GUI yang lain memiliki *X window manager* seperti FVWM, Enlightenment, Fluxbox, Icewm dan Window Maker. Manajer jendela menyediakan kontrol untuk penempatan dan penampilan dari jendela-jendela aplikasi individual serta interaksi dengan sistem jendela X.

Sebuah sistem Linux umumnya menyediakan sebuah antarmuka baris perintah lewat sebuah shell, yang merupakan cara tradisional untuk berinteraksi dengan sebuah sistem Unix. Sebuah distro Linux yang dikhususkan untuk lingkungan server mungkin hanya memiliki *CLI* sebagai satu-satunya antarmuka. Sebuah sistem yang tidak memiliki monitor hanya dapat dikontrol melalui baris perintah lewat protokol seperti SSH atau telnet.

Kebanyakan komponen tingkat rendah Linux, menggunakan *CLI* secara eksklusif. *CLI* cocok untuk digunakan pada lingkungan otomasi tugas-tugas yang repetitif atau tertunda, dan menyediakan komunikasi inter-proses yang sangat sederhana. Sebuah program *emulator* terminal grafis sering digunakan untuk mengakses *CLI* dari sebuah Linux desktop. Perbedaan utama antara Linux dan sistem operasi populer lainnya terletak pada *kernel* Linux dan komponen-komponennya yang bebas dan terbuka. Linux bukan satu-satunya sistem operasi dalam kategori tersebut, walaupun demikian Linux adalah contoh terbaik dan terbanyak digunakan. Beberapa lisensi perangkat lunak bebas dan sumber terbuka berdasarkan prinsip-prinsip *copyleft*, sebuah konsep yang menganut prinsip: karya yang dihasilkan dari bagian *copyleft* harus juga merupakan *copyleft*. Lisensi perangkat lunak bebas yang paling umum, GNU GPL, adalah sebuah bentuk *copyleft*, dan digunakan oleh *kernel* Linux dan komponen-komponen dari proyek *GNU*. Sistem Linux berkaitan erat dengan standar-standar POSIX, SUS, ISO dan ANSI. Akan tetapi, baru distribusi Linux-FT saja yang mendapatkan sertifikasi POSIX.1. Proyek-proyek perangkat lunak bebas, walaupun dikembangkan dalam bentuk kolaborasi, sering dirilis secara terpisah. Akan tetapi, dikarenakan lisensi-lisensi perangkat lunak bebas secara eksplisit mengizinkan distribusi ulang, terdapat proyek-proyek yang bertujuan untuk mengumpulkan perangkat lunak-perangkat lunak tersebut dan menjadikannya tersedia dalam waktu bersamaan dalam suatu bentuk yang dinamakan distribusi Linux. Sebuah distribusi Linux, yang umum disebut dengan "distro", adalah sebuah proyek yang bertujuan untuk

mengatur sebuah kumpulan perangkat lunak berbasis Linux dan memfasilitasi instalasi dari sebuah sistem operasi Linux. Distribusi-distribusi Linux ditangani oleh individu, tim, organisasi sukarelawan dan entitas komersial. Distribusi Linux memiliki perangkat lunak sistem dan aplikasi dalam bentuk paket-paket dan perangkat lunak yang spesifik dirancang untuk instalasi dan konfigurasi sistem. Perangkat lunak tersebut juga bertanggung jawab dalam pemutakhiran paket. Sebuah Distribusi Linux bertanggung jawab atas konfigurasi bawaan, sistem keamanan dan integrasi secara umum dari paket-paket perangkat lunak sistem Linux. Linux dikendalikan oleh pengembang dan komunitas pengguna. Beberapa vendor mengembangkan dan mendanai distribusi mereka sendiri dengan dasar kesukarelaan. Debian merupakan contoh yang bagus. Yang lain memiliki versi komunitas dari versi komersialnya seperti yang Red Hat lakukan dengan Fedora. Di banyak kota dan wilayah, asosiasi lokal yang dikenal dengan nama Kelompok Pengguna Linux (*Linux Users Group* atau *LUG*) mempromosikan Linux dengan mengadakan pertemuan, demonstrasi, pelatihan, dukungan teknis dan instalasi sistem operasi Linux secara gratis. Ada banyak juga komunitas Internet yang menyediakan dukungan terhadap pengembang dan pengguna Linux. Banyak proyek distribusi dan perangkat lunak sumber terbuka yang memiliki ruang percakapan IRC atau newsgroup. Forum daring merupakan bentuk lain untuk mendapatkan dukungan, contoh: *LinuxQuestions.org* dan forum *Gentoo*. Distribusi Linux memiliki milis dengan pembagian topik seperti penggunaan atau pengembangan.

Ada beberapa situs web teknologi yang berfokuskan kepada Linux. *Linux Weekly News* adalah sebuah berita mingguan dari berita-berita yang berkaitan dengan Linux. Sementara itu *Linux Journal* merupakan majalah Linux daring yang dirilis setiap bulan. *Slashdot* adalah situs web berita yang berhubungan dengan teknologi yang memiliki banyak berita tentang Linux dan perangkat lunak bebas. *Groklaw* memiliki berita mendalam tentang kemajuan Linux dan memiliki banyak artikel yang berhubungan dengan kernel Linux serta hubungannya dengan GNU dalam proyek GNU. Majalah Linux cetakan umumnya memiliki cakram sampel yang memuat perangkat lunak atau bahkan distribusi Linux lengkap. Walaupun Linux secara umum tersedia secara gratis, beberapa perusahaan besar menjalani model bisnis yang terdiri dari penjualan, dukungan dan kontribusi terhadap Linux dan perangkat lunak bebas; ini termasuk Dell, IBM, HP, Sun Microsystems, Novell, dan Red Hat. Lisensi perangkat lunak bebas di mana digunakan Linux secara eksplisit mengakomodasi komersialisasi; hubungan antara Linux dan vendor-vendor individual dapat dilihat sebagai suatu simbiosis. Satu model bisnis yang umum dari pemasok komersial yaitu dengan mengenakan biaya atas dukungan khususnya terhadap pengguna-pengguna kalangan bisnis. Sejumlah perusahaan menawarkan versi bisnis dari distribusi Linux mereka, antara lain berupa dukungan atas paket-paket tak bebas dan alat bantu untuk mengatur sejumlah besar

instalasi atau untuk memudahkan tugas-tugas administratif. Model bisnis yang lain adalah dengan memberikan perangkat lunak secara gratis untuk penjualan perangkat keras. Dalam penelitian ini penulis menggunakan Sistem Operasi Linux CentOS.

CentOS (*Community ENTERprise Operating System*) adalah sebuah distribusi linux sebagai bentuk dari usaha untuk menyediakan platform komputasi berkelas enterprise yang memiliki kompatibilitas kode biner sepenuhnya dengan kode sumber yang menjadi induknya, Red Hat Enterprise Linux (RHEL).

Pada bulan Juni 2006, para pengembang utama distro Tao Linux, kloning RHEL, mengumumkan bahwa mereka akan menghentikan proyek tersebut dan menggantinya menjadi CentOS development. Para pengguna Tao linux kemudian bermigrasi menggunakan rilis CentOS menggunakan "*yum update*".

Di bulan Juli 2009, baru diketahui bahwa pendiri CentOS, Lance Davis, telah menghilang sejak 2008. Lance Davis telah menghentikan kontribusinya terhadap proyek tersebut, namun tetap memegang kewenangan atas registrasi domain CentOS dan akun PayPal. Pada bulan Agustus 2009, Tim CentOS melaporkan telah berhasil menghubungi Davis dan mengambil alih kewenangan atas domain *centos.info* dan *centos.org*.

RHEL merupakan distribusi linux berbayar yang menyediakan akses terhadap update atas perangkat lunak dan beragam jenis dukungan teknis. Distribusi linux ini sebenarnya merupakan gabungan dari sejumlah perangkat lunak yang didistribusikan dibawah Lisensi perangkat lunak bebas dan kode sumber atas paket perangkat lunak ini dirilis ke publik oleh Red Hat sebagai bagian dari kesepakatan dalam lisensi yang digunakan.

Para pengembang CentOS menggunakan kode sumber dari Red Hat, dikompilasi dengan tujuan membuat sebuah produk final yang sangat mirip dengan RHEL. Semua hal-hal yang berkaitan dengan merek dagang ataupun logo kemudian diubah disebabkan Red Hat tidak mengizinkan mereka untuk mendistribusikan ulang logo tersebut.

CentOS tersedia secara gratis, dukungan teknis utamanya disediakan terhadap para pengguna melalui milis, forum berbasis web, ataupun chat. Proyek CentOS tidak berafiliasi dengan Red Hat, sehingga proyek CentOS berjalan tanpa mendapatkan bantuan apapun dari Red Hat. Untuk penggalangan dana, CentOS berbasis donasi dari para pengguna serta sponsor dari perusahaan-perusahaan yang menggunakannya.

2.3. BIND (*Berkeley Internet Name Domain*)

BIND (*Berkeley Internet Name Domain*) adalah server *DNS* yang paling umum digunakan di Internet, khususnya pada sistem operasi bertipe Unix yang secara *de facto* merupakan standar. BIND awalnya dibuat oleh empat orang mahasiswa di CSRG Universitas California Berkeley dan pertama kali dirilis di dalam *Berkeley Software Distribution*. Berkeley

Software Distribution (BSD) pertama kali dibangun dan dikembangkan oleh *Computer System Research Group (CSRG)* di *University of California at Berkeley (UCB)*, *BSD* pertama kali keluar pada akhir 1977 sebagai paket tambahan dan *patch* dari AT&T UNIX versi 6, yang mana waktu itu beroperasi pada mesin PDP-11 minicomputer. *BSD* dibuat, dikembangkan, dan digunakan secara “Bebas” sebagai perlawanan terhadap lisensi UNIX yang dimiliki oleh AT&T dan oleh karena itu *BSD* mempunyai lisensi tersendiri yang memungkinkan setiap orang bebas melakukan pengembangan, dan menggunakan kode sumber *BSD*. Pada tahun 1993, versi 4.4*BSD* dirilis sebagai sebuah Sistem Operasi yang utuh. Paul Vixie kemudian meneruskan pengembangannya *BIND* pada tahun 1988 saat bekerja di DEC.

2.4. Tinjauan Penelitian Sebelumnya

a. Sani Muhlisson dan Kusnawi

Dari hasil uji coba didapat kesimpulan bahwa dengan menggunakan *DNS Server* dan menggunakan metode *RPZ (Response Policy Zone)* dapat memblokir situs dengan konten negatif yang ada pada *TRUST+Positif*. Dengan bantuan router mikrotik, *client* yang menggunakan *DNS server* yang mebebaskan dari proses filtering, akan dipaksa untuk menggunakan *DNS server filtering*, dan metode *RPZ (Response Policy Zone)* dapat membebaskan *client* dari proses filtering sehingga beberapa *client* dapat terbebas dari proses filtering.

b. Ahmad Fujianto dan Indra Waspada

Telah dibangun aplikasi sistem pengelolaan *DNS (SIPDNS)* berbasis web dan terintegrasi dengan *Billing System* dan *PowerDNS*. Hasil dari Sistem Informasi Pengelolaan *DNS* dapat dijadikan alat bantu untuk mengurangi permasalahan yang sering terjadi pada layanan *DNS*, khususnya bagi pelanggan CV. Surya Putra Perkasa dalam mengelola data *DNS records* mereka. Untuk menghubungkan *SIPDNS* dengan *centralized DNS service* dipilih *PowerDNS* sebagai *DNS server* karena telah mendukung banyak *backend zone* seperti *MySQL/MariaDB* dan *BIND*. Sedangkan untuk menghubungkan *SIPDNS* dengan *Billing System* telah ditambahkan kode program untuk mengakses data pengguna yang ada di basis data *Billing System* karena kode dari *Billing System* dalam keadaan terenkripsi.

Dari kedua penelitian diatas, dapat dilihat bahwa untuk penulis melakukan penelitian yang memiliki perbedaan, karena penulis melakukan penelitian mengenai penggunaan *DNS* dari sisi *Internet* dan *Intranet*.

3 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang penulis lakukan adalah penelitian eksperimen. Penelitian eksperimental merupakan bentuk penelitian percobaan yang berusaha untuk mengisolasi dan melakukan kontrol setiap kondisi-kondisi yang relevan dengan situasi yang diteliti kemudian melakukan pengamatan

terhadap efek atau pengaruh ketika kondisi-kondisi tersebut dimanipulasi. Langkah langkah yang penulis lakukan adalah :

- Pengumpulan Data

Disini penulis melakukan pengumpulan data server dan data domain

- Analisa dari Informasi yang terkumpul

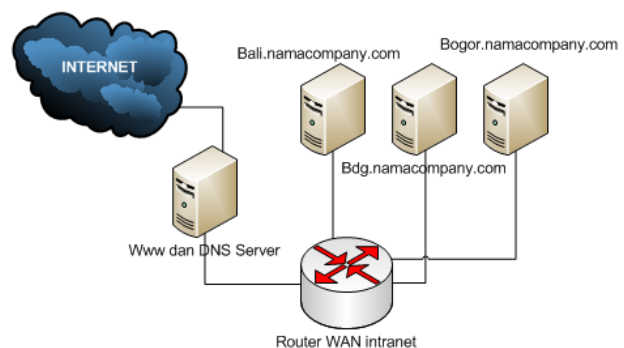
Disini penulis melakukan pengelompokan *IP Address* pengguna *DNS*, penamaan *Domain* untuk dapat diakses dari *Internet*, dan penamaan *Domain* untuk di akses dari *Intranet*

- Simulasi dan pengujian

Penulis melakukan Simulasi dan pengujian dari konfigurasi dari *Server DNS* yang sudah di konfigurasi.

4 Hasil dan Pembahasan

Penulis melakukan pendataan pengumpul ip address dengan skema jaringan seperti di gambar 4,



Gambar 4. Skema Jaringan DNS

Berikut Network ID yang akan melakukan akses secara intranet yaitu :

- Cabang HO Daan Mogot Jakarta Barat dengan network ID : 192.168.1.0/24
- Cabang Bandengan Jakarta Barat dengan network ID : 192.168.10.0/24
- Cabang Bogor dengan network ID : 192.168.11.0/24
- Cabang Bali dengan network ID : 192.168.12.0/24

Kemudian setelah melakukan pengelompokan IP Address yang melakukan akses intranet, penulis melakukan pendataan domain yaitu :

- namacompany.com

Dimana untuk kedua domain tersebut untuk nameserver penulis arahkan ke IP Address 114.199.108.85.

Dan berikut adalah konfigurasi *BIND* di file *named.conf* :

options {

directory "/var/named";

dump-file "/var/named/data/cache_dump.db";

statistics-file "/var/named/data/named_stats.txt";


```

};
acl internal {
    127.0.0.0/8;
    192.168.1.0/24;
    192.168.10.0/24;
    192.168.11.0/24;
    192.168.12.0/24;
};
view "internal-view" {
    match-clients {internal;};
    recursion yes;
    zone "namacompany.com" {
        type master;
        file "lan.namacompany.com";
    };
};

view "external-view" {
    match-clients {any;};
    allow-query {any;};
    match-destinations {any;};
    recursion no;

    zone "namacompany.com" {
        type master;
        file "internet.namacompany.com";
        notify yes;
        allow-update { none;};
    };
};

Untuk Isi dari lan.namacompany.com
; namacompany.com
$TTL 86400
@      IN      SOA      ns1.namacompany.com.
postmaster.namacompany.com. (
    2015122101 ; Serial
    3H ; Refresh
    15M ; Retry
    1W ; Expire
    1D); Negative Cache TTL
@      IN      NS ns1.namacompany.com.
@      IN      NS ns2.namacompany.com.
@      IN      MX 10 mail.namacompany.com.
@      IN      A  192.168.1.250
ns1     IN      A  192.168.1.250
www     IN      A  192.168.1.250

```

```

bali    IN      A  192.168.1.10
bdg     IN      A  192.168.10.10
bogor   IN      A  192.168.1.12

```

Untuk Isi dari internet.namacompany.com

```

; namacompany.com
$TTL 86400
@      IN      SOA      ns.namacompany.com.
mailadmin.namacompany.com. (
    2016082910;
    7200;
    540;
    604800;
    3600 )
@      IN      NS ns.namacompany.com.
@      IN      NS ns2.namacompany.com.
@      IN      NS ns3.namacompany.com.
@      IN      MX 10 mail.namacompany.com.
@      IN      MX 20 mail2.namacompany.com.
@      IN      A  114.119.108.85
www     IN      A  114.119.108.85

```

Dan setelah konfigurasi dilakukan di dilakukan simulasi didapat hasil sebagai :

- Bila dilakukan dari internal perusahaan :

Saat melakukan test ping ke bali.namacompany.com:

Pinging bali.namacompany.com [192.168.1.10] with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.1.10: bytes=32 time=19ms TTL=126

Reply from 192.168.1.10: bytes=32 time=36ms TTL=126

Reply from 192.168.1.10: bytes=32 time=21msTTL=126

Reply fro 192.168.1.10: bytes=32 time=17ms TTL=12

Ping statistics for 192.168.1.10:

Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),

Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 17ms, Maximum = 36ms, Average = 23ms

- Dan bila dari internet melakukan akses ke bali.namacompany.com dilakukan, maka dihasilkan domain tidak ditemukan.

- Dan bila melakukan akses dari internet untuk ke www.namacompany.com maka dihasilkan :

nslookup www.namacompany.com
 Server: OpenWrt.lan
 Address: 192.168.0.1

Non-authoritative answer:
 Name: www.namacompany.com
 Address: 114.199.108.85

5 Simpulan

Dari hasil uji coba didapat kesimpulan bahwa dengan menggunakan *DNS Server* di Linux Centos dengan aplikasi *BIND*, dan konfigurasi *Internet* dan *Intranet*, dapat melakukan *resolve domain* baik dari *internet* dan *intranet*.

Saran yang dapat disampaikan pada penelitian ini, dapat dikembangkan sehingga *DNS server* tidak hanya satu buah, tetapi terdapat beberapa *DNS server* yang saling menukung

satu dengan yang lain, sehingga apabila *DNS Server* yang satu tidak berfungsi, akan digantikan oleh *DNS server* yang lain.

Kepustakaan

- [1] Sani Muhlisson, Kusnawi., *Analisa Dan Implementasi Dns Server Sebagai Filtering Konten Negatif Menggunakan Metode Rpz (Response Policy Zone) Di PT. Time Excelindo*, Jurnal Ilmiah DASI 2015.
- [2] Ahmad Fujianto, Indra Waspada., *Rancang Bangun Sistem Informasi Pengelolaan Dns Secara Terpusat (Studi Kasus CV. Surya Putra Perkasa)*, INFOKAM Nomor I Th. XII/MARET/ 2017.
- [3] IP Address., online, https://en.wikipedia.org/wiki/IP_address, 30/09/2017.
- [4] Domain Name System., online, https://en.wikipedia.org/wiki/Domain_Name_System, 30/09/2016
- [5] BIND., <https://en.wikipedia.org/wiki/BIND>, 30/09/2017.
- [6] Centos., <https://en.wikipedia.org/wiki/CentOS>, 30/09/2017.
- [7] Open Source., https://en.wikipedia.org/wiki/Open-source_software, 30/09/2017.
- [8] Linux., <https://en.wikipedia.org/wiki/Linux>, 30/09/2017.

PERANCANGAN ENTERPRISE ARCHITECTURE MENGGUNAKAN TOGAF ARCHITECTURE DEVELOPMENT METHOD (STUDI KASUS: YAKUZA GYM JAKARTA BARAT)

Suryadi ^{1*}, Johanes Fernandes Andry ²

Program Studi Sistem Informasi
Universitas Bunda Mulia
Jl. Lodan Raya Ancol No. 2, Jakarta 14430 Indonesia
Email: ¹⁾ suryadi404@gmail.com, ²⁾ jandry@bundamulia.ac.id

Abstrak – *Yakuza Gym merupakan sebuah fitness center yang bergerak dalam bidang kebugaran dan kesehatan. Untuk meningkatkan kualitas manajemen dan pelayanan, maka perlu adanya sebuah sistem informasi yang membantu dalam proses manajemen dan kinerja dari fitness center tersebut. Salah satu faktor pendorong kebutuhan sistem informasi adalah semakin meningkatnya kebutuhan fungsi pelayanan yang dijalankan. Enterprise Architecture Planning (EAP) digunakan untuk menentukan arsitektur untuk penggunaan informasi dalam mendukung bisnis dan rencana implementasi arsitektur di sebuah perusahaan/organisasi. Penelitian ini menggunakan metodologi TOGAF ADM dimulai dari preliminary phase, requirement management, architecture vision, business architecture, information system architecture, technology architecture, opportunities and solution, hingga migration planning. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu suatu usulan model TOGAF yang disesuaikan dengan proses dan kebutuhan bisnis dari fitness center dalam merancang Enterprise Architecture untuk perencanaan strategis SI/TI.*

Kata kunci: *Yakuza Gym, Enterprise Architecture Planning, TOGAF ADM*

1 Pendahuluan

Yakuza Gym merupakan usaha yang bergerak pada bidang olahraga yang didalamnya melayani setiap orang yang datang untuk melakukan olahraga *fitness* dengan menyediakan peralatan *fitness* secara manual dan modern. Yakuza Gym juga melayani jasa konsultasi dalam melakukan pembentukan tubuh yang diinginkan oleh member, selain itu Yakuza Gym juga melayani penjualan dan pembelian suplemen pendukung olahraga.

Saat ini ada kecenderungan meningkat (tren yang berkembang) pada pelaksanaan pelatihan dan juga ada peningkatan kebutuhan akan (pertumbuhan permintaan) pusat pelatihan pelanggan perusahaan. Teknologi informasi (TI) memiliki dampak lebih dan lebih pada pendapatan perusahaan, membuat perbedaan pada fungsi evolusi mereka. Sistem Informasi (SI) menjadi investasi serius di depan kelincihan pasar dunia dan perubahan eksponensial; Ini juga

merupakan aset di mana perusahaan mengandalkan untuk mencapai tujuan bisnis [1], [2].

Organisasi di seluruh dunia harus selalu melakukan inovasi strategi agar tidak terlindas oleh pesaing. Selain itu, melakukan inovasi strategi bisa memperoleh keunggulan kompetitif dibandingkan para pesaing [3], [4].

Saat ini belum dirancang *Enterprise Architecture* (EA) yang sesuai dengan acuan yang baku dan menghasilkan *blueprint* yang selaras dengan kebutuhan bisnis perusahaan. Acuan yang baku untuk perencanaan EA adalah *Enterprise Architecture Framework* (EAF) yang berkembang dan sesuai dengan kebutuhan perusahaan [5].

The Open Group Architecture Framework (TOGAF) adalah suatu framework untuk arsitektur perusahaan yang memberikan pendekatan yang komprehensif untuk perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan arsitektur informasi perusahaan [6].

Dalam studi kasus yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana menggunakan TOGAF ADM dalam

merancang *Enterprise Architecture* (EA) sehingga (didapatkan rancangan EA yang memenuhi kebutuhan proses bisnis yang selaras dengan strategi SI/TI Yakuza Gym).

2 Dasar Teori

2.1. Enterprise Architecture

Enterprise Architecture adalah arsitektur untuk merancang sistem perusahaan. Arsitektur ini melibatkan pemodelan proses bisnis dan karakteristik informasi [7], [8]. *Enterprise architecture frameworks* seperti kerangka kerja Zachman terdiri dari beberapa pandangan termasuk juga model proses dan organisasi. ARIS (*Architecture of Integrated Information Systems*), misalnya, terdiri dari lima pandangan yang secara simbolis disajikan dalam bentuk rumah, yang disebut rumah ARIS, dengan tampilan organisasi sebagai atap, tampilan data, tampilan kontrol, dan tampilan fungsi sebagai tiga pilar, dan tampilan *output* sebagai dasar rumah [9], [10].

Enterprise Architecture (EA) adalah penjelasan tentang bagaimana sebuah organisasi merancang sebuah sistem untuk mendukung kebutuhan bisnis dan teknologi dalam mewujudkan misi dan visi serta pencapaian hasil yang telah ditargetkan. EA mendahului munculnya dua hal:

- 3 Sistem kompleks ini, dimana organisasi harus mengeluarkan biaya yang cukup besar untuk merancang atau mengembangkan sistem yang dimiliki.
- 4 Penyelarasan bisnis dengan teknologi, dimana jumlah organisasi yang mengalami kesulitan menyelaraskan kebutuhan bisnis dengan teknologi. EA memiliki tiga komponen utama, yaitu arsitektur bisnis, arsitektur sistem informasi (terbagi menjadi data dan arsitektur aplikasi) dan arsitektur teknologi [11], [12].

Gambar mengenai *Enterprise Architecture* dapat dilihat pada gambar 1.

Penelitian ini dilanjutkan dengan meninjau konsep dan studi yang terkait dengan teori integrasi dan penyelarasan. Sebuah studi kasus dari *Australian Bureau of Statistics* (ABS), di mana strategi bisnis dan IS / IT berhasil diselaraskan, digunakan untuk menunjukkan bagaimana arsitektur enterprise dapat berkontribusi secara positif terhadap penyelarasan organisasi. Studi ini memiliki pengaruh penting yang penting, dan berkontribusi pada peningkatan pemahaman tentang mekanisme formal dan aspek kesejajaran sosial.



Gambar 1 Enterprise Architecture

2.2. TOGAF ADM

Technical open group architecture framework (TOGAF), yang merupakan kerangka kerja untuk pengembangan arsitektur perusahaan, diusulkan oleh *The Open Group* (2009) dan berdasarkan prakarsa DOD AS [13].

Berikut ini adalah penjelasan dari masing-masing fase pada TOGAF ADM menurut *The Open Group* (2009).

1. *Preliminary Phase*
Tahapan persiapan (*preliminary phase*) merupakan tahap awal persiapan perancangan *enterprise architecture*.
2. *Requirements Management*
Requirements management adalah proses pengelolaan kebutuhan arsitektur di seluruh fase TOGAF ADM.
3. *Phase A: Architecture Vision*
Phase architecture vision atau fase visi arsitektur adalah mendefinisikan *scope*, *vision* dan memetakan strategi keseluruhan.
4. *Phase B: Business Architecture*
Phase business architecture atau fase arsitektur bisnis berisi strategi bisnis, organisasi, dan informasi aktivitas utama
5. *Phase C: Information Systems Architecture*
Information System Architecture. Mengembangkan arsitektur sasaran untuk data dan aplikasi.
6. *Phase D: Technology Architecture*
Technology Architecture. Menciptakan sasaran keseluruhan arsitektur yang akan diterapkan pada tahapan kedepan.
7. *Phase E: Opportunities and Solutions*
Opportunities and Solutions. Mengembangkan strategi keseluruhan, menentukan apa yang akan dibeli, membangun atau penggunaan ulang, dan bagaimana menerapkan arsitektur yang dideskripsikan di *phase D*.
8. *Phase F: Migration Planning*
Fokus utama dari *phase migration planning* atau fase rencana migrasi adalah penciptaan rencana implementasi

dan migrasi yang layak, bekerja sama dengan portofolio dan manajer proyek.

9. *Phase G: Implementation Governance*

Pada *Phase implementation governance* atau fase tata kelola implementasi, proyek dilaksanakan sebagai program rencana kerja dan diolah agar dapat mencapai arsitektur yang diinginkan.

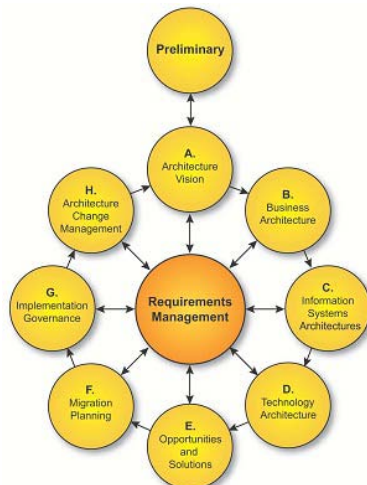
10. *Phase H: Architecture Change Management*

Pada *phase architecture change management* atau fase manajemen perubahan arsitektur akan diuraikan penggerak perubahan dan bagaimana mengatur perubahan tersebut, mulai dari pemeliharaan sederhana sampai perancangan kembali arsitektur.

TOGAF memungkinkan arsitek dan pemangku kepentingan perusahaan merancang, mengevaluasi, dan membangun arsitektur perusahaan yang fleksibel bagi organisasi. Versi awal TOGAF didasarkan pada *Technical Architecture Framework for Information Management (TAFIM)*, yang dikembangkan oleh *Department of Defense U.S. (DoD)* [14].

TOGAF berbasis pada *Architectural Development Method (ADM)*, sebanyak 9 fase yang ditunjukkan pada Gambar 2, dimana fase-fase ini adalah: *Preliminary analysis, architecture vision, business architecture, information systems architectures, technology architecture, opportunities and solutions, migration plan, implementation of governance and architecture change management*. Semua komponen TOGAF ini menghasilkan kiriman dalam bentuk diagram, diagram alir, struktur, definisi dan artefak lainnya. [15], [16].

Untuk lebih jelas mengenai TOGAF dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 TOGAF ADM

2.3 Diagram Use Case

Menggambarkan fungsionalitas yang diharapkan dari sebuah sistem. Yang ditekankan adalah “apa” yang diperbuat sistem, dan bukan “bagaimana”. Sebuah *usecase* merepresentasikan sebuah interaksi antara aktor (pelaku) dengan sistem (*usecase*). Usecase merupakan sebuah pekerjaan tertentu,

misalnya login ke sistem, menciptakan sebuah daftar belanja, dan sebagainya.

Aktor adalah sebuah entitas manusia atau mesin yang berinteraksi dengan sistem untuk melakukan pekerjaan-pekerjaan tertentu [17], [18]. Untuk lebih jelas mengenai gambar simbol dan keterangan dari *usecase* dapat dilihat pada gambar 4. *Usecase* Yakuza Gym.

3. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan oleh penulis adalah dengan menggunakan pendekatan secara deskriptif pada studi kasus yang penulis temukan di Yakuza Gym Jembatan Lima. Untuk memahami lebih dalam dan terpusat pada proses bisnis yang sudah ada, maka metode yang digunakan adalah metode penelitian kualitatif. Penulis menggunakan metode kualitatif agar dapat mengidentifikasi secara penuh dan juga menyeluruh dengan proses tanya jawab (wawancara) pada beberapa responden. Lokasi yang digunakan dalam studi kasus adalah Yakuza Gym Jembatan Lima Jakarta

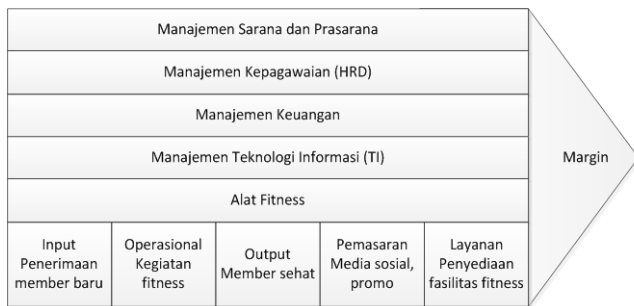
Jenis data yang penulis peroleh terdiri dari 2 jenis yaitu data primer dan data sekunder. Data primer merupakan jenis data yang diperoleh secara langsung dari sumber asli (tidak melalui media perantara) berupa pendapat atau opini subyek (orang) secara individual atau kelompok, yang dikumpulkan untuk menjawab perumusan masalah dalam penelitian. Data primer yang penulis temukan berupa data yang diperoleh secara langsung yang berupa pendapat atau opini dari responden secara individual berdasarkan hasil dari proses wawancara.

Data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan oleh orang yang melakukan penelitian dari sumber-sumber yang telah ada secara langsung atau tanpa perantara. Data ini digunakan untuk mendukung informasi primer yang telah diperoleh yaitu dari bahan pustaka, literatur, penelitian terdahulu, buku, dan lain sebagainya.

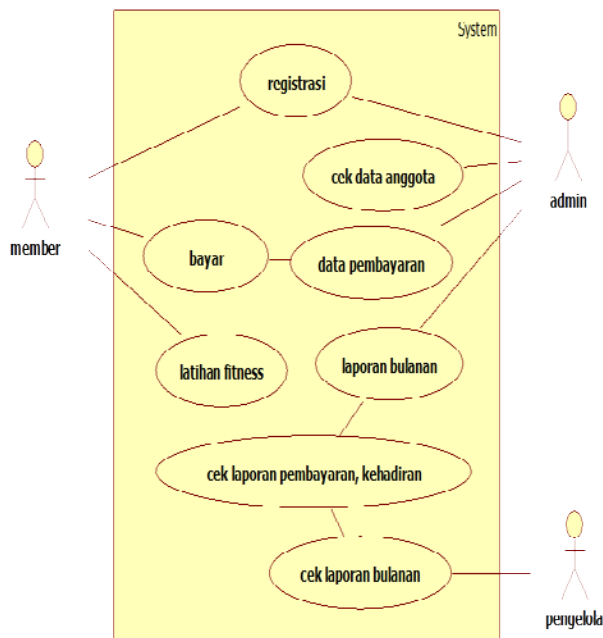
4 Hasil dan Pembahasan

Proses bisnis Yakuza Gym yang terdapat pada gambar 3 yang digambarkan menggunakan rantai nilai (*value chain*) merupakan proses bisnis yang ada untuk merumuskan daftar dari proses – proses bisnis yang ada pada fungsi bisnis utama dan pendukung Yakuza Gym. Untuk mendefinisikan fungsi dan layanan yang ada pada masing – masing fungsi bisnis yang akan dimodelkan dalam bentuk proses bisnis. Untuk pemodelan proses bisnis tersebut dapat menggunakan kerangka kerja yang sudah disediakan TOGAF ADM atau

dengan UML Diagram pada gambar 4. Pemodelan proses bisnis bertujuan untuk memberikan gambaran jelas terhadap keadaan proses bisnis Yakuza Gym yang sedang berjalan saat ini.



Gambar 3 Value Chain Yakuza Gym



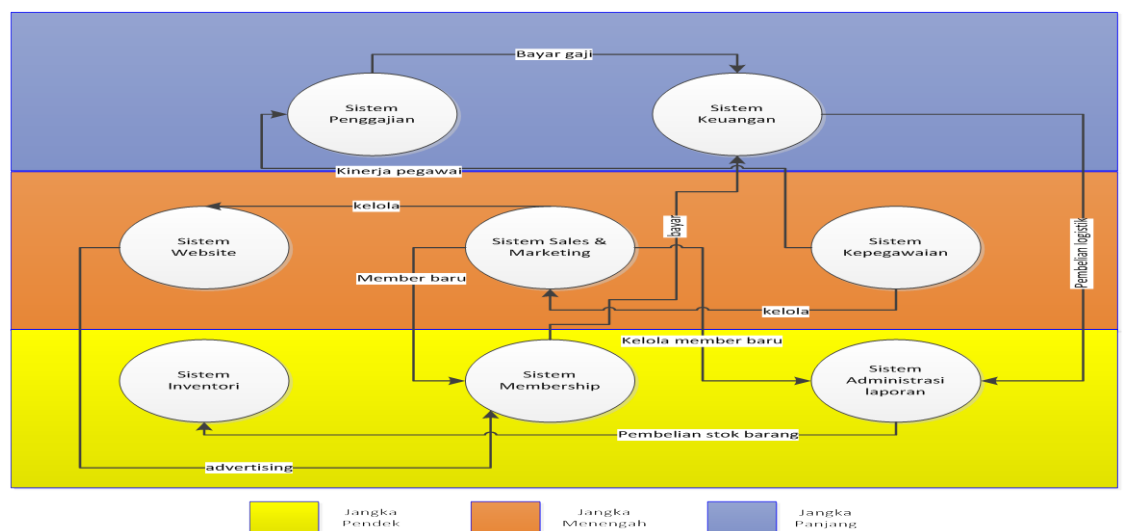
Gambar 4 Use Case Yakuza Gym

Data, dan *Roadmap*. Kembali pada fungsinya, interaksi model berikut menjelaskan mengenai integrasi aplikasi sistem informasi yang terdapat pada Yakuza Gym. Masing-masing sistem informasi yang dihubungkan dengan data yang dinyatakan pada gambar 3.

Pada tahapan sistem atau fungsi matriks yang terdapat pada gambar 5 bertujuan untuk mengidentifikasi keseluruhan fungsi bisnis yang secara langsung dilakukan oleh aplikasi yang dibuat. Secara umum, pemetaan hubungan aplikasi dengan fungsi bisnis adalah dengan cara pertama, penetapan penggunaan aplikasi yang digunakan untuk fungsi bisnis. Pemetaan tersebut dilakukan dengan menentukan kebutuhan-kebutuhan dari fungsi bisnis yang seharusnya dapat dipenuhi dengan meninjau lebih dalam mengenai peranan aplikasi yang ada untuk mendukung fungsi bisnis tersebut. Kedua, menentukan kebijakan penggunaan bagaimana proses layanan yang ada dalam aplikasi yang mendukung proses bisnis. Ketiga menentukan peran aplikasi yang mendukung fungsi bisnis dan mengidentifikasi kebutuhan perubahan aplikasi kedepannya. Pada gambar 6 terdapat sistem aplikasi dan kelas data, dimana pada kolom aplikasi terdapat 8 aplikasi yang akan di implementasi yaitu sistem *membership*, sistem inventori, sistem administrasi laporan, sistem *website*, sistem *sales & marketing*, sistem kepegawaian, sistem penggajian, dan sistem keuangan. Pada kolom fungsi dan pendukung terdapat 6 fungsi yaitu, fungsi *membership*, manajemen *asset & sarana prasarana*, manajemen penjualan & pemasaran, manajemen SDM, dan manajemen keuangan.

Bisnis arsitektur yang dibuat dapat dilihat pada gambar 3, dimana pada gambar tersebut dijelaskan mengenai proses bisnis yang dijalankan pada Yakuza Gym. Proses tersebut meliputi proses registrasi *member*, pembayaran, latihan *fitness*, pengecekan data anggota, data pembayaran, dan laporan bulanan.

Pada modul *usecase* ini merupakan gambaran secara global dengan menggunakan TOGAF ADM yang meliputi aspek : Arsitektur Aplikasi, Arsitektur Bisnis, Arsitektur Teknologi, Arsitektur



Gambar 5 Interaksi Model Perencanaan Enterprise

Aplikasi / Kelas Data	Fungsi Pendukung																																						
	Membership		Manajemen aset & sarana prasarana				manajemen penjualan & pemasaran		manajemen SDM						manajemen keuangan																								
	pengelolaan / pendaftaran membership	pengelolaan informasi member	pelaksanaan membership	pengelolaan membership	pengelolaan vendor	pengelolaan pemesanan barang/jasa	pengelolaan penerimaan aset	pengelolaan total inventaris	pengelolaan penilaian kemitras	pengelolaan laporan dan evaluasi sarana & pr	pengelolaan website	pelaksanaan penjualan	pengelolaan data penjualan	pengelolaan promosi	pelaksanaan periklanan	pengelolaan cuti	pengelolaan informasi personil	pengelolaan & pengumpulan laporan waktu	pengelolaan dan pelaksanaan rekrutimen	pengelolaan dan pelaksanaan resign	pembinaan dan pengembangan personil	pengelolaan laporan dan evaluasi SDM	perhitungan gaji	pengelolaan tunjangan dan bonus	pengelolaan potongan gaji	perencanaan dan persiapan anggaran	penyusunan anggaran	pengesahan anggaran	pelaksanaan revisi anggaran	menetapkan alokasi anggaran	pelaksanaan monitoring dan evaluasi anggaran	menetapkan akuntansi keuangan	pengelolaan pelaporan keuangan	pengelolaan penerimaan keuangan	pengelolaan akuntansi hutang dan pembayaran	pengelolaan biaya pemeliharaan	pengelolaan pembayaran gaji staff		
Sistem Membership	x	x	x	x																																			
Sistem Inventori						x	x	x	x	x		x																											
Sistem Administrasi laporan		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x							x	x	x	x	x	x	x														
Sistem Website		x									x			x	x																								
Sistem Sales & Marketing	x	x						x	x		x	x	x	x																									
Sistem Kepegawaian																x	x	x	x	x	x	x		x															
Sistem Penggajian																								x	x	x												x	
Sistem Keuangan								x				x														x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

Gambar 6 Matriks Relasi Yakuza Gym

Tabel 1 GAP Analysis Arsitektur Bisnis

Arsitektur Bisnis Saat Ini	Analisa	Target Arsitektur Bisnis dan Kebijakan Masa Depan
Kegiatan IT saat ini terbatas pada pemasangan CCTV dan ISP (Internet Service Provider) karena kegiatan tersebut terwujud dari kepentingan unit – unit yang mengusulkan inisiatif.	a. Melakukan upgrade kebijakan perencanaan IT yang baik. b. Melakukan update IT yang selama ini tidak berjalan sesuai dengan keperluan yang dibutuhkan oleh perusahaan.	Pelaksanaan kegiatan IT bersifat integral di seluruh sektor perusahaan IT dengan strategi yang tepat dan jelas dan kegiatan tersebut harus berdasarkan visi misi dari pihak pengelola (Top Down).
Kegiatan TI yang berada pada perusahaan tidak memiliki pimpinan IT untuk menjalankan kegiatan tersebut sehingga pada saat terjadi kerusakan akan mengalami kesulitan dalam memperbaikinya.	a. Upgrade kebijakan IT yang jelas. b. Komunikasi IT diarahkan oleh pimpinan unit IT.	Membentuk sektor IT yang merupakan bagian perwakilan pihak atasan yang bertugas memberikan arahan dan pengawasan dalam pengelolaan kebijakan IT perusahaan sehingga komunikasi lebih terarah.
Belum adanya prosedur kerja atau kebijakan terhadap kegiatan IT saat ini.	Merangkai kebijakan dan prosedur dalam pengelolaan IT.	Melakukan perubahan dan sinkronisasi terhadap sistem yang sudah ada.
Dalam menjalankan pelayanannya, perusahaan belum menggunakan IT sebagai kebutuhan utama.	Memperbaharui fasilitas IT dan menerapkan fasilitas IT pada proses pelayanan/bisnis.	Seluruh proses bisnis perusahaan dapat seutuhnya didukung oleh IT sebagai kebutuhan utama.
SDM pegawai yang kurang memahami IT	Pelatihan/bimbingan teknik IT bagi seluruh pegawai.	SDM sudah memiliki sertifikasi dalam implementasi knowledge management (KM) di seluruh bagian perusahaan

GAP Analisis dan Arsitektur Bisnis

Agar hasil pemodelan Arsitektur bisnis yang telah dibuat dapat memenuhi target yang ingin dicapai sebelum proses implementasi penerapan TI baik secara menyeluruh ataupun secara terpisah, maka langkah awal yang dilakukan adalah melakukan analisis kesenjangan (*GAP analysis*) terhadap proses bisnis dan kebijakan dalam pengelolaan TI di Yakuza Gym yang berjalan saat ini kemudian membuat analisis solusi dan kebijakan yang menjadi target utama TI dimasa depan.

Pada kolom arsitektur bisnis saat ini, di jelaskan mengenai kondisi arsitektur yang saat ini sedang berjalan di Yakuza Gym. Pada kolom analisa, di jelaskan mengenai kebutuhan proses bisnis masa depan yang dibutuhkan. Pada kolom target arsitektur bisnis dan kebijakan masa depan adalah bagaimana target dan implementasi yang dibutuhkan oleh Yakuza Gym sehingga meningkatkan kinerja, efektifitas, efisiensi proses bisnis pada Yakuza Gym.

5 Simpulan dan Saran

5.1 Simpulan

Kesimpulan dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Proses bisnis Yakuza Gym dapat di ketahui aktifitas pengelolaan datanya masih dilakukan secara manual dan sederhana
- Adanya *gap analysis* (analisis kesenjangan) antara kondisi arsitektur saat ini dengan target arsitektur yang akan di kembangkan di masa depan.
- Pada saat implementasi arsitektur *enterprise* perlu dilakukan evaluasi ulang untuk menyesuaikan dengan perubahan sistem lama ke sistem baru.
- Enterprise Architecture* pada Yakuza Gym dapat dianalisa berdasarkan analisis TOGAF.

- e. Dampak dari penerapan *enterprise architecture* terhadap proses bisnis Yakuza Gym adalah terciptanya efektifitas dan efisiensi dalam proses bisnis Yakuza Gym.

[18] Dennis, Alan, Wixom., & B.H, Roberta M. Roth., *System Analysis And Design, Fifth Edition.*, ISBN 978-1-118-05762-9, John Wiley & Sons, Inc, 2012.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

- Sistem yang akan dibangun, dibuat secara bertahap sesuai dengan kebutuhan utaman Yakuza Gym.
- Dalam melakukan implementasi perancangan sistem informasi maka dibutuhkan dukungan dari seluruh tingkatan dari Yakuza Gym agar keberhasilan implementasi dapat mencapai target yang diinginkan.
- Aplikasi yang dibutuhkan dapat dilakukan dengan menggunakan *software open source* agar menghemat biaya yang dibutuhkan Yakuza Gym.

KEPUSTAKAAN

- [1] Andry, J.F., *Performance Measurement IT of Process Capability Model Based On Cobit: A Study Case*. Jurnal Ilmiah DASI Vol.17 No.3, hlm 21-26, September 2016.
- [2] Meriyem, C., Adil, S., Hicham, M., *It Governance Ontology Building Process: Example Of Developing Audit Ontology*, International Journal Of Computer Techniques, Vol. 2, Issue 1, Pp. 134-141, 2015.
- [3] Friedman, & George., *The Next 100 Years: A Forecast For The 21st Century*. Black Inc (P. 69). Black Inc, 2010.
- [4] Yudhistyra, W.I., & Nugroho, E., *Lima Metode Perencanaan Strategis Sistem Informasi Dan Teknologi Informasi Untuk Pengembangan E-Government*, 2014.
- [5] Supriyana .I., *Model Arsitektur Bisnis, Sistem Informasi Dan Teknologi Di Bakosurtanal Berbasis Togaf*, 2010.
- [6] Wartika dan Supriana, I., *Analisis Perbandingan Komponen Dan Karakteristik Enterprise Arsitektur Framework*. Bali: Konferensi Nasional Sistem Dan Informatika (Kns&I) 11-064, 2014.
- [7] Schekkerman, J., *Enterprise Architecture Validation : Achieving Business- Aligned And Validated Enterprise Architectures*. Institute For Enterprise Architecture Developments, 2004.
- [8] Delima, R., *Business Architecture Development For Integrated Agriculture Information System (lais) Using Togaf Framework*, 2017.
- [9] Scheer, A.-W., *Aris – Business Process Modeling*, Springer, Berlin, 2000.
- [10] Ger, C.N., Verena Geist,V., *A Layered Approach For Actor Modelling In Business Processes*, 2013.
- [11] Kustiyaningsih, Y., "Enterprise Architecture Planning Method Using TOGAF ADM (Case Study: Hospital Dr. Soegiri Lamongan), Proceedings Of The National Seminar On Management Of Technology Xviii, Its Surabaya, 2013.
- [12] Aswati, S., Fahmi, M.I., & Anwar, K., *Enterprise Application Architecture Framework Parking Information System Using TOGAF ADM (Case Study: Brayan Shopping Centre)*, 2016.
- [13] *The Open Group, The Open Group Architecture Framework (Togaf), Version 9, Evaluation Copy, Document Number: G091, The Open Group, San Francisco, Ca, 2009.*
- [14] Dube, M.R., & Dixit, S.K., *Comprehensive Measurement Framework For Enterprise Architectures*, 2011.
- [15] Theopengroup., *Togaf V9.1 -M1 Management Overview. In ADM Basic Principles, 1-34. United States Of America: The Open Group, 2011.*
- [16] Menchaca, A.G.V., Lebrun, C.V., Benitez, E.O., Upaep, J.C.G., Garza, O.A., Martinez, O.M.P., & Alvarado, S.R.C., *Practical Application Of Enterprise Architecture, Study Case Of Sme Metalmechanic In Mexico*, 2013.
- [17] Andry, J.F., *Aplikasi Penjualan Dan Pembelian, Inventory Studi Kasus PT XYZ*, 2016.

PENGEMBANGAN *MOBILE LEARNING* APLIKASI *CASTLE MATH* BERBASIS SISTEM OPERASI *ANDROID* PADA MATERI BANGUN RUANG SISI DATAR TINGKAT SMP/MTs

Barqilatief Mujasir^{1*}, Ishaq Nuriadin², & Benny Hendriana³

FKIP UHAMKA Jl. Tanah Merdeka, Kp. Rambutan, Ciracas, Jakarta Timur

Telp (021) 8400341, 8403683 Fax (021) 8411531,

Website www.fkip.uhamka.ac.id, E-mail: fkip@uhamka.ac.id, keguruan_uhamka@yahoo.co.id

Abstrak – Penelitian pengembangan ini dilakukan untuk menghasilkan produk berupa aplikasi. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana cara mengembangkan aplikasi mobile berbasis sistem operasi android pada materi bangun ruang sisi datar tingkat SMP/MTs dan mengetahui kelayakan dari media pembelajaran tersebut. Aplikasi dapat dioperasikan pada perangkat yang menggunakan sistem operasi android. Aplikasi berupa mobile learning bangun ruang sisi datar untuk tingkat SMP/MTs. Aplikasi dibuat peneliti dengan menggunakan software android studio. Aplikasi selanjutnya diujicoba kelayakannya. Metode penelitian ini menggunakan metode *research and development (R&D)*. Berdasarkan hasil penilaian dari ahli materi dan ahli media. Rata-rata akhir penilaian dari ahli materi adalah 93,34% untuk kategori sangat baik dan pernyataan validasi yang diberikan ahli materi bahwa aplikasi layak digunakan. Rata-rata akhir penilaian dari ahli media adalah 70,59% untuk kategori baik dan pernyataan validasi yang diberikan ahli materi bahwa aplikasi layak digunakan dengan perbaikan. Adapun hasil penilaian dari pengguna telepon seluler berbasis sistem operasi android sebesar 86,60% dengan kategori sangat baik. Berdasarkan hasil bahwa aplikasi layak digunakan dengan perbaikan.

Kata kunci: *mobile learning, android, android studio*

1 Pendahuluan

Salah satu pendukung dalam pembelajaran adalah media. Pada proses pembelajaran seorang guru diharuskan memiliki keterampilan khusus dalam membuat media pembelajaran. Media pembelajaran memiliki berbagai macam jenis seperti media visual, audio dan audio visual. Terdapat bentuk lain dari media pembelajaran berupa video, fotografi, internet, komputer dan sebagainya. Media pembelajaran yang umum digunakan guru di sekolah berbentuk *powerpoint* karena beberapa sekolah sudah memiliki fasilitas di tiap-tiap kelas berupa multimedia proyektor.

Pada proses penggunaan fasilitas multimedia proyektor, guru harus membuat *file* atau data yang ingin dipresentasikan. Data tersebut biasa dibuat menggunakan aplikasi dan perangkat tertentu. Setelah data selesai dibuat dan siap dipresentasikan, kemudian perangkat dihubungkan dengan kabel yang terhubung dengan multimedia proyektor dan ditampilkan sehingga siswa dapat melihat tampilan presentasi bersama-sama di kelas.

Kelebihan menggunakan perangkat multimedia proyektor adalah proyeksi yang dihasilkan multimedia proyektor dapat menghasilkan gambar, animasi, teks, video dan sebagainya.[1] Selain itu, proyektor dapat menghasilkan variasi warna yang sangat baik, memiliki intensitas cahaya tinggi dan tembok dapat dijadikan bidang proyeksi. Proyeksi yang ditampilkan berbentuk visual sehingga presentasi menjadi menarik dan juga multimedia proyektor memiliki port atau tempat untuk dihubungkan dengan berbagai perangkat seperti DVD *player*, komputer atau laptop, kamera dan perangkat lainnya.

Adapun kelemahan dari multimedia proyektor adalah penggantian *light bulb* yang cukup mahal, mudah panas, perubahan warna setelah 1000 jam pemakaian, membutuhkan media lain dalam pengoperasian.[2] Adapun kelemahan multimedia proyektor secara teknis seperti ruangan yang terang dan ketersediaan perangkat pendukung. Kelemahan penggunaan multimedia proyektor dapat menyebabkan siswa tidak fokus pada pembelajaran yang berlangsung, kemudian

mereka melakukan kegiatan lain seperti bercanda dengan temannya atau bermain dengan telepon selulernya.

Penggunaan telepon seluler dalam kehidupan saat ini sudah menjadi bagian dari kehidupan dan adapun sebagian orang yang menjadikan telepon seluler itu sebagai kebutuhan primer. Banyak pengguna telepon seluler dikarenakan fasilitas dan fitur-fitur yang ada pada telepon seluler mudah digunakan oleh pengguna dan harga telepon seluler yang relatif murah. Untuk menjalankan fungsi pada telepon seluler dibutuhkan sistem operasi pada perangkat tersebut. Ada berbagai macam sistem operasi pada perangkat telepon seluler seperti *java*, *blackberry*, *symbian*, *microsoft*, *iOS*, *android* dan sebagainya. Telepon seluler yang mendominasi pasar Indonesia menggunakan sistem operasi *android*.

Dilihat dari banyaknya pengguna dari yang dewasa hingga anak-anak, mayoritas orang dewasa mereka menggunakan telepon seluler untuk membantu kebutuhan dalam bekerja atau dalam kegiatan yang bermanfaat. Namun berbeda dengan anak-anak rata-rata mereka menggunakan telepon seluler untuk bermain *games* atau digunakan untuk kegiatan yang tidak bermanfaat. Oleh karena itu peneliti memikirkan cara membuat media pembelajaran pada telepon seluler berbasis sistem operasi *android*.

Aplikasi *mobile learning* berbasis sistem operasi *android* pada materi bangun ruang sisi datar tingkat SMP/MTs diberi nama *Castle Math*. Tujuan peneliti untuk mengetahui bagaimana cara mengembangkan *mobile learning* aplikasi *Castle Math* dan mengetahui kelayakan dari media pembelajaran serta mengetahui kelebihan dan kekurangan aplikasi tersebut.

2 Landasan Teori

Perangkat komputer sekarang sudah berkembang dari perangkat komputer yang analog atau yang biasa disebut PC (*personal computer*) sampai ke perangkat komputer yang sekarang berbentuk yang mudah dibawa seperti laptop. Para ahli mulai menciptakan terobosan terbaru dengan membuat perangkat tersebut semakin lebih mudah di bawa kemanapun maka terciptalah komputer dengan ukuran yang lebih kecil bernama *PDA phone*. Adapun pengembangan perangkat telepon seluler dengan fitur-fitur yang canggih yang kemudian dikenal dengan nama *smartphone*.

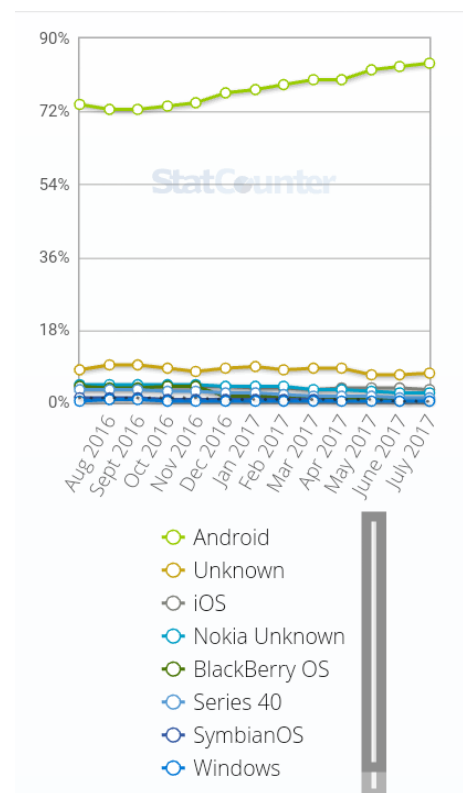
Perangkat yang mudah di bawa kemana saja kapanpun yang diinginkan biasa di sebut dalam bahasa inggris dengan nama *mobile* dan jika perangkat *mobile* tersebut digunakan dalam proses pembelajaran maka bisa disebut *mobile learning*. Pengertian *mobile learning* adalah pembelajaran yang memanfaatkan teknologi dan perangkat *mobile*. [3] Perangkat *mobile* yang disebutkan di atas seperti *PDA phone*, laptop, *tablet/tab*, *smartphone*, dan sebagainya yang mudah di bawa kemanapun.

Perangkat *mobile* digunakan dalam pembelajaran bahwa istilah *mobile learning* mengacu kepada penggunaan perangkat IT genggam dan bergerak seperti PDA, telepon

genggam, laptop dan *tablet PC* dalam pengajaran dan pembelajaran. [4] Oleh karena itu *mobile learning* merupakan proses pembelajaran dengan menggunakan media perangkat *mobile* yang mudah di bawa kemana saja yang diinginkan.

Sistem operasi yang digunakan pada perangkat *mobile* antara lain *windows*, *iOS*, *android* dan sebagainya. Setiap pemilik perusahaan sistem operasi pada perangkat *smartphone* bersaing dalam pasar global. Masing-masing pemilik perusahaan berusaha membuat produknya laris dalam pasar global dengan memberikan produk terbaiknya.

Berikut ini adalah data statistik *mobile operating system market* (pemasaran sistem operasi pada *mobile*) terutama pada *smartphone* di Indonesia berdasarkan hasil survei Statcounter Globalstats dari Juli 2016 hingga Juni 2017. [5] Dengan sistem operasi *mobile android*, *iOS*, *nokia*, *blackberry*, *series 40*, *symbian*, *windows*, dan lainnya.



Gambar 1 Survei Pemasaran Sistem Operasi pada Perangkat Mobile di Indonesia

Dari hasil survei diketahui bahwa pemasaran sistem operasi pada perangkat *mobile* di Indonesia dari yang terbesar adalah sistem operasi *android* sebesar 84%, sistem operasi lainnya 7,45%, sistem operasi *iOS* 3,1%, *nokia* 2,55%, *series 40* 1,04%, *blackberry* 1% dan selain itu di bawah 1%. Artinya pengguna *smartphone* di Indonesia paling besar menggunakan sistem operasi *mobile android*.

Android, Inc. inilah nama perusahaan yang dibangun pada bulan Oktober 2003 oleh Andy Rubin, Rich Miner, Nick

Sears dan Chris White di Palo Alto, California. Awal mula pengembangan *android* adalah untuk sistem operasi canggih pada perangkat kamera digital, namun pada saat itu pasar perangkat kamera digital tidak terlalu besar kemudian *android* dialihkan menjadi sistem operasi pada perangkat telepon seluler untuk menyaingi sistem operasi *symbian* dan *windows*. [6]

Android memiliki beberapa versi dalam pembaharuan sistem operasi. Berikut adalah versi-versi *android* dan awal rilis versi tersebut. Versi *android* yang dirilis dimulai dari versi *android cupcake*. [7]

Tabel 1 Versi-versi sistem operasi *android*

VERSI	NAMA	TANGGAL RILIS
1.5	<i>Cupcake</i>	30 April 2009
1.6	<i>Donut</i>	15 September 2009
2.0 - 2.1	<i>Éclair</i>	26 Oktober 2009
2.2	<i>Froyo</i>	20 Mei 2010
2.3 – 2.3.7	<i>Gingerbread</i>	6 Desember 2010
3.1	<i>Honeycomb</i>	10 Mei 2011
4.0.3 – 4.0.4	<i>Ice Cream Sandwich</i>	16 Desember 2011
4.1	<i>Jelly Bean</i>	9 Juli 2012
4.4	<i>Kitkat</i>	31 Oktober 2013
5.0	<i>Lollipop</i>	15 Oktober 2014
6.0	<i>Marshmallow</i>	5 Oktober 2015

Banyaknya perusahaan perangkat *smartphone* yang menggunakan sistem operasi *android* pasti perusahaan tahu beberapa kelebihan dari sistem operasi tersebut. Sistem operasi *android* memiliki kelebihan-kelebihan seperti *user friendly*, *open source* dan ekonomis.

User friendly, bersifat *open source*, ekonomis, dukungan dari berbagai aplikasi. *User friendly* diartikan bahwa sistem operasi *android* sangat mudah digunakan dan dioperasikan dari kalangan muda sampai tua hingga kalangan disabilitas seperti tuna netra. Bersifat *open source* karena *android* dikembangkan dari *kernel Linux* maka siapapun boleh memodifikasi dan mengembangkan sistem operasi *android* tanpa harus membayar. Ekonomis artinya perangkat *smartphone* dengan menggunakan sistem operasi *android* mudah sekali di beli masyarakat baik kelas bawah sampai

kelas atas dan tidak heran sistem operasi *android* terkenal di masyarakat. Dukungan dari berbagai aplikasi artinya banyak aplikasi yang dapat berjalan dengan baik dan menunjang kinerja di sistem operasi *android*.

Android Studio merupakan *software* aplikasi untuk membangun aplikasi pada sistem operasi *android*. *Android Studio* merupakan IDE (*Integrated Development Environment*) resmi dari *android* dan aplikasi ini dibangun dengan tujuan untuk pengembangan aplikasi *android* dengan kualitas tinggi untuk perangkat yang menggunakan sistem operasi *android*. Adapun fitur dari *software* aplikasi *android studio* ini adalah meng-coding dan melakukan iterasi dengan cepat, konfigurasi pembangunan tanpa batas, meng-coding dengan percaya diri, membuat aplikasi yang kaya dan terkoneksi serta menghilangkan tugas yang melelahkan. [8]

Meng-coding dan melakukan iterasi dengan cepat. *Android studio* didasarkan IntelliJ IDEA memberikan kemungkinan penyelesaian tercepat dalam melakukan pengkodean dan alur kerja yang berjalan. Fitur membuat kode dan mengulangi lebih cepat dari sebelumnya seperti *instant run*, *emulator* yang cepat dan kaya serta *code editor* yang cerdas. *Instant run* adalah fitur membuat dan memperbaharui serta membangun ulang aplikasi sehingga pada perangkat terlihat perubahannya. *Emulator* yang cepat dan kaya fitur ini memungkinkan menjalankan aplikasi pada perangkat yang berbeda seperti *smartphone*, *tablet*, *android wear* dan *android tv*. *Code editor* yang cerdas fitur ini memberikan kemudahan pengguna dalam menulis kode.

Konfigurasi pembangunan tanpa batas. Struktur pada *Android Studio* berbasis *gradle*. Struktur *gradle* memudahkan kita membangun aplikasi atau APK yang fleksibel pada semua jenis perangkat. Fitur konfigurasi tanpa batas seperti sistem versi yang fleksibel, dioptimalkan pada semua perangkat *android* dan didesain untuk tim. Sistem versi yang fleksibel fitur ini memberikan otomatisasi versi, manajemen dependensi dan konfigurasi yang dapat disesuaikan. Dioptimalkan untuk semua perangkat *android* fitur ini memberikan modul yang terstruktur yang dapat membagi proyek menjadi unit-unit fungsi. Didesain untuk tim fitur ini membuat sistem integrasi dengan alat bantu kontrol versi menjadi mudah.

Meng-coding dengan percaya diri. Untuk setiap langkahnya *Android Studio* menginginkan pengguna membuat kode yang terbaik. Hal ini di bantu fitur-fitur seperti template kode dan aplikasi contoh, alat bantu dan kerangka pengujian dan *lintelligence* yang memeriksa dan memperbaiki kode yang dibuat.

Membuat aplikasi yang kaya dan terkoneksi. *Android studio* menyadari bahwa kode yang ditulis dalam *java* tidak semua berjalan pada perangkat pengguna. Oleh karena itu *Android Studio* dibantu dengan berintegrasi dengan *firebase* dan *cloud* serta di dukung oleh C++ dan NDK.

Materi dalam aplikasi yang akan di buat adalah materi bangun ruang sisi datar yang dipelajari di SMP dan MTs. Bangun ruang sisi datar mencakup pembahasan materi

tentang kubus, balok, prisma dan limas. Dalam setiap pembahasan dijelaskan tentang sifat-sifat setiap bangun ruang, rumus-rumus dan contoh soal.

3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan langkah-langkah penelitian dan pengembangan *research and development* (R&D). Adapun tahapan penelitian seperti menemukan potensi dan masalah, pengumpulan informasi, desain produk, validasi desain, revisi desain, ujicoba produk, revisi produk, ujicoba pemakaian, revisi produk dan terakhir produksi masal.[9]

Potensi dan masalah dilakukan peneliti untuk mengutarakan masalah yang terjadi. Pengumpulan informasi dilakukan peneliti untuk mencari solusi yang dapat mengatasi masalah. Desain produk dilakukan peneliti untuk membuat suatu produk. Desain produk terdiri dari pembuatan *flowchart*, pembuatan *storyboard*, pembuatan gambar dan tombol serta penyusunan materi dan soal. Validasi desain dilakukan oleh ahli materi dan ahli media. Peneliti melakukan validasi desain saat melakukan uji coba produk. Revisi desain dilakukan peneliti setelah validasi desain perubahan berdasarkan kritik dan saran ahli materi dan ahli media. Uji coba produk peneliti membuat prototype dan dinilai oleh ahli materi dan ahli media. Revisi produk dilakukan setelah uji coba produk peneliti melakukan perubahan pada produk berdasarkan saran dari ahli materi dan ahli media. Uji coba pemakaian peneliti menggunakan produk yang telah di revisi dan di uji coba kepada sebagian pengguna. Revisi produk kembali dilakukan setelah uji coba pemakaian bila produk mengalami kekurangan. Produksi massal produk siap digunakan oleh semua orang.

Sumber data yang digunakan untuk menentukan lembar validasi ahli materi, lembar validasi ahli media dan lembar angket pengguna telepon seluler berbasis sistem operasi *android*. Pengumpulan data dalam penelitian dilakukan dengan teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara angket validasi ahli dan tanggapan pengguna. Proses pengumpulan data dilakukan secara kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berupa data penilaian terhadap aplikasi yang di tinjau dari beberapa aspek dan data kualitatif berupa saran-saran yang membangun.

Untuk validasi dari ahli materi, ahli media dan pengguna penilaian dilakukan dengan teknik deskriptif presentase dengan rumus:[10]

$$P = \frac{f}{N} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

f = Frekuensi yang sedang di cari persentasinya.

N = Number of Cases (jumlah frekuensi/ banyaknya individu).

P = Angka Presentase

Pengolahan data angket dilakukan dengan menggunakan skala Likert. Pemberian skor yang digunakan:[11]

Tabel 2 Kriteria penilaian angket

Alternatif Jawaban	Skor untuk	
	Positif	Negatif
Sangat Baik (SB)	4	1
Baik (B)	3	2
Tidak Baik (TB)	2	3
Sangat Tidak Baik (STB)	1	4

Hasil penilaian dalam bentuk (%) kemudian diberikan rentang presentase dan kriteria sebagai berikut.[12]

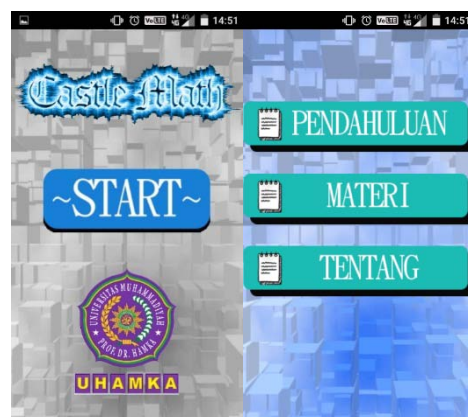
Tabel 3 Rentang presentase dan kriteria kelayakan media

Rentang Presentase	Kriteria
80% - 100%	Sangat Baik
66% - 79%	Baik
56% - 65%	Cukup
40% - 55%	Kurang
30% - 39%	Gagal

4 Metodologi Penelitian

Produk yang akan di uji adalah produk aplikasi android dengan format *.apk* yang kompatibel dengan sistem operasi android. berikut adalah tampilan produk yang akan di uji dan hasil dari ujicoba produk.

Sebelum melakukan ujicoba produk, berikut adalah tampilan produk yang akan di uji coba.



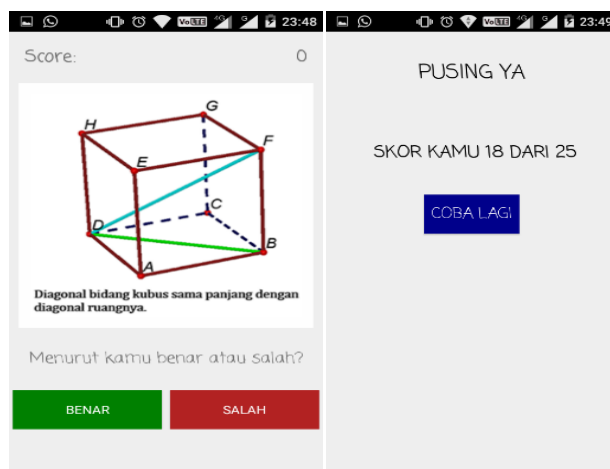
Gambar 2 Tampilan awal aplikasi dan menu utama



Gambar 3 Tampilan pendahuluan dan menu materi



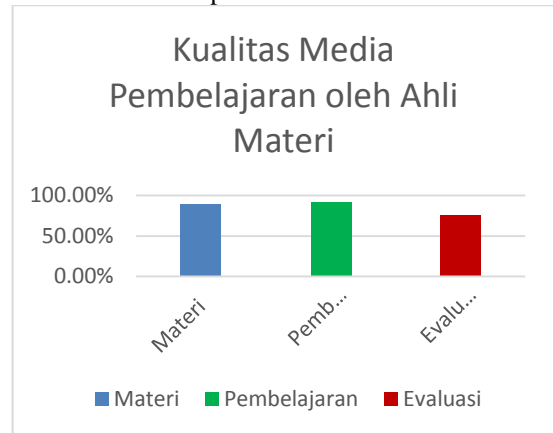
Gambar 4 Tampilan tentang dan isi materi



Gambar 5 Tampilan quiz dan result

Produk di ujicoba dan di validasi oleh ahli materi dan ahli media. Ahli materi adalah dosen matematika UHAMKA bernama Samsul Maarif, M.Pd. dan ahli media adalah dosen teknik informatika bernama Mia Kamayani, S.T., M.T. mereka yang akan menjadi validator yang menguji aplikasi.

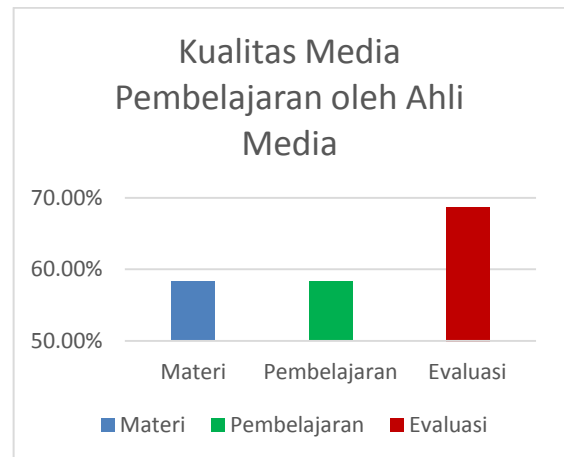
Berikut adalah hasil penilaian dari ahli materi.



Gambar 6 Diagram batang penilaian kelayakan media oleh ahli materi

Hasil validasi dari ahli materi di dapat bahwa aplikasi *Castle Math* mendapat penilaian 89,29% dengan kategori sangat baik untuk aspek materi, 91,67% dengan kategori sangat baik untuk aspek pembelajaran dan 75% untuk aspek evaluasi dengan kategori baik. Total keseluruhan penilaian adalah 91,67% untuk kategori sangat baik.

Berikut adalah hasil penilaian dari ahli media.



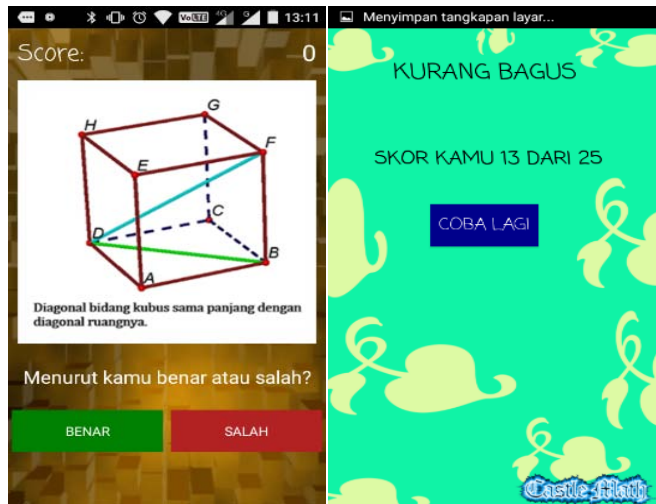
Gambar 7 Diagram batang penilaian kelayakan media oleh ahli media

Hasil validasi dari ahli media di dapat bahwa aplikasi *Castle Math* mendapat penilaian 58,34% dengan kategori cukup untuk aspek materi, 58,34% dengan kategori cukup untuk aspek pembelajaran dan 68,75% untuk aspek evaluasi dengan kategori baik. Total penilaian adalah 63,24% untuk kategori cukup.

Berikut adalah tampilan hasil revisi dari ahli materi dan ahli media.



Gambar 8 Tampilan awal aplikasi dan menu utama



Gambar 11 Tampilan quiz dan result

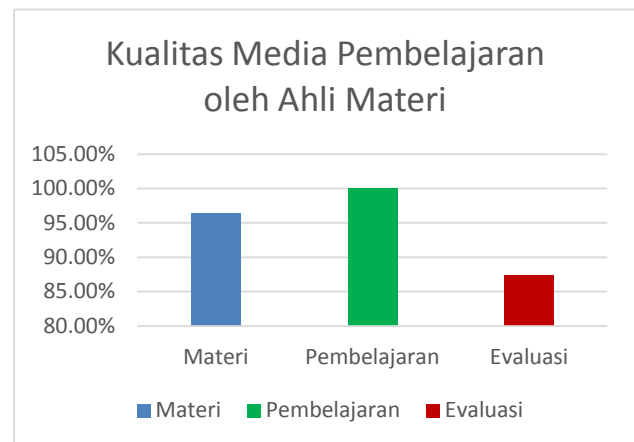


Gambar 9 Tampilan pendahuluan dan menu materi



Gambar 10 Tampilan tentang dan isi materi

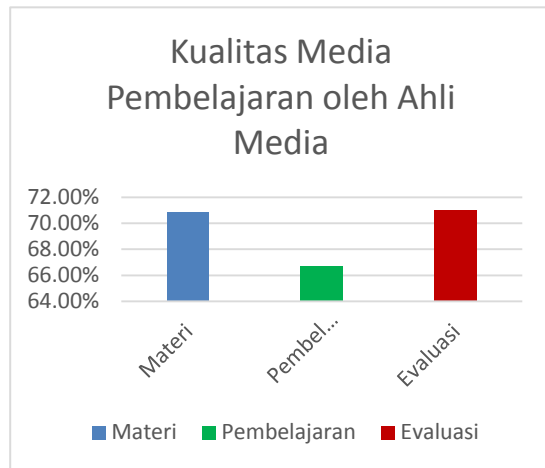
Produk di ujicoba dan di validasi oleh ahli materi dan ahli media serta beberapa pengguna telepon seluler berbasis sistem operasi *android* melalui website *google form*. Ahli materi adalah dosen matematika UHAMKA bernama Samsul Maarif, M.Pd. dan ahli media adalah dosen teknik informatika bernama Mia Kamayani, S.T., M.T. mereka yang akan menjadi validator yang menguji aplikasi. Berikut adalah hasil penilaian dari ahli materi.



Gambar 12 Diagram batang penilaian kelayakan media oleh ahli materi

Hasil validasi dari ahli materi di dapat bahwa aplikasi *Castle Math* mendapat penilaian 96,43% dengan kategori sangat baik untuk aspek materi, 100% dengan kategori sangat baik untuk aspek pembelajaran dan 87,5% untuk aspek evaluasi dengan kategori sangat baik. Total keseluruhan penilaian adalah 93,34% untuk kategori sangat baik.

Berikut adalah hasil penilaian dari ahli media.



Gambar 13 Diagram batang penilaian kelayakan media oleh ahli media

Hasil validasi dari ahli media di dapat bahwa aplikasi *Castle Math* mendapat penilaian 70,84% dengan kategori baik untuk aspek materi, 66,67% dengan kategori baik untuk aspek pembelajaran dan 71% untuk aspek evaluasi dengan kategori baik. Total keseluruhan penilaian adalah 70,59% untuk kategori baik.

Cara mendapatkan penilaian aplikasi dari pengguna telepon seluler berbasis sistem operasi *android* peneliti menggunakan jasa *google form* dalam pembuatan angket penilaian. Hasil penilaian dari pengguna di dapat bahwa aplikasi *Castle Math* mendapat nilai rata-rata keseluruhannya adalah 86,60% dengan kategori sangat baik. Sebelum melakukan produk masal, peneliti membuat sertifikat hak kekayaan intelektual yang saat ini sedang diproses. Setelah membuat sertifikat tersebut peneliti mengunggah aplikasi ke *google playstore*.

Aplikasi *Castle Math* merupakan aplikasi mobile learning. Aplikasi ini berisi materi bangun ruang sisi datar matematika. Aplikasi ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan aplikasi *Castle Math* adalah media pembelajaran yang disajikan dalam bentuk *.apk* yang cocok dengan *smartphone* berbasis sistem operasi *android*. aplikasi *Castle Math* dapat mudah dioperasikan dimana saja dan kapan saja. Aplikasi *Castle Math* merupakan inovasi terbaru media pemebelajaran matematika dengan memanfaatkan perangkat *smartphone*.

Kekurangan aplikasi *Castle Math* adalah media pemebelajaran ini hanya bisa dioperasikan pada perangkat *smartphone* dengan sistem operasi *android*. Aplikasi tidak terhubung ke internet sehingga pembaharuan aplikasi harus mengunduh dan menginstal kembali aplikasi. Tampilan visualisasi aplikasi yang belum maksimal.

5 SIMPULAN

Berdasarkan hasil penilaian dari ahli materi dan ahli media. Rata-rata akhir penilaian dari ahli materi adalah 93,34% untuk kategori sangat baik dan pernyataan validasi yang diberikan ahli materi bahwa aplikasi layak digunakan. Rata-rata akhir penilaian dari ahli media adalah 70,59% untuk kategori baik dan pernyataan validasi yang diberikan ahli materi bahwa aplikasi layak digunakan dengan perbaikan. Artinya peneliti di luar penelitian harus melakukan perbaikan terhadap aplikasi *Castle Math*.

Kepustakaan

- [1] Daryanto. *Media Pembelajaran Peranannya Sangat Penting dalam Mencapai Tujuan Pembelajaran*. Yogyakarta: Penerbit Gava Media. (2016)
- [2] Daryanto. *Media Pembelajaran Peranannya Sangat Penting dalam Mencapai Tujuan Pembelajaran*. Yogyakarta: Penerbit Gava Media. (2016)
- [3] Majid, Abdul. *Mobile Learning*. Bandung: Universitas Pendidikan Bandung. (2012)
- [4] H, Muh Tamimuddin. 2014. *Pengenalan Media Pembelajaran Berbasis Mobile (Mobile Learning)*. Pusat Pengembangan dan Pemberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan Matematika
- [5] Globalstats, StatCounter. "Mobile Operating System Market Share in Indonesia". Diakses 05 Agustus 2017. <http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/indonesia>
- [6] Irsyad, Hanif. *Aplikasi Android dalam 5 Menit Edisi Revisi*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo. (2016)
- [7] Android, Developers. "Platform Versions". Diakses 05 Agustus 2017. <https://developer.android.com/about/dashboards/index.html#Platform>
- [8] Satyaputra, Alfa & Aritonang, Eva Maulina. *Let's Build Your Android Apps with Android Studio*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo. (2016)
- [9] Sugiyono. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: CV. Alfabeta. (2014)
- [10] Sudijono, Anas. *Pengantar Statistik Pendidikan*. Jakarta: PT Rajagrafindo Persada. (2017)
- [11] Arikonto, Suharsimi. *Dasar-dasar Evaluasi Pendidikan Edisi 2*. Jakarta: PT Bumi Aksara. (2013)
- [12] Sari, Dwi Ivayana. *Evaluasi Pembelajaran*. Bangkalan: STKIP PGRI. (2015)

AUDIT SISTEM INFORMASI PADA APLIKASI ACCURATE MENGUNAKAN MODEL COBIT FRAMEWORK 4.1 (STUDI KASUS: PT. SETIA JAYA TEKNOLOGI)

Iskandar Budiman Sukmajaya^{1*}, Johanes Fernandes Andry²

Sistem Informasi, Universitas Bunda Mulia
Jl. Lodan Raya Ancol No. 2, Jakarta 14430 Indonesia
Email: daryuel@gmail.com¹⁾, email: jandry@bundamulia.ac.id²⁾

Abstrak – PT. Setia Jaya Teknologi merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang distribusi. Dalam aktivitas pembukuan mereka menggunakan aplikasi Accurate untuk proses Accounting. Dalam penggunaannya untuk mempermudah proses pencatatan pembukuan perusahaan dan juga untuk menghindari kehilangan data. Tujuan dari dilakukannya audit pada perusahaan ini adalah mengidentifikasi tingkat efektivitas dan efisiensi dari aplikasi yang digunakan pada perusahaan, dan meneliti apakah implementasi aplikasi sudah memenuhi visi misi perusahaan ini atau belum. Manfaat dari audit ini adalah menjadi pedoman bagi perusahaan untuk mengevaluasi sistem kinerja dari aplikasi. Perusahaan ini di audit berdasarkan framework COBIT. COBIT merupakan sebuah kerangka best practice bagi pengelolaan teknologi informasi yang sudah digunakan oleh berbagai auditor. Standar COBIT 4.1 dapat membantu auditor, user dan manajemen untuk menjembatani gap antara risiko bisnis, kebutuhan control dan masalah-masalah teknis TI. Untuk mengukur aspek dukungan TI terhadap kegiatan operasional bisnis fokus domain audit perusahaan ini berpusat pada Delivery and Support (DS). Hasil dari audit yang dilakukan adalah analisa kinerja aplikasi apakah sudah sesuai dengan tujuan bisnis dari perusahaan dan memberikan rekomendasi untuk perusahaan.

Kata kunci: Accurate, Audit, COBIT 4.1, Delivery and Support, PT. Setia Jaya Teknologi

1 Pendahuluan

PT. Setia Jaya Teknologi adalah sebuah perusahaan yang dikelola oleh swasta, yang bergerak dibidang distribusi laptop, sekaligus *retailer online* dengan menggunakan jasa *market place* digital seperti Blibli, Tokopedia, Bukalapak, dan Lazada sebagai bisnis sekunder. Perusahaan ini terus mengalami peningkatan baik keuntungan atau *profit* maupun infrastruktur, perusahaan ini telah menerapkan Sistem Informasi pada aspek kerjanya salah satunya adalah pembukuan mereka dengan menggunakan aplikasi akuntansi yang berbasis *desktop* yang dikenal dengan nama *Accurate Accounting Software*.

Penggunaan teknologi informasi secara signifikan telah mempengaruhi praktik akuntansi dan keuangan, telah banyak pergantian olah data akuntansi manual ke sistem akuntansi yang menggunakan komputer, dengan *software* akuntansi seperti *Accurate Accounting* dan program sejenis lainnya. Dengan menggunakan peralatan komputer, transaksi dan prosedur akuntansi yang rumit dapat diprogram dengan lebih mudah. Hanya dengan menginput tanggal, kode akun dan

jumlah transaksi dapat secara otomatis menghasilkan jurnal, posting buku besar, laporan biaya produksi dan laporan keuangan [1]. Hal ini tentunya memberikan keuntungan bagi perusahaan dan sumber daya manusia dan dapat diselesaikan secara praktis, cepat dan akurat.

Sebuah layanan Sistem Informasi dikatakan baik dan layak apabila sudah memenuhi *standard* dan adanya tata kelola IT yang baik pula serta dilihat dari keefektifan penggunaan aplikasi dan dilihat dari kepuasan pengguna dari aplikasi. Dimaksudkan agar pelayanan yang diberikan sudah memenuhi *standard* dan memberikan pelayanan terbaik, dari paparan yang telah dijelaskan diatas maka dirasa perlu untuk adanya penilaian dari aplikasi yang telah diimplementasikan guna mengetahui kepuasan pengguna atau *user* terhadap aplikasi yang digunakan untuk kegiatan penunjang bisnis sehari – hari [2].

Untuk menetapkan tingkat kelayakan tata kelola IT yang baik dan selaras dengan visi misi perusahaan, dengan adanya implementasi aplikasi *Accurate* pada perusahaan maka perlu diadakan sebuah proses evaluasi terhadap sistem, proses,

organisasi dan produk yaitu *auditing*. Untuk membatasi pembahasan agar lebih terarah, penulis hanya akan membahas proses *auditing* seputar Audit Sistem Informasi berdasarkan standar *framework COBIT*. Dengan menerapkan salah satu *domain* yaitu *Delivery and Support (DS)* diharapkan penelitian ini akan membantu menemukan *gap* atau kesenjangan serta dapat menetapkan tingkat kematangan pada penerapan aplikasi *Accurate Accounting* dan mencari tahu keselarasan proses bisnisnya terhadap investasi TI untuk menunjang kelangsungan bisnis perusahaan.

2 Landasan Teori

2. 1. Audit Sistem Informasi

Organisasi bisnis menjalani berbagai jenis audit untuk tujuan yang berbeda. Yang paling umum adalah audit eksternal (keuangan), audit internal, dan audit kecurangan (*fraud*). Audit memainkan peran penting dalam mengembangkan dan meningkatkan ekonomi global dan perusahaan bisnis [2], [3]. Audit TI berfokus pada aspek berbasis komputer dari sistem informasi organisasi dan sistem modern menggunakan tingkat teknologi yang signifikan [2], [4]. Ron Weber (1999) berpendapat bahwa audit sistem informasi adalah proses mengumpulkan dan mengevaluasi bukti untuk menentukan apakah sistem komputer melindungi kelayakan, menjaga integritas data, memungkinkan tujuan organisasi tercapai secara efektif, dan menggunakan sumber daya secara efisien [2].

Audit Teknologi informasi pada hakekatnya merupakan salah satu dari bentuk audit operasional, tetapi kini audit teknologi informasi sudah dikenal sebagai satu satuan jenis audit tersendiri yang tujuan utamanya lebih untuk meningkatkan tata kelola IT. Sebagai suatu audit operasional terhadap manajemen sumber daya informasi, yaitu efektivitas, efisiensi, dan ekonomis tidaknya unit fungsional sistem informasi pada suatu organisasi [4].

Santoyo Gondodiyoto (2007) menjelaskan bahwa pada hakekatnya, audit sistem informasi sebagai audit tersendiri dan bukan merupakan bagian dari audit laporan keuangan, perlu dilakukan untuk memeriksa tingkat kematangan atau kesiapan suatu organisasi dalam melakukan pengelolaan teknologi informasi (*IT governance*) [5].

2. 2. Accurate Accounting

Perangkat lunak aplikasi akunting *Accurate* dibuat oleh PT. Cipta Piranti Sejahtera, lebih dikenal dengan nama *CPS Soft*, yang berlokasi di Jakarta. Aplikasi *Accurate* adalah aplikasi pertama yang dikembangkan oleh *CPS Soft*. Aplikasi ini merupakan aplikasi yang diproduksi di Indonesia sejak tahun 2000 dan telah dipercaya dapat membantu pembukuan perusahaan [6].

2. 3. COBIT Framework

COBIT (Control Objective for Information and related Technology) merupakan suatu *framework* yang terdiri dari *domain* dan proses yang digunakan untuk mengatur aktivitas dan *logical structure* [5]. *COBIT* menyediakan langkah-langkah praktis terbaik yang dapat diambil dan lebih difokuskan pada pengendalian (*control*), yang selanjutnya dijelaskan dalam tahap dan *framework* proses. Manfaat dari langkah-langkah praktis terbaik yang dapat diambil tersebut antara lain:

- 1) Membantu mengoptimalkan investasi teknologi informasi yang mungkin dapat dilakukan.
- 2) Menjamin pengiriman *service* [7].

Sebagai sebuah *framework* yang mengatur tata kelola informasi, *COBIT* memiliki standar pengelolaan informasi yang terbagi menjadi 4 *domain* yaitu: *PO (Plan & Organize)*, *AI (Acquire & Implement)*, *DS (Delivery & Support)*, dan *ME (Monitoring & Evaluate)*. Selain itu secara keseluruhan *framework COBIT* ditunjukkan pada gambar 1, melalui gambar tersebut dapat dilihat model proses *COBIT* yang terdiri dari 4 *domain*.

2. 3. Maturity Level

Tingkat Kematangan (*Maturity Level*) merupakan salah satu pengukuran yang dijadikan standar *COBIT*. Pengukuran tingkat kematangan ini diatur untuk tingkat manajemen dan memungkinkan para manajer mengetahui bagaimana pengelolaan dan proses-proses TI di organisasi tersebut sehingga bisa diketahui pada tingkatan mana pengelolaannya [8].

Adapun generic maturity model yang digunakan adalah:

0 – *Non-existent* – Tidak ada sama sekali proses yang terlihat. Perusahaan belum menyadari bahwa ada masalah yang harus dikaji.

1 – *Initial/Ad Hoc* – Ada bukti bahwa perusahaan telah menyadari ada masalah yang ada dan harus dikaji namun belum ada standarisasi. Tetapi, ada pendekatan *ad hoc* yang cenderung diaplikasikan sesuai kasus. Pendekatan manajemen secara umum tidak terstruktur.

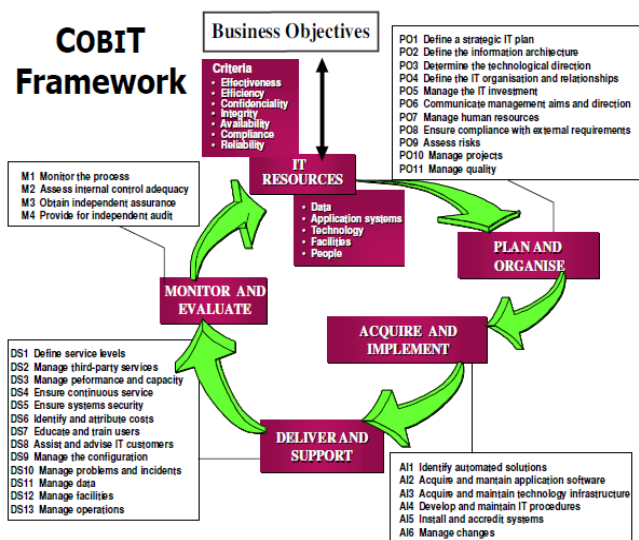
2 – *Repeatable but Intuitive* – Proses telah dikembangkan pada tahap dimana prosedur yang mirip telah diikuti oleh bermacam-macam orang yang melaksanakan tugas ini. Tidak ada training atau komunikasi secara formal tentang prosedur standard dan tanggung jawabnya jatuh pada individu. Ada ketergantungan yang tinggi pada individu dan sering terjadi error.

3 – *Defined Process* – Prosedur telah terstandarisasi dan terdokumentasi, dan komunikasi lewat training. Merupakan keharusan bahwa proses tersebut harus diikuti. Tetapi, sedikit

deviasi yang terjadi. Prosedur tersebut tidak rumit tetapi formalisasi dari practice yang sekarang.

4 – *Managed and measurable* – Manajemen memantau dan mengukur kesesuaian dengan prosedur dan mengambil tindakan dimana proses terlihat tidak berjalan efektif. Proses dikembangkan secara berkelanjutan dan memberikan practice yang baik. Otomasi dan alat bantu digunakan dalam cara yang terbatas dan terpecah-pecah.

5 – *Optimized* – Proses telah dirancang sampai tingkat pelaksanaan yang baik, berdasarkan hasil dari pengembangan berkelanjutan dan maturity modelling dengan perusahaan lain. IT digunakan dalam cara terintegrasi untuk mengotomasi alur kerja, menyediakan alat bantu untuk meningkatkan kualitas dan efektivitas, membuat perusahaan mudah diadaptasi[8].



Gambar 1 Framework COBIT (COBIT 4.1 Excerpt, Executive Summary Framework, 2008) [4], [7], [8], [9], [10], [11].

3 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan serta tahapan-tahapan penulis dalam memperoleh data dari sumber, mulai dari survei awal, wawancara, dan kuesioner ditunjukkan dengan Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

Prosedur Penelitian merupakan suatu kegiatan yang harus dilakukan dalam melakukan penelitian. Adapun tahapan dan prosedur penelitiannya sebagai berikut:

1) *Planning* (Perencanaan)

Perencanaan merupakan tahapan awal dalam prosedur penelitian yang kami lakukan. Karena pada tahap ini kami dapat menentukan ruang lingkup (*scope*), sebuah objek yang akan di audit, standar evaluasi dari hasil audit serta komunikasi terhadap orang yang bersangkutan akan

organisasi/perusahaan yang akan diaudit dengan menganalisa sebuah visi, misi, sasaran dan tujuan objek, dan kebijakan-kebijakan yang terkait dengan pengolahan investigasi. Pada tahap perancangan meliputi beberapa aktifitas utama yaitu penetapan ruang lingkup dan tujuan audit, pengorganisasian tim audit, pemahaman mengenai operasi bisnis klien, pengkajian ulang hasil audit sebelumnya, dan penyiapan program audit.

2) *Field Work* (Pemeriksaan Lapangan)

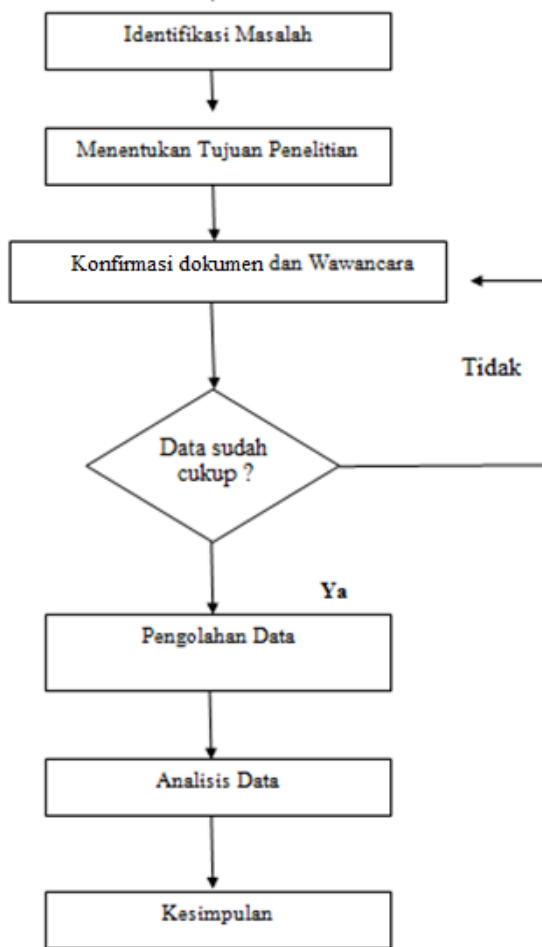
Pada tahap ini auditor bertujuan untuk mendapatkan informasi dengan cara mengumpulkan data dengan pihak-pihak yang terkait yang menggunakan beberapa metode yang dapat dilakukan seperti wawancara, kuesioner, dan melakukan *survey* langsung ke tempat penelitian dilakukan. Data yang di dapat nantinya akan sangat berguna dalam membantu auditor melakukan analisa sebuah organisasi / perusahaan yang di audit.

3) *Reporting* (Pelaporan)

Setelah proses pengumpulan data, maka akan didapat data yang akan diproses untuk dihitung berdasarkan perhitungan *maturity level*. Pada tahap ini yang akan dilakukan auditor adalah memberikan informasi berupa hasil-hasil dari audit. Perhitungan *maturity level* dilakukan mengacu pada hasil wawancara, dan *survey*. Berdasarkan hasil *maturity level* yang mencerminkan kinerja saat ini (*current maturity level*) dan kinerja *standard* atau *ideal* yang diharapkan akan menjadi acuan untuk selanjutnya dilakukan analisis kesenjangan (*gap*). Hal tersebut dimaksudkan untuk mengetahui kesenjangan (*gap*) serta mengetahui apa yang menyebabkan adanya *gap* tersebut. Dengan adanya pelaporan maka suatu masalah akan dapat terlihat lebih jelas dimana letak kesalahannya.

4) *Follow-Up* (Tindak Lanjut)

Setelah melakukan pelaporan atau *reporting* maka hal yang dilakukan selanjutnya adalah memberikan laporan hasil audit berupa rekomendasi tindakan perbaikan kepada pihak manajemen objek yang diteliti, untuk selanjutnya wewenang perbaikan menjadi tanggung jawab manajemen objek yang diteliti apakah akan diterapkan atau hanya menjadi acuan untuk perbaikan dimasa yang akan datang [11].



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian [11].

4 Hasil dan Pembahasan

Pada pembahasan ini, penulis akan menguraikan hasil analisa tingkat kematangan dari PT. Setia Jaya Teknologi, yang disajikan kedalam bentuk tabel serta pengertian atas tiap domain dan proses-prosesnya.

4.1 DS1 Define and Manage Service Levels

Proses ini bertujuan untuk mengetahui sudahkah ada komunikasi efektif antara manajemen TI dan pelanggan bisnis mengenai pelayanan yang dibutuhkan telah dimungkinkan dengan dokumentasi yang telah didefinisikan dan kesepakatan pada pelayanan TI dan tingkat pelayanan. Proses ini juga mencakup pemantauan dan pelaporan tepat waktu untuk *stakeholders* mengenai pemenuhan tingkat layanan. Proses ini memungkinkan keselarasan antara layanan TI dan persyaratan bisnis terkait. *Domain* ini terbagi menjadi 6 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS1.1 *Service Level Management Framework*.
- 2) DS1.2 *Definition of Services*.
- 3) DS1.3 *Service Level Agreements*.

- 4) DS1.4 *Operating Level Agreements*.
- 5) DS1.5 *Monitoring and Reporting of Service Level Achievements*.
- 6) DS1.6 *Review of Service Level Agreements and Contracts*.

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 1. DS1 Define and Manage Service Levels

Hasil evaluasi DS1 Define and Manage Service Levels & proses-prosesnya	Dalam hal tingkat layanan, SLA yang ada pada saat ini diperusahaan hanyalah persyaratan atau kontrak dari dealer, online market place dan supplier. Tidak ada persetujuan diatas hitam putih, tidak ada portfolio katalog layanan, dan peraturan yang dibuat oleh perusahaan hanya peraturan internal untuk tiap unit organisasi saja.
Rata-rata level saat ini	1.3
Rekomendasi level	3.0

4.2 DS2 Manage Third-party Services

Proses ini merupakan kebutuhan untuk memastikan bahwa layanan yang diberikan oleh pihak ketiga (pemasok, *vendor* dan mitra) memenuhi persyaratan bisnis memerlukan proses manajemen pihak ketiga yang efektif. Proses ini dilakukan dengan mendefinisikan secara jelas peran, tanggung jawab dan harapan dalam perjanjian pihak ketiga serta mengkaji dan memantau kesepakatan efektif dan kepatuhan tersebut. Manajemen layanan pihak ketiga yang efektif meminimalkan risiko bisnis yang terkait dengan pemasok non-performing. *Domain* ini terbagi menjadi 4 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS2.1 *Identification of All Supplier Relationships*.
- 2) DS2.2 *Supplier Relationship Management*.
- 3) DS2.3 *Supplier Risk Management*.
- 4) DS2.4 *Supplier Performance Monitoring*.

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 2. DS2 Manage Third-party Services

Hasil evaluasi DS2 Manage Thired-party Services & proses-prosesnya	Layanan dengan pihak ketiga pada PT. Setia Jaya Teknologi adalah dealer atau toko, online market place, dan supplier. Perusahaan menyeleksi pihak ketiga tersebut terutama supplier dan dealer berdasarkan harga yang mereka tawarkan untuk produknya. Business Manager perusahaan ini sering mengadakan meeting dengan supplier dan dealer sehingga hubungan pihak ketiga dengan perusahaan terjalin dengan baik. Lalu dokumentasi perjanjian bisnis tidak ada hitam putihnya, lebih dominan dengan kepercayaan antar perusahaan.
Rata-rata level saat ini	2.5
Rekomendasi level	4.0

4.3 DS3 Manage Performance and Capacity

Proses ini merupakan kebutuhan untuk mengelola kinerja dan kapasitas sumber daya TI untuk meninjau secara berkala kinerja dan kapasitas sumber daya TI saat ini. Proses ini mencakup peramalan kebutuhan masa depan berdasarkan persyaratan beban kerja, penyimpanan dan kontinjensi. Proses ini memberikan kepastian bahwa sumber informasi yang mendukung kebutuhan bisnis terus tersedia. *Domain* ini terbagi menjadi 5 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS3.1 *Performance and Capacity Planning*.
- 2) DS3.2 *Current Performance and Capacity*.
- 3) DS3.3 *Future Performance and Capacity*.
- 4) DS3.4 *IT Resources Availability*.
- 5) DS3.5 *Monitoring and Reporting*.

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 3. DS3 Manage Performance and Capacity

Hasil evaluasi DS3 Manage Performance and Capacity & proses-prosesnya	Dalam mengatur performa dan kapasitas dari IT resources yang ada di PT. Setia Jaya Teknologi dilakukan dengan terencana dan rekomendasi dari bagian IT. Performa TI pada perusahaan saat ini sudah cukup baik, dengan aplikasi Accurate yang jarang mengalami masalah maupun penyimpanan data dan infrastruktur TI.
Rata-rata level saat ini	3.2
Rekomendasi level	4.0

4.4 DS4 Ensure Continuous Service

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 4. DS4 Ensure Continuous Service

Hasil evaluasi DS4 Ensure Continuous Service & proses-prosesnya	Perusahaan ini memantau sumber daya TI utama mereka karena core bisnis mereka terletak pada aplikasi Accurate untuk memonitor keluar masuk barang ke gudang dan penjualan-pembelian, namun belum ada pelaporan reguler, hanya jika menemui trouble saja, pemrosesan alternatif mereka adalah dengan pencatatan pada buku fisik untuk stock barang. Situasi saat ini sudah tetap mencerminkan persyaratan bisnisnya, jarang terjadi perubahan prosedur dan tanggung jawab, namun apabila ada pasti diadakan meeting. Manajemen TI belum menetapkan prosedur umum untuk pulihnya fungsi TI setelah bencana, semua perencanaan tersebut hanya disusun per-case tiap bencana yang terjadi, apabila ada.
Rata-rata level saat ini	1.6
Rekomendasi level	3.0

Kebutuhan untuk menyediakan layanan TI berkelanjutan memerlukan pengembangan, pemeliharaan dan pengujian rencana kesinambungan TI, memanfaatkan penyimpanan cadangan di luar kantor dan menyediakan pelatihan rencana kontinuitas secara berkala. Proses pelayanan berkelanjutan yang efektif meminimalkan kemungkinan dan dampak dari

gangguan layanan TI utama terhadap fungsi dan proses bisnis utama. *Domain* ini terbagi menjadi 10 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS4.1 *IT Continuity Framework*.
- 2) DS4.2 *IT Continuity Plans*.
- 3) DS4.3 *Critical IT Resources*.
- 4) DS4.4 *Maintenance of the IT Continuity Plan*.
- 5) DS4.5 *Testing of the IT Continuity Plan*.
- 6) DS4.6 *IT Continuity Plan Training*.
- 7) DS4.7 *Distribution of the IT Continuity Plan*.
- 8) DS4.8 *IT Services Recovery and Resumption*.
- 9) DS4.9 *Offsite Backup Storage*.
- 10) DS4.10 *Post-resumption Review*.

4.5 DS5 Ensure Systems Security

Kebutuhan untuk menjaga integritas informasi dan melindungi aset TI memerlukan proses manajemen keamanan. Proses ini mencakup pembentukan dan pemeliharaan peran keamanan TI dan tanggung jawab, kebijakan, standar, dan prosedur. Manajemen keamanan juga mencakup melakukan pemantauan keamanan dan pengujian berkala dan menerapkan tindakan perbaikan untuk mengidentifikasi kelemahan atau insiden keamanan. Manajemen keamanan yang efektif melindungi semua aset TI untuk meminimalkan dampak bisnis dari kerentanan dan insiden keamanan. *Domain* ini terbagi menjadi 11 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS5.1 *Management of IT Security*.
- 2) DS5.2 *IT Security Plan*.
- 3) DS5.3 *Identity Management*.
- 4) DS5.4 *User Account Management*.
- 5) DS5.5 *Security Testing, Surveillance and Monitoring*.
- 6) DS5.6 *Security Incident Definition*.
- 7) DS5.7 *Protection of Security Technology*.
- 8) DS5.8 *Cryptographic Key Management*.
- 9) DS5.9 *Malicious Software Prevention, Detection and Correction*.
- 10) DS5.10 *Network Security*.
- 11) DS5.11 *Exchange of Sensitive Data*.

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 5. DS5 Ensure Systems Security

Hasil evaluasi DS5 Ensure Systems Security & proses-prosesnya	Semua data penting perusahaan ini tersimpan dan dikelola melalui aplikasi Accurate, sehingga perusahaan menetapkan akses login sesuai dengan pemangku kepentingan dan pengguna. Dengan adanya akses login untuk aplikasi Accurate tidak sembarang orang dapat mengakses data perusahaan, penggunaan infrastruktur TI pun seperti printer, internet, dll dipantau langsung oleh pimpinan di ruang kantor tersebut. Setiap pemilik akun memiliki level hak akses terhadap sistem perusahaan, tiap bagian pekerjaan diberi
---	---

	<i>hak akses pada dokumen yang berkepentingan saja maupun hak untuk memodifikasinya. Business Manager pada perusahaan ini memiliki hak akses untuk memantau aktivitas yang dilakukan pengguna atau pekerjanya terhadap data dari aplikasi Accurate. Untuk menghindari serangan virus/malware setiap komputer disiapkan dengan antivirus berbayar masing-masing, dan karyawan tidak diperkenankan untuk sembarang meng-install program pada komputer perusahaan.</i>
<i>Rata-rata level saat ini</i>	3.2
<i>Rekomendasi level</i>	3.0

4.6 DS6 Identify and Allocate Costs

Kebutuhan akan sistem pengalokasian biaya TI untuk bisnis membutuhkan pengukuran akurat dari biaya TI dan kesepakatan dengan pengguna bisnis pada alokasi yang baik. Proses ini mencakup pembangunan dan pengoperasian sistem untuk menangkap, mengalokasi, dan melaporkan biaya TI kepada pengguna layanan. Sistem alokasi yang baik memungkinkan perusahaan membuat keputusan yang tepat terkait penggunaan layanan TI. *Domain* ini terbagi menjadi 4 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS6.1 *Definition of Services.*
- 2) DS6.2 *IT Accounting.*
- 3) DS6.3 *Cost Modelling and Charging.*
- 4) DS6.4 *Cost Model Maintenance.*

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 6. DS6 Identify and Allocate Costs

<i>Hasil evaluasi DS6 Identify and Allocate Costs & proses-prosesnya</i>	<i>Pengalokasian dana dipegang penuh oleh Business Manager pada perusahaan, dan selalu mengkonsultasikannya kebagian IT setiap ada tujuan mengalokasikan dana. Pengalokasian dana yang dipegang oleh Business Manager selalu disesuaikan dengan keuangan perusahaan dan dipikirkan dan dikonsultasikan kelayakannya.</i>
<i>Rata-rata level saat ini</i>	3.0
<i>Rekomendasi level</i>	3.0

4.7 DS7 Educate and Train Users

Proses ini memastikan edukasi yang efektif untuk semua pengguna sistem TI, termasuk yang ada di dalam TI, memerlukan identifikasi kebutuhan pelatihan setiap kelompok pengguna. Selain mengidentifikasi kebutuhan, proses ini mencakup penentuan dan pelaksanaan strategi untuk pelatihan yang efektif dan mengukur hasilnya. Program pelatihan yang efektif meningkatkan penggunaan teknologi secara efektif dengan mengurangi kesalahan pengguna, meningkatkan produktivitas dan meningkatkan kepatuhan terhadap kontrol kunci, seperti tindakan pengamanan pengguna. *Domain* ini terbagi menjadi 3 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS7.1 *Identification of Education and Training Needs.*
- 2) DS7.2 *Delivery of Training and Education.*
- 3) DS7.3 *Evaluation of Training Received.*

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 7. DS7 Educate and Train Users

<i>Hasil evaluasi DS7 Educate and Train Users & proses-prosesnya</i>	<i>Tidak ada pelatihan khusus reguler pada perusahaan ini karena scope kerja perbagian yang tidak terlalu besar, maka tidak perlu pelatihan yang reguler. Hanya diadakan pelatihan mengenai budaya kerja, prosedur kerja, dan penggunaan fasilitas TI pada saat karyawan pertama bekerja. Pengadaan training untuk karyawan PT. Setia Jaya Teknologi merupakan pelatihan informal atau tidak resmi, semisal apabila ada perubahan supplier sehingga prosedur baru untuk supplier spesifik tersebut yang berbeda dikomunikasikan dengan seluruh karyawan yang terkait. Karena pelatihan yang bersifat informal dan karyawan yang diberi pelatihan dilatih oleh beberapa seniornya. Hasil pelatihan hanya dapat dilihat dari kinerja karyawan tersebut namun belum dapat menjadi bahan evaluasi untuk pelatihan dimasa mendatang karena kurangnya informasi kurikulum yang kongkrit.</i>
<i>Rata-rata level saat ini</i>	1.6
<i>Rekomendasi level</i>	3.0

4.8 DS8 Manage Service Desk and Incidents

Respons tepat waktu dan efektif terhadap pertanyaan dan masalah pengguna TI memerlukan meja layanan dan proses manajemen kejadian yang dirancang dengan baik dan baik. Proses ini mencakup pengaturan fungsi meja layanan dengan registrasi, peningkatan kejadian, analisis trend dan akar penyebab, dan resolusi. Manfaat bisnis mencakup peningkatan produktivitas melalui penyelesaian cepat permintaan pengguna. Selain itu, bisnis dapat mengatasi akar penyebab (seperti pelatihan pengguna yang buruk) melalui pelaporan yang efektif. *Domain* ini terbagi menjadi 5 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS8.1 *Service Desk.*
- 2) DS8.2 *Registration of Customer Queries.*
- 3) DS8.3 *Incident Escalation.*
- 4) DS8.4 *Incident Closure.*
- 5) DS8.5 *Reporting and Trend Analysis.*

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 8. DS8 Manage Service Desk and Incidents

<i>Hasil evaluasi DS8 Manage Service Desk and Incidents & proses-prosesnya</i>	<i>PT. Setia Jaya Teknologi menyediakan layanan service desk untuk kendala-kendala yang terjadi berkaitan dengan pemasok, dealer, atau pelanggan dari online market seperti retur karena kecacatan barang, atau keterlambatan pengiriman/penerimaan. Kebanyakan, apabila</i>
--	--

	ada permasalahan bagian pelayanan pelanggan mengkategorikan komplek dan meneruskannya langsung kebagian yang dapat menuntaskan masalahnya. Untuk penjualan pada online market, ada pencatatan langkah-langkah resolusi untuk masalah umum berdasarkan dari masalah yang pernah teratasi. Namun untuk pemasok dan dealer kebanyakan setiap karyawan telah mengingat metode solvingnya sehingga apabila terjadi kembali, penanggulangan terbaik bisa segera dilakukan bersamaan.
Rata-rata level saat ini	2.4
Rekomendasi level	3.0

4.9 DS9 Manage the Configuration

Hasil evaluasi maturity level pada perusahaan dari domain ini yang dinilai dari setiap sub-domainnya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 9. DS9 Manage the Configuration

Hasil evaluasi DS9 Manage the Configuration & proses-prosesnya	Pemeliharaan inventori, software, dan hardware, dll dikerjakan oleh individu dalam perusahaan. Belum ada standar khusus atau tertulis yang ditetapkan, sehingga konfigurasi yang ditetapkan hanya berdasarkan pengalaman dan petunjuk manajer bisnis. Peninjauan konfigurasi tidak dilakukan secara berkala, hanya dilakukan apabila manajer bisnis membutuhkan informasi atau pelaporan terkait.
Rata-rata level saat ini	1.6
Rekomendasi level	3.0

Memastikan integritas konfigurasi perangkat keras dan perangkat lunak memerlukan penetapan dan pemeliharaan repositori konfigurasi yang akurat dan lengkap. Proses ini mencakup mengumpulkan informasi konfigurasi awal, membuat baseline, memverifikasi dan mengaudit informasi konfigurasi, dan memperbarui konfigurasi repositori sesuai kebutuhan. Manajemen konfigurasi yang efektif memfasilitasi ketersediaan sistem yang lebih besar, meminimalkan masalah produksi dan menyelesaikan masalah dengan lebih cepat. Domain ini terbagi menjadi 3 sub-domain antara lain:

- 1) DS9.1 Configuration Repository and Baseline.
- 2) DS9.2 Identification and Maintenance of Configuration Items.
- 3) DS9.3 Configuration Integrity Review.

4.10 DS10 Manage Problem

Manajemen masalah yang efektif memerlukan identifikasi dan klasifikasi masalah, analisis akar penyebab dan penyelesaian masalah. Proses manajemen masalah juga mencakup rumusan rekomendasi untuk perbaikan, pemeliharaan catatan masalah dan penelaahan status tindakan korektif. Proses manajemen masalah yang efektif memaksimalkan ketersediaan sistem, meningkatkan tingkat layanan, mengurangi biaya, dan meningkatkan kenyamanan dan kepuasan pelanggan. Domain ini terbagi menjadi 4 sub-domain antara lain:

- 1) DS10.1 Identification and Classification of Problems.

- 2) DS10.2 Problem Tracking and Resolution
- 3) DS10.3 Problem Closure.
- 4) DS10.4 Integration of Configuration, Incident, and Problem Management.

Hasil evaluasi maturity level pada perusahaan dari domain ini yang dinilai dari setiap sub-domainnya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 10. DS10 Manage Problem

Hasil evaluasi DS10 Manage Problem & proses-prosesnya	Masalah-masalah yang pernah terjadi dikategorikan berdasarkan dampak bahayanya terhadap bisnis dan diurutkan dengan prioritas untuk penuntasannya. Tergantung level parahnya masalah yang terjadi, apabila fatal, maka akan dituntaskan lebih dahulu lalu dilakukan pencarian akar penyebab masalah disaat masalah sudah dipecahkan.
Rata-rata level saat ini	2.5
Rekomendasi level	3.0

4.11 DS11 Manage Data

Hasil evaluasi maturity level pada perusahaan dari domain ini yang dinilai dari setiap sub-domainnya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 11. DS11 Manage Data

Hasil evaluasi DS11 Manage Data & proses-prosesnya	Data yang diinput berikut laporan yang dihasilkan oleh aplikasi Accurate selalu akurat dan tepat waktu, dan berperan sebagaimana kebutuhan bisnis perlukan. Seluruh penyimpanan data digital berikut database dari aplikasi Accurate ditempatkan pada 1 komputer server beserta back-up nya diarsip secara terpusat. Akses untuk komputer server diberikan hanya untuk akun para pimpinan atau IT sebagai admin. Inventaris lainnya seperti printer dan komputer karyawan dijaga oleh masing-masing pengguna berdasarkan kesadaran diri dan intuisi individu dan saran dari IT. Perusahaan belum menerapkan prosedur untuk memastikan bahwa perangkat keras yang dibuang atau dipindahkan dengan aman tanpa ada data yang mungkin tersisa atau berpotensi dicuri, karena belum pernah ada pembuangan atau pemindahan perangkat hingga saat ini. Prosedur back-up dan restorasi sistem, aplikasi, data dan dokumentasi sudah ditetapkan. Namun untuk restorasi data, tidak ada pengujian untuk memastikan data benar-benar dapat dipulihkan atau tidak.
Rata-rata level saat ini	2.5
Rekomendasi level	4.0

Pengelolaan data yang efektif memerlukan identifikasi kebutuhan data. Proses pengelolaan data juga mencakup penetapan prosedur yang efektif untuk mengelola media library, backup dan pemulihan data, dan pembuangan media yang tepat. Pengelolaan data yang efektif membantu

memastikan kualitas, ketepatan waktu dan ketersediaan data bisnis. *Domain* ini terbagi menjadi 6 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS11.1 *Business Requirements for Data Management*.
- 2) DS11.2 *Storage and Retention Arrangements*.
- 3) DS11.3 *Media Library Management System*.
- 4) DS11.4 *Disposal*.
- 5) DS11.5 *Backup and Restoration*.
- 6) DS11.6 *Security Requirements for Data Management*.

4.12 DS12 Manage the Physical Environment

Perlindungan untuk peralatan komputer dan personil memerlukan fasilitas fisik yang dirancang dengan baik dan dikelola dengan baik. Proses pengelolaan lingkungan fisik meliputi penentuan persyaratan lokasi fisik, pemilihan fasilitas yang tepat, dan perancangan proses yang efektif untuk memantau faktor lingkungan dan mengelola akses fisik. Pengelolaan lingkungan fisik yang efektif mengurangi gangguan bisnis dari kerusakan peralatan komputer dan personil. *Domain* ini terbagi menjadi 5 *sub-domain* antara lain:

- 1) DS12.1 *Site Selection and Layout*.
- 2) DS12.2 *Physical Security Measures*.
- 3) DS12.3 *Physical Access*.
- 4) DS12.4 *Protection Against Environmental Factors*.
- 5) DS12.5 *Physical Facilities Management*.

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 12. DS12 Manage the Physical Environment

Hasil evaluasi DS12 Manage the Physical Environment & proses-prosesnya	Perusahaan ini terletak didalam mall Mangga Dua Square sehingga risiko terhadap bencana alam dan gangguan dari individu lain dapat dipercaya terminimalisir karena berada dalam naungan situs/gedung yang dibangun oleh Agung Podomoro Group yang mana didalam nya terdapat juga beberapa perusahaan lain serta hotel dan lainnya. Aset fisik dipercaya terjaga dilokasi kantor, seperti gudang-gudang milik perusahaan terletak dekat dan tidak jauh dari lokasi kantor masing-masing dilengkapi dengan pengamanan 3 kunci berbeda. Dengan fasilitas yang disediakan mall, gangguan seperti bencana alam, dll sudah dijamin atas perlindungan dari pengelola mall. PT. Setia Jaya Teknologi hanya dapat membatasi akses kedalam area kantor saja, tidak untuk bangunan.
Rata-rata level saat ini	3.2
Rekomendasi level	3.0

4.13 DS13 Manage Operations

Pengolahan data yang lengkap dan akurat memerlukan pengelolaan prosedur pengolahan data yang efektif dan perawatan perangkat keras yang rajin. Proses ini mencakup penentuan kebijakan dan prosedur operasi untuk pengelolaan yang efektif untuk pemrosesan terjadwal, melindungi keluaran

sensitif, memantau kinerja infrastruktur dan memastikan pemeliharaan perangkat keras yang preventif. Manajemen operasi yang efektif membantu menjaga integritas data dan mengurangi penundaan bisnis dan biaya operasional TI. *Domain* ini terbagi menjadi 5 *sub-domain* antara lain:

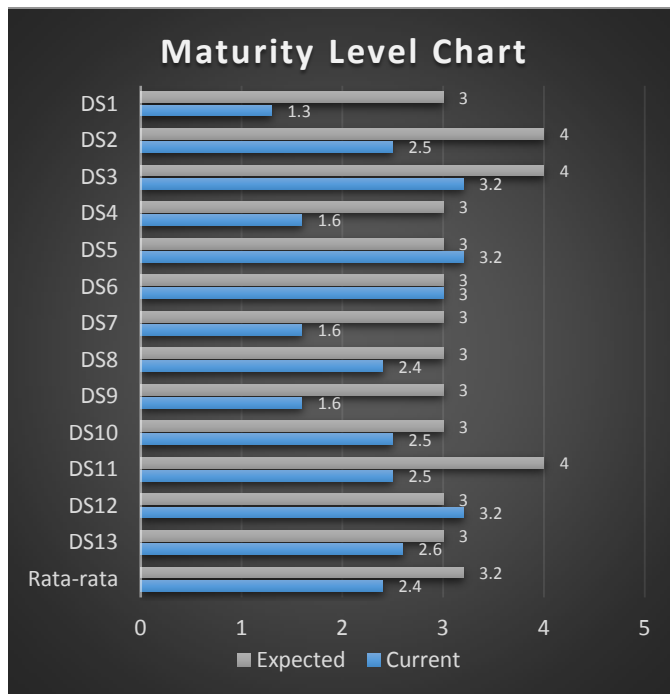
- 1) DS13.1 *Operations Procedures and Instructions*.
- 2) DS13.2 *Job Scheduling*.
- 3) DS13.3 *IT Infrastructure Monitoring*.
- 4) DS13.4 *Sensitive Documents and Output Devices*.
- 5) DS13.5 *Preventive Maintenance for Hardware*.

Hasil evaluasi *maturity level* pada perusahaan dari *domain* ini yang dinilai dari setiap *sub-domain*nya akan disajikan kedalam tabel berikut:

Tabel 13. DS13 Manage Operations

Hasil evaluasi DS13 Manage Operations & proses-prosesnya	Manajemen operasi pada PT. Setia Jaya Teknologi diatur oleh business manager, prosedur kerja dan kebijakan-kebijakan yang akan diberlakukan nantinya dikelola berdasarkan persyaratan yang ada. Penjadwalan pekerjaan diatur oleh pimpinan masing-masing unit atas ijin dari business manager apabila ada penjadwalan baru. Pemantauan infrastruktur TI belum ada prosedur tetap, pimpinan masing-masing unit yang memastikan keadaan perangkat yang digunakan. Kronologis dari peninjauan tidak ada log nya karena hanya dilakukan karena intuisi. Dokumen sensitif disimpan oleh masing-masing karyawan, sehingga untuk meminta dokumen fisik perlu ijin dari yang bersangkutan. Output device seperti printer, mesin fotokopi dll digunakan bersama-sama tidak ada pengkhususan. Perawatan perangkat keras dipercayakan pada setiap penggunanya masing-masing yaitu karyawan kantor, apabila hardware tersebut mengalami kendala, pengguna dapat melapor pada bagian IT untuk perbaikan atau meminta bantuan.
Rata-rata level saat ini	2.6
Rekomendasi level	3.0

Berdasarkan data yang telah disajikan dengan tabel-tabel diatas, agar memudahkan pembaca dalam membandingkan hasil perhitungan rata-rata *Maturity Level*, maka penulis menyajikannya berupa diagram *Clustered Bar*, yang disajikan dengan gambar 3.



Gambar 3 Maturity Level Pada Domain DS

5 Simpulan dan Saran

Adapun kesimpulan dan saran yang dapat penulis sampaikan kepada perusahaan yang di audit yaitu:

5.1. Kesimpulan

Simpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- Sebagai perusahaan yang menjadikan TI dalam hal ini berupa aplikasi *Accurate* sebagai penunjang utama bisnisnya, nilai yang didapat pada domain DS4 yaitu *Ensure Continuous Service* relatif kecil. Kesenambungan TI untuk perusahaan yang menjadikan TI sebagai penunjang bisnisnya seharusnya setidaknya mencapai level 3.
- Tingkat kematangan (*maturity level*) dari setiap proses dari domain *Delivery and Support* (DS) perusahaan pada saat ini rata-rata berada pada level 2.4, sedangkan rata-rata level diharapkan berada pada level 3.2.
- Penilaian terendah yang didapat perusahaan terletak pada domain DS1, DS4, DS7, dan DS9 masih jauh dari harapan, perlu kerja keras untuk memperbaikinya dan memerlukan beberapa pembaharuan.
- Dalam segi keamanan sistem (DS5), perusahaan sudah melampaui ekspektasi dengan nilai rata-rata 3.2, hanya disayangkan belum ada *back-up* yang disimpan secara *offsite*.
- Pengarsipan pada perusahaan ini cukup baik dengan tetap mencatat *stock* barang secara fisik untuk memastikan tidak ada selisih *stock*.

5.2. Saran

Saran yang dapat auditor berikan berdasarkan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

- Membuat dokumentasi yang baik untuk pelaporan ketika ada dan sesudah menuntaskan masalah sehingga memudahkan pencegahan potensi masalah baru yang belum terjadi.
- Buatkan *back-up offsite* untuk meningkatkan lebih baik lagi keamanan data perusahaan, dan lakukan *back-up offsite* secara periodik (e.g setiap bulan).
- Tingkatkan *maturity level* dari domain DS4 dengan melakukan banyak pengujian terhadap penyimpanan dan pemulihan data, pelatihan karyawan terhadap prosedur dan tanggung jawab mereka apabila terjadi bencana.
- Perkuat bagian helpdesk untuk membuat kueri laporan dari pelanggan untuk mempertahankan hubungan bisnis.
- Evaluasi tata kelola TI disarankan untuk dilakukan secara rutin setiap periode waktu tertentu agar tingkat kematangan yang diinginkan dapat tercapai.

Kepustakaan

- [1] Yuliana, H & Triand., *Peranan Program Accurate Accounting Terhadap Efektivitas Pencatatan Laporan Penjualan Kredit*, Jurnal Ilmiah Akuntansi Kesatuan, Vol. 1, No.3, p.234. Bogor, 2013.
- [2] Juliandariini & Handayaningsih, S., *Audit Sistem Informasi Pada Digilib Universitas XYZ Menggunakan Kerangka Kerja COBIT 4.0*, Jurnal Sarjana Teknik Informatika, Vol. 1, No.1, p.277. Yogyakarta, 2013.
- [3] Khaddash, H.A, Nawas, R.A, Ramadan, A., *Factors affecting the quality of Auditing: The Case of Jordanian Commercial Bank*, International Journal of Business and Social Science, Vol. 4, No. 11, p.12-24, 2013.
- [4] Andry, J.F., *Audit Tata Kelola TI Menggunakan Kerangka Kerja COBIT Pada Domain DS dan ME Di Perusahaan Kreavi Informatika Solusindo*, Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi 2016, Yogyakarta, 18-19 Maret 2016.
- [5] Jelvino, Andry, J.F., *Audit Sistem Informasi Absensi pada PT. Bank Central Asia Tbk Menggunakan COBIT 4.1*, Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi, Vol.3, No.2, Agustus 2017.
- [6] Gondodiyoto, Sanyoto., *Audit Sistem Informasi + Pendekatan COBIT*, Jakarta: Mitra Wacana Media, p.444. (2007).
- [7] Surbakti, H., *Managing Control Object For IT (COBIT) Sebagai Standar Framework Pada Proses Pengelolaan IT-Governance Dan Audit Sistem Informasi*, Jurnal Teknologi Informasi, Vol.7, No.19, Maret 2012.
- [8] Rajasa, A., *Predicting the Intention to Re-Use on Accounting Application Software*, The International Journal Of Business & Management, Vol.3, No.8, p.207, August 2015.
- [9] E.Maria & E.Haryani., *Audit Model Development Of*

Academic Information System: Case Study On Academic Information System Of Satya Wacana. Journal of Arts, Science & Commerce, Vol.2, Issue 2, 2011.

- [10] IT Governance Institute., *COBIT 4.1 Framework, Control Objective, Management Guidelines, Maturity Models*, Rolling Meadows, IL 60008 USA: ITGI. (2007).
- [11] Andry, J.F., *Audit Sistem Informasi Sumber Daya Manusia Pada Training Center Di Jakarta Menggunakan Framework COBIT 4.1*, Jurnal Ilmiah FIFO, Vol. 8, No.1, Mei 2016.

Perbedaan Solusi Masalah Instalasi Jaringan Multi Tahap Dalam Proses Koneksi Menggunakan Algoritma Modifikasi Prim dan GNU Octave

Wamiliana*, Warsono, Mas Dafri Maulana

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung
Jl. Soemantri Brojonegoro No. 1, Bandar Lampung
Email: wamiliana.1963@fmipa.unila.ac.id

Abstrak – Desain jaringan merupakan salah satu bidang yang banyak terapannya dalam optimisasi kombinatorik. Masalah Instalasi Jaringan Multi Tahap atau Multiperiod Degree Constrained Minimum Spanning Tree (MPDCMST) merupakan salah satu masalah desain jaringan dimana akan ditentukan biaya minimum untuk menghubungkan titik-titik yang dipertimbangkan pada tahap-tahap tertentu, dan tidak melanggar syarat atau kendala yang diberikan. Kendala yang diberikan adalah interkoneksi pada tiap titik tidak melebihi b , $b =$ integer nonnegatif. Selain itu, ada skala prioritas titik-titik yang harus terhubung pada tahap tertentu. Pada penelitian ini akan didiskusikan proses instalasi/koneksi tiap titik pada masing-masing tahap yang menggunakan Modifikasi Algoritma Prim untuk menyelesaikannya. Ada dua algoritma (WWM1 dan WWM2) yang akan dibandingkan proses instalasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma WWM2 memberikan solusi yang lebih baik dari algoritma WWM1.

Kata kunci: instalasi jaringan multi tahap, Algoritma Prim, koneksi, tahap

1 Pendahuluan

Optimisasi jaringan merupakan masalah yang sangat banyak terapannya dan sangat cepat berkembang saat ini. Dalam optimisasi jaringan, proses desain jaringan itu sendiri memegang peranan yang penting. Sebagai contoh, jika suatu perusahaan ingin membangun suatu jaringan, katakanlah jaringan air bersih di suatu kota, maka yang akan dilakukan adalah memetakan dulu topografi dari kota tersebut dan menyatakan/merepresentasikan tempat-tempat yang akan dihubungkan dengan noktah-noktah atau titik-titik untuk dianalisis sebelum proses instalasi yang sebenarnya dilakukan. Proses merepresentasikan tempat-tempat tersebut menjadi titik-titik dan kemudian dianalisis merupakan salah satu bagian dari desain jaringan.

Masalah Instalasi Jaringan Multi Tahap atau yang dikenal juga dengan *Multi Period Degree Constrained Minimum Spanning Tree* (MPDCMST) merupakan masalah yang menggunakan *Minimum Spanning Tree* (MST) sebagai *backbone* dari permasalahan. Diberikan suatu graf $G(V,E)$ $V=\{1,2,3,...,n\}$ adalah himpunan titik dan E adalah himpunan garis yang menghubungkan titik-titik di V , dan tiap garisnya diberi bobot positif, maka MST adalah suatu *spanning tree* T dari G yang bobotnya paling kecil (*minimum*). *Spanning Tree* T adalah *tree* yang memuat semua titik dari G , dan *tree* adalah

graf yang terhubung dan tidak memuat sirkuit. Untuk menyelesaikan MST terdapat dua algoritma yang terkenal yaitu Algoritma Kruskal[1] dan Algoritma Prim [2]. MST yang diberikan kendala pada setiap titiknya disebut dengan *Degree Constrained Minimum Spanning Tree* (DCMST), dan DCMST yang ditambahkan kendala periode pada waktu proses instalasi/koneksi titik-titik pada jaringan disebut dengan MPDCMST.

2 Landasan Teori

DCMST merupakan masalah yang banyak muncul pada proses desain jaringan dimana *degree* (derajat) atau banyaknya garis yang menempel pada suatu titik merepresentasikan jumlah *link* yang diperbolehkan pada titik tersebut. Sebagai contoh, sewaktu mendesain jaringan air bersih PDAM, maka kendala *degree* tersebut membatasi banyaknya pipa distribusi yang dapat dihubungkan pada satu titik di pipa transmisi; untuk di jaringan transportasi kendala *degree* tersebut membatasi banyaknya jalan yang terhubung pada satu titik persimpangan, dan lain-lain.

Banyak sekali penelitian yang telah dilakukan berhubungan dengan masalah DCMST ini, dan karena DCMST masuk dalam kategori kelas *NP-Complete*, maka

pada umumnya para peneliti lebih tertarik untuk mengembangkan metode heuristik karena walaupun metode heuristik tidak menjamin nilai optimal dari suatu solusi, tetapi umumnya solusi yang dihasilkan ‘*nearly optimal*’, atau bahkan optimal, dengan waktu proses yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode eksak. Beberapa metode heuristik yang telah dikembangkan untuk DCMST ini antara lain: Algoritma greedy yang didasari dari algoritma Prim’s dan Kruskal’s algorithm untuk menyelesaikan MST dengan melakukan beberapa modifikasi pada algoritma tersebut [3], Algoritma Genetika [4], Metode Iterative Refinement [5], Modified Penalty [6], dan Tabu Search [7-9].

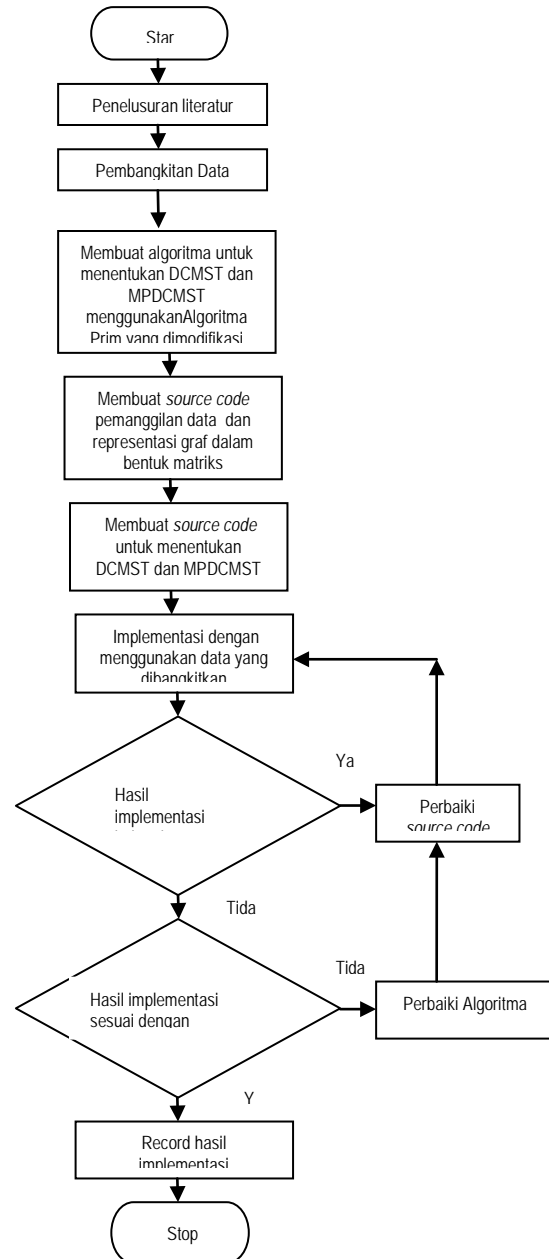
Jika diberikan titik-titik (yang dapat mewakili kota/terminal/stasiun/bandara, dan lain-lain), maka untuk menghubungkan semua titik-titik tersebut diperlukan proses dan waktu untuk menyelesaikannya. Waktu penyelesaian untuk menghubungkan titik-titik tersebut sangat tergantung kepada keperluan dan prioritas keterhubungan titik-titik itu sendiri. Instalasi Jaringan Multi Tahap atau *Multi Period Degree Constrained Minimum Spanning Tree* (MPDCMST) merupakan salah satu masalah jaringan yang sering dihadapi dalam kehidupan nyata, misalnya instalasi jaringan listrik, telekomunikasi, komputer, dan sebagainya. Tetapi, proses tersebut memerlukan beberapa tahap agar seluruh titik dalam jaringan terhubung karena beberapa kendala, antara lain keterbatasan dana. Sehingga, proses instalasi harus dilakukan dalam beberapa tahap. Sebagai contoh, untuk membangun suatu jaringan air bersih, prioritas untuk dihubungkan mungkin diberikan kepada fasilitas-fasilitas publik yang penting seperti rumah sakit, puskesmas, dan lain-lain. Selain itu, perlu juga diperhatikan banyaknya pipa-pipa yang saling bertemu disatu titik, baik pada pipa distribusi maupun pada pipa transmisi.

Kawatra pada tahun 2002 pertama kali menginvestigasi masalah ini dan menyelesaikannya menggunakan metode hibrid relaksasi Lagrange dan *branch exchange*, menggunakan asumsi 10 tahun planning horizon dan menyelesaikan problem dengan orde graf 40 sampai 100; akan tetapi, dari solusi yang didapat sebagian tidak layak (*infeasible*) [10].

Selanjutnya Wamiliana dkk. pada 2010 mengembangkan algoritma WADR1 dan WADR2 untuk menyelesaikan MPDCMST dengan menggunakan hybrid Modifikasi Kruskal dan teknik *Depth First Search* dengan kedalaman node (k) adalah 2 [11]. Tahun 2013 Wamiliana dkk. mengenalkan metode WADR3 yang dikembangkan dari metode WADR1 dan WADR2 dengan $\leq k \leq 3$ [12]. Analisis komparative berbagai metode yang dikembangkan diberikan oleh Wamiliana dkk. pada tahun 2015 [13], dan pada [14] detail proses hybrid metode Kruskal dengan Teknik *Depth First Search* (DFS) diberikan.

3 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian ini dapat digambarkan dalam diagram alir berikut :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pada Penelitian ini dikembangkan dua algoritma yaitu Algoritma WWM1 dan WWM2. Kedua algoritma ini dikembangkan dengan menggunakan Algoritma Prim yang dimodifikasi dan proses pengkodean atau pembuatan source code dilakukan dengan menggunakan program paket tidak berbayar GNU Octave. GNU Octave adalah suatu software yang dapat dijalankan pada sistem operasi berbasis

GNU/Linux, macOS, ataupun windows, dan siapapun dapat bebas untuk menggunakan, mengembangkan ataupun mendistribusikannya.

4 Hasil dan Pembahasan

4. 1. Data yang digunakan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang diambil dari penelitian yang telah dilakukan pada [11]. Data tersebut merupakan data yang dibangkitkan secara acak dengan menggunakan distribusi *uniform*.

4. 2. Penentuan HVT_k dan $MaxVT_k$

Untuk implementasi *source code* dalam menentukan solusi MPDCMST diperlukan data tentang HVT_k dan $MAXVT_k$. HVT_k adalah himpunan yang memuat semua titik yang harus sudah dinstal/dihubungkan ke jaringan sewaktu periode ke k selesai dilakukan, dan $MAXVT_k$ adalah maksimum titik yang dapat dihubungkan/diinstal ke jaringan pada periode ke k . Data tabel HVT_k berikut diambil dari [14]:

Tabel 1. Elemen HVT_k untuk setiap periode

n	HVT1	HVT2	HVT3
10	2	3	4
20	2	3	4
30	2,3	4,5	6,7
40	2,3,4	5,6,7	8,9,10
50	2,3,4,5	6,7,8,9	10,11,12,13
60	2,3,4,5,6	7,8,9,10,11	12,13,14,15
70	2,3,4,5,6,7	8,9,10,11,12,13	14,15,16,17,18,19
80	2,3,4,5,6,7,8	9,10,11,12,13,14,15	16,17,18,19,20,21,22
90	2,3,4,5,6,7,8	9,10,11,12,13,14,15	16,17,18,19,20,21,22
100	2,3,4,5,6,7,8,9	10,11,12,13,14,15,16,17	18,19,20,21,22,23,24,25

Untuk $MaxVT_k$ digunakan formula yang diambil dari [12] sebagai berikut:

$$MaxVT_k = \left\lceil \frac{(n-1)}{3} \right\rceil \quad (1)$$

4. 3. Algoritma WWM1

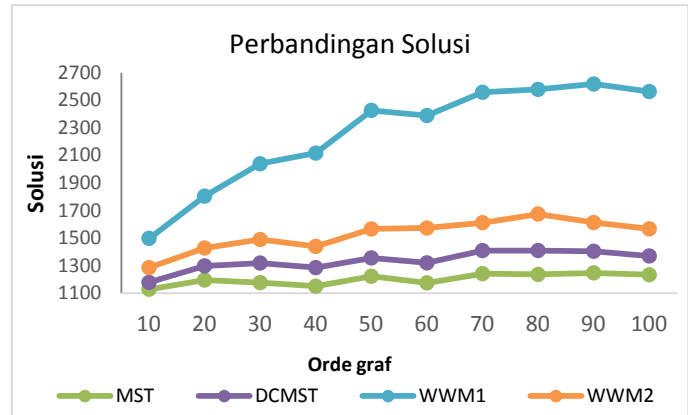
Algoritma WWM1 dimulai dengan memilih titik 1 sebagai *root* dan kemudian mencari titik dalam himpunan HVT_k yang memiliki bobot terkecil dengan V , dengan syarat titik yang baru terhubung tidak melanggar kendala *degree* dan tidak menyebabkan terbentuknya *circuit*. Kemudian tambahkan titik terpilih ke V dan garis terpilih ke T . Proses ini dilakukan terus menerus sampai semua titik di HVT_k telah tersambung/terinstal ke jaringan (T) dan dilanjutkan dengan mengecek $MaxVT_k$. Jika $MaxVT_k$ lebih besar dari kardinalitas

HVT_k maka tentukan garis terpendek yang dapat dihubungkan ke T dengan syarat proses tersebut tidak menyebabkan terjadinya sirkuit dan tidak melanggar kendala *degree*. Proses tersebut dilakukan terus menerus sampai jumlah titik yang disambungkan ke jaringan sama dengan selisih dari $MAXVT_k$ dengan kardinalitas HVT_k pada periode k , $k=1$. Untuk periode 2 dan 3 proses yang dilakukan sama dengan proses di periode 1 dengan anggota himpunan di HVT_k yang berbeda.

4. 4. Algoritma WWM2

Algoritma WWM2 secara prinsip mirip dengan algoritma WWM1, yang membedakan kedua algoritma tersebut adalah dalam proses instalasi titik-titik di HVT_k . Pada WWM1 proses dilakukan pada awal periode, sedangkan pada WWM2 proses dilakukan masih dalam periode tersebut akan tetapi proses instalasinya tidak harus dilakukan diawal periode.

Dari hasil implementasi terhadap 300 data didapat grafik sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik perbandingan solusi terhadap orde graf

5 Simpulan

Dari hasil dan pembahasan tersebut dapat disimpulkan bahwa algoritma WWM2 lebih baik dari algoritma WWM1. Hal ini berarti bahwa dalam proses instalasi, pada periode ke k , sebaiknya titik-titik yang harus dihubungkan pada periode tersebut tidak harus dihubungkan segera pada awal periode tersebut dimulai, akan tetapi dapat dilakukan kapan saja asal masih pada periode k tersebut.

Kepustakaan

- [1] Kruskal, J.B. *On the Shortest Spanning Tree of a Graph and the Travelling Salesman Problem*, Proc. Amer. Math. Soc. , vol. 7 : p. 48-50, 1956.
- [2] Prim, R.C. *Shortest Connection Networks and Some Generalizations*. Bell Syst. Tech Journal, vol.36 p: 1389-1401, 1957.
- [3] Narula,S.C., and Cesar A.Ho, "Degree-Constrained Minimum Spanning Tree", *Computer and Operation Research*. Vol. 7; pp. 239-249, 1980

- [4] Zhou, G. and Mitsuo Gen, "A Note on Genetics Algorithms for Degree- Constrained Spanning Tree Problems", *Networks*, Vol. 30: p.91 – 95, 1997.
- [5] Deo N. and Nishit Kumar, *Computation of Constrained Spanning Trees: A Unified Approach. Network Optimization* (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Editor : Panos M. Pardalos, et al. ,Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 194 – 220., 1997.
- [6] Wamiliana, " Solving the Degree Constrained Minimum Spanning Tree Using Tabu and Penalty Method", *Jurnal Teknik Industri*: p.1-9, 2004.
- [7] Caccetta L. and Wamiliana, Heuristics Algorithms for the Degree Constrained Minimum Spanning Tree Problems, Proceeding of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM), Canberra, Editors: F. Ghassemi et.al; p. 2161-2166, 2001.
- [8] Wamiliana and Caccetta, Tabu search Based Heuristics for the Degree Constrained Minimum Spanning Tree Problem, Proceeding of South East Asia Mathematical Society, p. 133-140, 2003
- [9] Wamiliana and L. Caccetta, The Modified CW1 Algorithm for The Degree Restricted Minimum Spanning Tree Problem, Proceeding of International Conference on Engineering and Technology Development, Bandarlampung 20-21 June. 2012; p. 36-39
- [10] Kawatra R. "A multi period degree constrained Minimum Spanning Tree Problem", *European Journal of Operational Research*, Vol **143**, pp. 53 – 63 , 2002.
- [11] Wamiliana, Dwi Sakethi, and Restu Yuniarti, Computational Aspect of WADR1 and WADR2 Algorithms for The Multi Period Degree Constrained Minimum Spanning Tree Problem, Proceeding SNMAP, Bandar lampung 8 – 9 December 2010. p. 208 – 214
- [12] Wamiliana, Amanto, and Mustofa Usman, Comparative Analysis for The Multi Period Degree Constrained Minimum Spanning Tree Problem, Proceeding The International Conference on Engineering and Technology Development (ICETD), pp. 39 – 43, 2013.
- [13] Wamiliana, Faiz A.M. Elfaki, Mustofa Usman, and M. Azram, "Some Greedy Based Algorithms for Multi Periods Degree Constrained Minimum Spanning Tree Problem", *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2015; Vol. 10 (21): pp.10147 – 10152, 2015.
- [14] Wamiliana, Mustofa Usman, Dwi Sakethi, Restu Yuniarti, and Ahmad Cucus, "The Hybrid of Depth First Search Technique and Kruskal's Algorithm for Solving The Multiperiod Degree Constrained Minimum Spanning Tree Problem", The 4th International Conference on Interactive Digital Media (ICIDM). IEEE Explore, Dec 2015.

Perbandingan *Mean Squared Error* (MSE) Metode Prasad-Rao dan Jiang-Lahiri-Wan Pada Pendugaan Area Kecil

Widiarti^{1*}, Rifa Rahma Pertiwi², & Agus Sutrisno³

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung
Jl. Soemarti Brojonegoro No.1 Rajabasa, Bandar Lampung 35141
E-mail: widiarti08@gmail.com

Abstrak – Metode *Empirical Best Linear Unbiased Prediction* (EBLUP) merupakan salah satu metode pendugaan area kecil yang digunakan pada data kontinu dengan mensubstitusikan komponen ragam yang tidak diketahui ke dalam penduga BLUP. Keakuratan penduga salah satunya dapat diperoleh dengan cara mengukur *Mean Squared Error* (MSE). Beberapa metode telah dikembangkan dalam pendugaan MSE EBLUP. Prasad dan Rao (1990) mengembangkan penduga bagi MSE dengan menggunakan ekspansi deret Taylor. Jiang-Lahiri-Wan (2002) mengembangkan penduga bagi MSE dengan menggunakan metode *Jackknife*. Dalam penelitian ini pendugaan MSE bagi EBLUP dilakukan dengan kedua metode tersebut. Pendugaan MSE dilakukan secara empiris melalui data simulasi yang berdistribusi Normal dengan bantuan *software R 3.3.3*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode pendugaan MSE EBLUP dengan metode Jiang-Lahiri-Wan relatif lebih baik karena menghasilkan nilai yang lebih kecil dibanding MSE Prasad dan Rao dan besarnya nilai ragam pengaruh acak menyebabkan nilai MSE yang dihasilkan semakin besar.

Kata kunci: *Pendugaan Area Kecil; Empirical Best Linear Unbiased Prediction (EBLUP); Mean Squared Error (MSE)*

1 Pendahuluan

Suatu area disebut kecil apabila contoh yang diambil pada area tersebut tidak mencukupi untuk melakukan pendugaan langsung dengan hasil yang akurat. Pendekatan klasik untuk menduga parameter area kecil didasarkan pada aplikasi model desain penarikan sampel (*design-based*) yang dikenal sebagai pendugaan langsung (*direct estimation*). Dalam konteks survei, penduga dikatakan langsung apabila pendugaan terhadap parameter populasi di suatu area hanya didasarkan pada data sampel yang diperoleh dari area tersebut. Pendugaan langsung pada suatu area kecil merupakan penduga tak bias tetapi memiliki ragam yang besar karena diperoleh dari ukuran sampel yang kecil [1].

Pendugaan tidak langsung (*indirect estimation*) merupakan salah satu upaya untuk menekan ragam yang besar pada area kecil yaitu dengan memanfaatkan informasi dari area sekitarnya yang berhubungan dengan

parameter yang diamati. Pendugaan tidak langsung tersebut dikenal sebagai pendugaan area kecil atau lebih dikenal dengan *Small Area Estimation* (SAE). Berbagai metode pendugaan area kecil (*small area estimation*) telah dikembangkan khususnya menyangkut metode yang berbasis model (*model-based estimator*). Beberapa metode yang tergolong dalam metode berbasis model adalah metode *Empirical Bayes* (EB), *Hierarchical Bayes* (HB), dan *Empirical Best Linear Unbiased Prediction* (EBLUP). Metode EB dan HB digunakan untuk data biner atau cacahan sedangkan metode EBLUP digunakan pada data kontinu.

Metode EBLUP merupakan perluasan dari metode BLUP. Pada metode BLUP diasumsikan komponen ragam dari pengaruh acak diketahui. Namun dalam kenyataannya, komponen ragam sulit untuk diketahui

sehingga diperlukan pendugaan terhadap komponen ragam melalui data sampel. Metode EBLUP mensubstitusikan komponen ragam yang tidak diketahui ke dalam penduga BLUP.

Keakuratan penduga dapat diperoleh dengan cara mengukur *mean squared error*-nya. Semakin kecil *mean squared error* suatu penduga maka penduga semakin akurat. Beberapa metode telah dikembangkan dalam pendugaan MSE ($\hat{\theta}^{EBLUP}$). Prasad dan Rao (1990) [2] mengembangkan penduga bagi MSE ($\hat{\theta}^{EBLUP}$) dengan menggunakan ekspansi deret Taylor. Jiang-Lahiri-Wan (2002) [3] mengembangkan penduga bagi MSE ($\hat{\theta}^{EBLUP}$) dengan menggunakan metode *jackknife*. *Jackknife* merupakan suatu teknik *resampling* yang secara khusus digunakan untuk menentukan ragam dan bias dugaan. Prinsip metode *Jackknife* adalah dengan cara menghilangkan satu buah data dan mengulanginya sebanyak jumlah yang ada. Pada penelitian ini penulis tertarik untuk membandingkan nilai dugaan MSE pada penduga EBLUP menggunakan metode yang dikembangkan Prasad dan Rao dengan metode yang dikembangkan Jiang-Lahiri-Wan dengan mengikutsertakan peubah penyerta. Dalam penelitian ini juga akan dikaji apakah ada pengaruh besarnya ragam pengaruh acak atau ragam area terhadap besarnya MSE. Perbandingan dilakukan secara empiris melalui data simulasi dengan bantuan *software R 3.3.3* dengan sebaran data berdistribusi normal.

2 Landasan Teori

Model area kecil merupakan model dasar dalam pendugaan area kecil. Dalam pendugaan area kecil terdapat dua jenis model dasar yang digunakan [1] yaitu :

2. 1. Basic Area Level (Type A) Model

Basic Area Level Model atau dapat disebut sebagai model berbasis area merupakan model yang didasarkan pada ketersediaan data pendukung yang hanya ada untuk level area tertentu, yaitu $\mathbf{x}_i^T = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{pi})$. Parameter *small area* yang ingin diamati adalah θ_i . Parameter *small area* ini berhubungan linear dengan \mathbf{x}_i^T mengikuti model linear berikut :

$$\theta_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta} + b_i v_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

dengan $v_i \sim N(0, A)$ sebagai pengaruh acak yang diasumsikan menyebar normal, sedangkan b_i merupakan konstanta positif yang diketahui dan $\boldsymbol{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_p)^T$ adalah vektor koefisien regresi berukuran $p \times 1$. Kesimpulan mengenai θ_i dapat diketahui dengan mengasumsikan bahwa model penduga langsung y_i telah tersedia, yaitu :

$$y_i = \theta_i + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

dengan *sampling error* $e_i \sim N(0, D_i)$ dan D_i diketahui. Dari kombinasi persamaan (2.1) dan (2.2) didapatkan model gabungan :

$$y_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta} + b_i v_i + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

dengan asumsi v_i dan e_i saling bebas. Rao (2003) [1] menyatakan bahwa model tersebut merupakan bentuk khusus dari model linear campuran.

2. 2. Basic Unit Level (Type A) Model

Basic Unit Level Model atau model berbasis unit merupakan suatu model dimana data pendukung yang tersedia bersesuaian secara individu dengan data respon, misal $\mathbf{x}_{ij} = (x_{ij1}, \dots, x_{ijp})^T$ artinya untuk masing-masing anggota populasi j dalam masing-masing area kecil i , namun terkadang cukup dengan rata-rata populasi \bar{X}_i diketahui saja.

Model yang digunakan pada penelitian ini adalah model Fay-Herriot. Model ini diperkenalkan oleh Fay dan Herriot (1979) [4] sebagai model dasar untuk menaksir pendapatan per kapita pada *small area* (dengan populasi yang kurang dari 1.000 jiwa penduduk) di Amerika Serikat menggunakan model dua level berikut :

$$\text{Level 1 : } y_i | \theta_i \sim N(\theta_i, D_i)$$

$$\text{Level 2 : } \theta_i \sim N(\mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}, A)$$

Model dua level diatas dapat dituliskan sebagai model linear campuran :

$$y_i = \theta_i + e_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta} + v_i + e_i, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

Model Fay-Herriot ini merupakan kasus model area level seperti pada persamaan (3) dengan $b_i = 1$, dimana :

y_i : nilai pendugaan langsung berdasarkan rancangan survei

\mathbf{x}_i : vektor variabel pendukung yang elemen-elemennya diketahui

$\boldsymbol{\beta}$: vektor parameter berukuran $p \times 1$

v_i : pengaruh acak area kecil dengan asumsi $v_i \sim N(0, A)$

e_i : *sampling error* yang tidak terobservasi dengan asumsi $e_i \sim N(0, D_i)$

Menurut Rao (2003) [1] penduga BLUP yang terbentuk bagi $\theta_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta} + v_i$ adalah :

$$\hat{\theta}_i^{BLUP} = \mathbf{x}_i^T \tilde{\boldsymbol{\beta}} + \hat{v}_i = \mathbf{x}_i^T \tilde{\boldsymbol{\beta}} + \gamma_i (y_i - \mathbf{x}_i^T \tilde{\boldsymbol{\beta}}) \quad (5)$$

dengan

$$\gamma_i = \frac{A}{A + D_i}$$

$\tilde{\boldsymbol{\beta}}$ dapat diperoleh dengan metode *generalized least square* sehingga diperoleh

$$\tilde{\beta} = (X^T V^{-1} X)^{-1} X^T V^{-1} y$$

3

dimana $X = x_i^T$, $V = D_i + A$

Penduga BLUP pada persamaan (2) masih bergantung pada komponen ragam A yang pada prakteknya tidak diketahui nilainya, sehingga harus ditaksir dari data. Dengan mensubstitusi \hat{A} ke A pada persamaan (2) diperoleh penduga EBLUP bagi $\theta_i = x_i^T \beta + v_i$ sebagai berikut :

$$\hat{\theta}_i^{EBLUP} = x_i^T \hat{\beta} + \hat{\gamma}_i (y_i - x_i^T \hat{\beta}) \quad (6)$$

dengan

$$\hat{\gamma}_i = \frac{\hat{A}}{\hat{A} + D_i}, \quad \text{untuk } i = 1, 2, \dots, m.$$

dan

$$\hat{\beta} = \left(\sum_{i=1}^m \frac{x_i x_i^T}{(D_i + \hat{A})} \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^m \frac{x_i y_i}{(D_i + \hat{A})} \right) \quad (7)$$

Dimana $\hat{\gamma}_i$ dan $\hat{\beta}$ merupakan nilai γ_i dan β saat A disubstitusikan dengan nilai dugaannya \hat{A} .

Menurut Wan (1999) [5] nilai \hat{A} tersebut dapat diperoleh dengan metode *moment* yaitu $\hat{A} = \max(0, \hat{A})$

Dimana

$$\hat{A} = \frac{1}{m-p} \sum_{i=1}^m \left[(y_i - x_i^T \hat{\beta}_{OLS})^2 - D_i(1 - h_i) \right] \quad (8)$$

5

Dengan

$$h_i = x_i^T \left(\sum_{i=1}^m x_i x_i^T \right)^{-1} x_i$$

Dan

$$\hat{\beta}_{OLS} = \left(\sum_{i=1}^m x_i x_i^T \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^m x_i y_i \right)$$

2. 3. Mean Squared Error EBLUP

Prasad dan Rao (1990) [2] menggunakan ekspansi deret Taylor untuk menduga *mean squared error* EBLUP sehingga diperoleh sebagai berikut:

$$MSE^{PR}(\hat{\theta}_i^{EBLUP}) = g1i(\hat{A}) + g2i(\hat{A}) + 2g3i(\hat{A}) \quad (9)$$

Dengan

$$g1i(\hat{A}) = \frac{\hat{A} D_i}{\hat{A} + D_i},$$

$$g2i(\hat{A}) = \left(1 - \frac{\hat{A}}{\hat{A} + D_i} \right)^2 x_i^T \left(\frac{\hat{A} + D_i}{x_i x_i^T} \right) x_i,$$

$$g3i(\hat{A}) = \frac{2D_i^2}{m(\hat{A} + D_i)}$$

Sementara Jiang-Lahiri-Wan (2002) [3] menggunakan konsep *jackknife* untuk mengoreksi bias dugaannya sehingga diperoleh sebagai berikut:

$$MSE^{JLW}(\hat{\theta}_i^{EBLUP}) = g1i(\hat{A}) - \frac{m-1}{m} \sum_{u=1}^m \left(g1i(\hat{A}_{-u}) - g1i(\hat{A}) \right) + \frac{m-1}{m} \sum_{u=1}^m \left(\hat{\theta}(y_i; \hat{A}_{-u}) - \hat{\theta}(y_i; \hat{A}) \right)^2 \quad (10)$$

Dimana

$$\hat{\theta}(y_i; \hat{A}) = \hat{\theta}_i^{EBLUP} = x_i^T \hat{\beta} + \frac{\hat{A}}{\hat{A} + D_i} (y_i - x_i^T \hat{\beta})$$

$$\hat{\theta}(y_i; \hat{A}_{-u}) = x_i^T \hat{\beta}_{-u} + \frac{\hat{A}_{-u}}{\hat{A}_{-u} + D_i} (y_i - x_i^T \hat{\beta}_{-u})$$

6

$$g1i(\hat{A}) = \frac{\hat{A} D_i}{\hat{A} + D_i}$$

$$g1i(\hat{A}_{-u}) = \frac{\hat{A}_{-u} D_i}{\hat{A}_{-u} + D_i}$$

\hat{A}_{-u} dan $\hat{\beta}_{-u}$ merupakan penduga \hat{A} dan $\hat{\beta}$ setelah menghapus data area ke- u .

Sehingga pada $MSE^{JLW}(\hat{\theta}_i^{EBLUP})$ ini, untuk mendapatkan nilai $\hat{\theta}(y_i; \hat{A}_{-u})$ harus dilakukan pendugaan ulang terhadap \hat{A}_{-u} dan $\hat{\beta}_{-u}$ untuk setiap area ke- u yang dihapus sejumlah banyaknya area.

3 Metodologi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa data simulasi dengan bantuan *software R 3.3.3* dan sebaran data berdistribusi normal. Pada kajian ini penulis menetapkan nilai A dan D_i serta banyaknya area m berdasarkan penelitian sebelumnya dimana Jiang, Lahiri dan Wan (2002) [3] dalam Rao (2003) [1] menetapkan nilai $D_i = 1$ dan banyaknya area $m = 30, 60$ dan 90 . Untuk melihat apakah ada pengaruh besarnya ragam pengaruh acak atau ragam area terhadap perolehan hasil MSE digunakan tiga nilai A yang berbeda yaitu $A = 1, 5$ dan 10 . Metode pendugaan MSE yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *mean squared error* Prasad dan Rao (1990) [2] yang dikembangkan dengan aproksimasi deret Taylor serta Jiang-Lahiri-Wan (2002) [3] dengan konsep *jackknife*.

Simulasi pada software R

1. Membangkitkan peubah acak x_i sebagai peubah penyerta bagi variabel respon y_i , digunakan empat peubah penyerta sebagai berikut :

$$x_1 \sim N(1480, 387158)$$

$$x_2 \sim N(721.8, 69525.7) \quad x_3 \sim N(14691, 53264948)$$

$$x_4 \sim N(20.76, 40.69)$$

Nilai tengah dan ragam masing masing variabel x tersebut diambil dari nilai tengah dan ragam variabel penyerta yang memengaruhi pengeluaran per kapita setiap kecamatan di Kabupaten Brebes tahun 2013 dimana pada penelitian sebelumnya Ningtyas *et al* (2015) [6] menggunakan data jumlah kelahiran penduduk (x_1), jumlah kematian penduduk (x_2), jumlah penduduk yang memiliki kendaraan roda 2 (x_3) dan jumlah sarana kesehatan (puskesmas, poliklinik kesehatan desa, balai pengobatan, rumah sakit khusus, rumah bersalin dan rumah sakit umum) (x_4). Masing masing dibangkitkan sejumlah banyaknya area yaitu 30, 60 dan 90.

2. Membangkitkan data $e_i = (e_1, e_2, \dots, e_m)$ sebagai *sampling error* dengan $e_i \sim N(0,1)$
3. Menetapkan nilai β , pada penelitian ini digunakan empat nilai β yaitu -0.000380, 0.001278, 0.000122, -0.022920 yang diperoleh dari penelitian sebelumnya oleh Ningtyas *et al* (2015) [6] menggunakan data pengeluaran per kapita setiap kecamatan di Kabupaten Brebes tahun 2013.
4. Membangkitkan data $\theta_i \sim N(x_i^T \beta, A)$ sejumlah banyaknya area yaitu 30, 60 dan 90 juga untuk masing-masing nilai $A=1, 5$ dan 10 .
5. Memperoleh data y_i sebagai nilai pendugaan langsung dimana $y_i = \theta_i + e_i$
6. Menghitung nilai dugaan ragam pengaruh acak (\hat{A})
7. Menghitung nilai dugaan *mean squared error* Prasad dan Rao (1990) [2] $MSE^{PR}(\hat{\theta}_i^{EBLUP})$ dengan mensubstitusikan hasil dugaan ragam pengaruh acak (\hat{A}) (langkah 6) ke persamaan (9). Kemudian menghitung rata-rata MSE Prasad dan Rao untuk setiap area ($m=30, 60$ dan 90) dan ragam pengaruh acak yang berbeda ($A=1, 5$ dan 10).
8. Menghitung nilai dugaan *mean squared error* Jiang-Lahiri-Wan (2002) [3] $MSE^{JLW}(\hat{\theta}_i^{EBLUP})$ dengan persamaan (10) dengan langkah sebagai berikut :
 - a. Menghitung $\hat{\beta}$ dengan persamaan (7)
 - b. Menghitung $\hat{\theta}(y_i; \hat{A}) = \hat{\theta}_i^{EBLUP}$ dengan mensubstitusikan hasil \hat{A} dan $\hat{\beta}$ pada langkah (6) dan (8.a) ke persamaan (6)
 - c. Menghitung nilai dugaan ragam pengaruh acak untuk setiap area ke- u yang dihapus (\hat{A}_{-u})
 - d. Menghitung $\hat{\beta}$ untuk setiap area ke- u yang dihapus ($\hat{\beta}_{-u}$)
 - e. Menghitung $\hat{\theta}(y_i; \hat{A}_{-u})$ dengan mensubsstitusikan hasil \hat{A}_{-u} dan $\hat{\beta}_{-u}$
 - f. Mensubstitusikan hasil \hat{A} , \hat{A}_{-u} , $\hat{\theta}(y_i; \hat{A})$ dan $\hat{\theta}(y_i; \hat{A}_{-u})$ ke persamaan (10) sehingga diperoleh hasil dugaan *mean squared error* Jiang-Lahiri-Wan $MSE^{JLW}(\hat{\theta}_i^{EBLUP})$ kemudian menghitung rata-rata MSE untuk setiap area ($m=30, 60$ dan 90) dan

ragam pengaruh acak yang berbeda ($A=1, 5$ dan 10).

9. Membandingkan hasil (7) dan (8)

4 Hasil dan Pembahasan

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, bahwa untuk membandingkan nilai MSE Prasad dan Rao dengan MSE Jiang-Lahiri-Wan, penulis menggunakan data simulasi yang dibangkitkan dengan *software R* dengan sebaran data berdistribusi normal.

Nilai MSE Prasad dan Rao, diperoleh dengan terlebih dahulu mencari nilai dugaan bagi ragam pengaruh acak (\hat{A}). Sementara MSE Jiang-Lahiri-Wan tergolong lebih rumit, karena setelah didapatkan nilai dugaan bagi ragam pengaruh acak (\hat{A}) selanjutnya menghitung $\hat{\beta}$ dan mensubstitusikan nya ke $\hat{\theta}(y_i; \hat{A}) = \hat{\theta}_i^{EBLUP}$. Setelah itu dihitung nilai \hat{A}_{-u} dan $\hat{\beta}_{-u}$ yaitu nilai \hat{A} dan $\hat{\beta}$ untuk setiap area ke- u yang dihapus untuk mendapatkan nilai $\hat{\theta}(y_i; \hat{A}_{-u})$. Hasil tersebut kemudian disubstitusikan ke persamaan (10) sehingga diperoleh MSE Jiang-Lahiri-Wan.

Setelah diperoleh nilai MSE untuk masing-masing jumlah area ($m=30, 60$, dan 90) dan ragam pengaruh acak atau ragam area ($A=1, 5$, dan 10) kemudian dihitung rata-rata nilai MSE kedua metode tersebut. Hasil rata-rata MSE tersaji pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1 Rata - rata Perolehan MSE Prasad-Rao dan Jiang-Lahiri-Wan

Area (m)	Rata-Rata MSE					
	A=1		A=5		A=10	
	PR	JLW	PR	JLW	PR	JLW
30	0,9151977	0,7295627	4,871824	0,9872269	15,93285	0,9968345
60	0,6435772	0,5298622	2,564093	0,963263	7,076253	0,9903925
90	0,6250407	0,5681524	2,348756	0,9713256	6,507008	0,9927885

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa untuk masing-masing jumlah area (m) dan ragam pengaruh acak (A), MSE dengan metode Jiang-Lahiri-Wan menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan Prasad-Rao. Selain itu terlihat pula bahwa semakin banyak jumlah area rata-rata nilai MSE yang dihasilkan dari kedua metode tersebut pun relatif semakin kecil.

Rata-rata MSE yang diperoleh baik dengan metode Prasad-Rao maupun Jiang-Lahiri-Wan untuk masing-masing nilai ragam pengaruh acak atau ragam area (A) menghasilkan nilai yang semakin besar. Ini menunjukkan bahwa nilai ragam pengaruh acak atau ragam area berpengaruh terhadap perolehan MSE, dimana semakin besar nilai ragam pengaruh acak maka semakin besar pula nilai MSE yang dihasilkan.

5 Simpulan dan Saran

Berdasarkan uraian sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa metode pendugaan *mean squared error* EBLUP dengan metode Jiang-Lahiri-Wan lebih baik karena menghasilkan nilai yang lebih kecil dibandingkan MSE Prasad dan Rao. Semakin besar jumlah area (m) maka nilai MSE EBLUP dengan kedua metode relatif semakin kecil. Sebaliknya, semakin besar nilai ragam area (A) maka nilai MSE menjadi semakin besar.

Kepustakaan

- [1] Rao, J.N.K. 2003. *Small Area Estimation*. John Willey and Sons, Inc., New York.
- [2] Prasad, N.G.N., and Rao, J.N.K. 1990. The Estimation of Mean Squared Errors of Small Area. Estimators. *Journal of the American Statistical Association* . 85, 163-171.
- [3] Jiang, J., Lahiri, P., and Wan, S. 2002. A Unified Jackknife Method. *Annals of Statistics*. 30, 1782-1810.
- [4] Fay, R.E., and Herriot, R.A. 1979. Estimates of Income for Small Places: an Application of James-Stein Procedure to Census Data. *Journal of American Statistical Association*. 74, 269-277.
- [5] Wan, S. M. 1999. Jackknife Methods in Small Area Estimation and Related Problems. (Dissertation). University of Nebraska. Lincoln.
- [6] Ningtyas, R., Rahmawati, R., dan Wilandari, Y. 2015. Penerapan Metode Empirical Best Linear Unbiased Prediction (EBLUP) Pada Model Penduga Area Kecil Dalam Pendugaan Pengeluaran Per Kapita Di Kabupaten Brebes. *Jurnal Gaussian*. 4, 977-986.

Pendugaan Parameter Model Produksi *Constant Elasticity of Substitutions (CES)* dengan Metode Kuadrat Terkecil Nonlinear

Dian Kurniasari^{1*}, Noferdis Setiawan², Warsono³ dan Yeftanus Antonio⁴

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung
Jl. Soemarti Brojonegoro No.1 Rajabasa, Bandar Lampung 35141
E-mail : dian.kurniasari@fmipa.unila.ac.id

Abstrak – Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh nilai dugaan dari model produksi *Constant Elasticity Substitutions (CES)* secara intrinsik nonlinear. Model produksi CES didefinisikan dengan $Y = \theta_1(\theta_2 x_1^{-\theta_3} + (1 - \theta_2)x_2^{-\theta_3})^{\frac{\theta_4}{\theta_3}}$. Metode kuadrat terkecil nonlinear digunakan untuk menduga model produksi CES. Persamaan yang diperoleh dengan metode kuadrat terkecil nonlinear tidak dapat diselesaikan secara analitik. Untuk menyelesaikan masalah tersebut digunakan metode iteratif Newton Raphson. Model produksi CES yang diperoleh dari hasil studi dengan menggunakan data adalah $Y = 11.2135(0.4053x_1^{-0.5963} + 0.5847x_2^{-0.5963})^{\frac{0.8272}{0.5963}}$. Simulasi yang dilakukan dengan metode ini menunjukkan bias untuk masing-masing parameter adalah $\hat{\theta}_1 = -1.021$, $\hat{\theta}_2 = -0.0054$, $\hat{\theta}_3 = 0.0675$ dan $\hat{\theta}_4 = 0.0955$. Hasil tersebut menunjukkan metode kuadrat terkecil nonlinear cukup baik untuk menduga parameter pada model produksi CES.

Kata kunci: model nonlinear, CES, newton Raphson, metode kuadrat terkecil nonlinear.

1 Pendahuluan

Model nonlinear dapat dibedakan menjadi dua yaitu model nonlinear pada variabel dan model nonlinear pada parameter. Model nonlinear pada parameter dapat dibagi menjadi dua yaitu model nonlinear secara intrinsik linear (*intrinsically linear*) dan nonlinear secara intrinsik nonlinear (*intrinsically nonlinear*). Model nonlinear secara intrinsik linear adalah model yang dapat ditransformasi kedalam bentuk linier dengan menggunakan fungsi logaritma natural \ln . Sedangkan model nonlinear secara intrinsik nonlinear adalah model yang tidak dapat ditransformasi kedalam bentuk linear.

Model nonlinear secara intrinsik nonlinear (*intrinsically nonlinear*) banyak ditemukan pada model-model ekonomi salah satunya adalah model produksi *Constant Elasticity of Substitutions (CES)*. Pada model nonlinear secara intrinsik nonlinear tidak dapat diduga secara langsung seperti pada persamaan linear atau nonlinear secara intrinsik linear. Oleh karena itu, dalam makalah ini dibahas tentang pendugaan parameter model produksi *Constant Elasticity Of Substitutions (CES)* dengan metode kuadrat terkecil nonlinear.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) Menduga parameter model nonlinear secara intrinsik nonlinear dengan menggunakan metode kuadrat terkecil nonlinear (*Nonlinear Least Square*); (2) Mendapatkan nilai dugaan bagi parameter model nonlinear secara intrinsik nonlinear dengan metode Newton Raphson.

Metode kuadrat terkecil nonlinear memperoleh penduga bagi parameter dengan meminimumkan jumlah kuadrat dari galat sehingga diperoleh persamaan normal. Solusi dari persamaan normal tersebut menghasilkan penduga bagi parameter. Persamaan normal kadangkala menghasilkan persamaan normal yang nonlinear.

Pada kasus ini, pendugaan parameter model produksi CES dengan metode kuadrat terkecil nonlinear menghasilkan persamaan yang tidak dapat diselesaikan secara eksak sehingga dilakukan penyelesaian secara numerik dengan metode Newton Raphson untuk mendapatkan nilai-nilai dugaan parameter model produksi CES. Untuk memverifikasi hasil pendugaan yang diperoleh, maka dilakukan simulasi dengan membangkitkan data untuk variabel X_1 , X_2 , dan Y .

2 Landasan Teori

2.1 Model Nonlinear

Model nonlinear merupakan bentuk hubungan antara peubah penjelas yang tidak linear dalam parameter. Secara umum model nonlinear ditulis sebagai berikut:

$$y_i = f(x_i, \theta) + \varepsilon_i \quad ; i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

dengan,

y_i : peubah respon ke- i .

$f(\cdot)$: fungsi nonlinear

x_i : peubah penjelas respon ke- i

θ : parameter

ε_i : galat ke- i

ε_i diasumsikan saling bebas independen menyebar normal dengan nilai tengah 0 dan ragam σ^2 .

Model nonlinear dapat dibagi menjadi dua yaitu model nonlinear secara intrinsik linear (*intrinsically linear*) dan nonlinear secara intrinsik nonlinear (*intrinsically nonlinear*). Model yang secara intrinsik linear adalah model nonlinear yang dapat ditransformasi menjadi bentuk linear sedangkan model yang secara intrinsik nonlinear yaitu model yang tidak bisa ditransformasi menjadi bentuk linear [1].

2.2 Model Produksi Constant Elasticity of Substitutions (CES)

Fungsi *constant elasticity of substitution* disingkat dengan CES dikembangkan oleh Arrow, Chenery, Minhan, dan Solow (1961) [2]. Elastisitas substitusi adalah ukuran bagaimana perusahaan dengan mudah mensubstitusikan satu input dengan input lainnya untuk menjaga tingkat produksi pada level yang sama. Model produksi CES didefinisikan sebagai berikut :

$$Y = \theta_1(\theta_2 x_1^{-\theta_3} + (1 - \theta_2)x_2^{-\theta_3})^{\frac{\theta_4}{\theta_3}} \quad (2)$$

dimana Y =output, x_1 =input kapital, x_2 =input tenaga kerja, dengan $\theta_1 > 0$, $0 < \theta_2 < 1$, dan $\theta_3 \geq -1$ serta (x_1, x_2) merupakan input bivariat. θ_1 dinyatakan sebagai parameter efisiensi, θ_2 sebagai parameter distribusi, θ_3 sebagai parameter substitusi, dan θ_4 sebagai parameter *return to scale*.

Berikut model produksi CES dinyatakan dalam bentuk logaritma natural:

$$\ln Y = \ln \theta_1 + \frac{\theta_4}{\theta_3} \ln(\theta_2 x_1^{-\theta_3} + (1 - \theta_2)x_2^{-\theta_3}) \quad (3)$$

Dapat dilihat model produksi CES pada Persamaan (3) tidak dapat ditransformasi kedalam bentuk linear.

2.3 Pendugaan Parameter

Pendugaan parameter adalah proses untuk menduga atau menaksir parameter populasi yang tidak diketahui berdasarkan informasi dari sampel. Kriteria penduga yang baik adalah takbias, ragam minimum, konsisten, statistik cukup dan kelengkapan [3]. Berikut ini hanya akan dibahas dua kriteria

penduga yang baik, yaitu tak bias dan ragam minimum karena dianggap sudah cukup melihat suatu penduga yang baik.

1. Suatu statistik dikatakan penduga tak bias dari parameter θ apabila nilai harapan penduga sama dengan parameter θ , sebaliknya jika nilai harapan statistik tersebut tidak sama dengan parameter θ maka disebut penduga θ yang berbias.
2. Suatu penduga dikatakan memiliki ragam minimum apabila penduga tersebut memiliki ragam yang kecil. Apabila terdapat lebih dari satu penduga, penduga yang efisien adalah penduga yang memiliki ragam terkecil.

Besarnya galat pendugaan dinyatakan sebagai bias dan didefinisikan oleh:

$$\text{Bias } \hat{\theta}_i = E(\hat{\theta}_i) - \theta_i \quad [4].$$

2.4 Metode Pendugaan Kuadrat Terkecil Nonlinear (Nonlinear Least Square)

Misalkan model nonlinear yang didefinisikan dengan bentuk:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_p) + \varepsilon \quad (4)$$

Misalkan $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \dots, x_p)$, $\boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p)'$ maka model pada persamaan (1) dapat dituliskan sebagai:

$$Y = f(\mathbf{X}, \boldsymbol{\theta}) + \varepsilon \quad (5)$$

dengan asumsi $E(\varepsilon) = 0$, $\text{Var}(\varepsilon) = \sigma^2$, dan $\varepsilon \sim N(0, \sigma^2)$ maka jumlah kuadrat galat untuk model nonlinear di atas didefinisikan sebagai berikut:

$$S(\boldsymbol{\theta}) = \sum_{i=1}^n \{Y_i - f(\mathbf{X}; \boldsymbol{\theta})\}^2 \quad (6)$$

Nilai dugaan kuadrat terkecil bagi $\boldsymbol{\theta}$ akan dilambangkan dengan $\hat{\boldsymbol{\theta}}$. Nilai dugaan ini adalah nilai $\boldsymbol{\theta}$ yang meminimumkan $S(\boldsymbol{\theta})$.

Untuk memperoleh nilai dugaan kuadrat terkecil $\hat{\boldsymbol{\theta}}$ yaitu dengan mendiferensialkan jumlah kuadrat galat terhadap $\boldsymbol{\theta}$. Hasilnya membentuk persamaan normal dengan bentuk:

$$\sum_{i=1}^n \{Y_i - f(\mathbf{X}, \hat{\boldsymbol{\theta}})\}^2 \left[\frac{\partial f(\mathbf{X}, \hat{\boldsymbol{\theta}})}{\partial \theta_i} \right] = 0 \quad (7)$$

persamaan tersebut disebut persamaan normal untuk model nonlinear [5].

2.5 Metode Newton Raphson

Apabila dalam proses pendugaan parameter didapat persamaan akhir yang nonlinear maka pendugaan parameter didekati dengan metode numerik. Metode yang cukup banyak digunakan untuk menyelesaikan system persamaan nonlinear adalah metode Newton Raphson. Metode Newton Raphson adalah metode untuk menyelesaikan persamaan nonlinear secara iteratif.

Jika θ_0 merupakan nilai awal dari θ atau θ_0 merupakan nilai ke-1 dari θ , maka dapat disimpulkan $\theta_0 = \theta_1$ dan $\theta = \theta_{i+1}$ dengan nilai awal $i = 0$.

Metode ini dapat diperluas untuk menyelesaikan persamaan dengan lebih dari satu parameter. Misal $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ maka iterasinya sebagai berikut:

$$\theta_{i+1} = \theta_i - [H^{-1}g] \quad (8)$$

Vektor gradient atau vector turunan pertama jumlah kuadrat terhadap parameter-parameter dilambangkan dengan $g(\theta)$ yaitu:

$$g(\theta) = \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_n} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Matriks Hessian atau matriks turunan kedua dari jumlah kuadrat terhadap masing-masing parameter dilambangkan dengan $H(\theta)$ yaitu:

$$H(\theta) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_1 \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_1 \partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_1 \partial \theta_n} \\ \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_2 \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_2 \partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_2 \partial \theta_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_n \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_n \partial \theta_2} & \dots & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_n \partial \theta_n} \end{bmatrix} \quad (10)$$

3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai pendugaan parameter pada model produksi CES (*Constant Elasticity of Substitution*) yaitu $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, dan θ_4 dengan menggunakan metode Kuadrat Terkecil Nonlinear (*Nonlinear Least Square*). Kemudian menggunakan *software* statistika untuk menduga parameter model nonlinear produksi CES.

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan adalah:

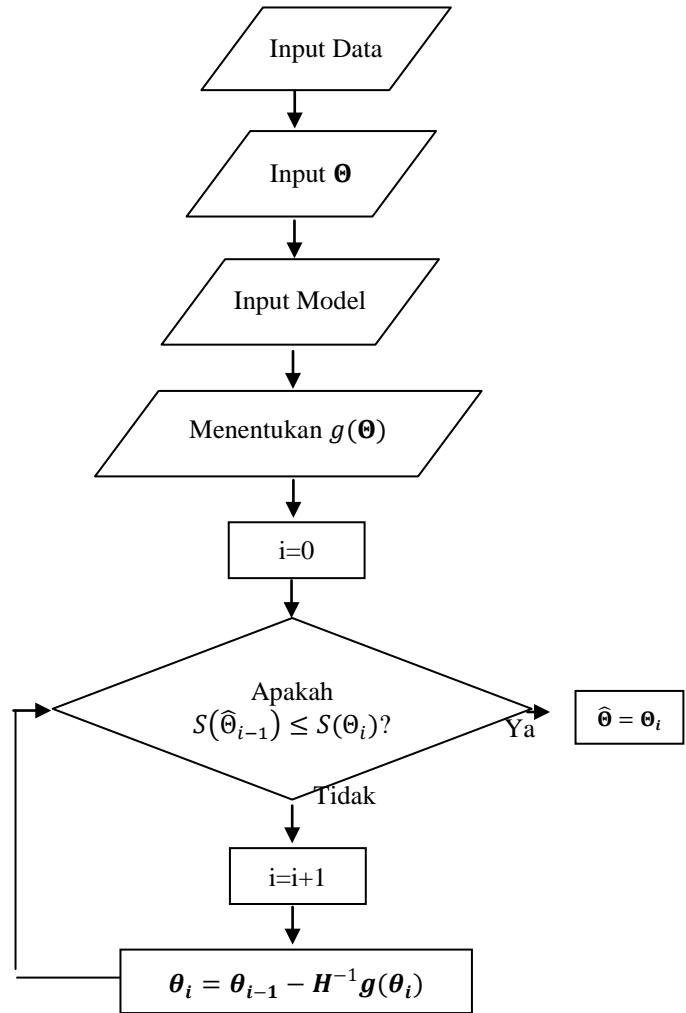
1. Mendefinisikan model produksi CES.
2. Menentukan jumlah kuadrat galat dari produksi CES.
3. Menduga parameter $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, dan θ_4 model nonlinear produksi CES dengan menggunakan metode Kuadrat Terkecil Nonlinear (*Nonlinear Least Square*) yaitu
 - (a) Meminimumkan jumlah kuadrat galat dengan konsep diferensial untuk memperoleh persamaan normal.
 - (b) Mengidentifikasi bentuk persamaan normal yang berbentuk nonlinear.
4. Menyelesaikan persamaan yang tidak dapat diselesaikan secara eksak dengan Metode Newton Raphson yaitu:

- (a) Menentukan nilai awal untuk $i = 0$, dan menentukan kriteria untuk kekonvergenan iterasi yaitu ketika $S(\hat{\theta}_{i-1}) \leq S(\theta_i)$.

- (b) Menentukan θ yang dipilih ketika memenuhi kondisi tersebut yaitu $\theta_i = \theta_{i-1} - H^{-1}g(\theta_i)$

Algoritma dengan metode Newton Raphson dalam bentuk diagram alir ditampilkan oleh Gambar 1.

5. Menggunakan *software* statistika untuk menduga parameter model nonlinear produksi CES.



Gambar 1 Diagram alir pendugaan parameter model nonlinear dengan metode Newton Raphson

4 Hasil dan Pembahasan

4.1. Pendugaan Model Produksi CES dengan Metode Kuadrat Terkecil Nonlinear.

Fungsi produksi *Constant Elasticity of Substitution* (CES) yaitu :

$$Y_i = Q = \theta_1 [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3}} \quad (11)$$

Pendugaan parameter dengan menggunakan metode Kuadrat Terkecil yaitu meminimumkan jumlah kuadrat

galat ($S(\theta)$) dengan cara menurunkan jumlah kuadrat galat tersebut terhadap masing-masing parameter kemudian disamadengankan nol.

Jumlah kuadrat untuk model (11) adalah:

$$S(\theta) = \sum_{i=1}^n \left\{ Y_i - \left(\theta_1 [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3}} \right) \right\}^2 \quad (12)$$

Pendugaan parameter-parameter model produksi CES diperoleh dengan cara meminimumkan jumlah kuadrat seperti pada Persamaan (12) yaitu dengan mendiferensialkan jumlah kuadrat tersebut terhadap masing-masing parameter pada model produksi CES.

$$2 \sum_{i=1}^n \left\{ \left(Y_i - \left(\theta_1 [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3}} \right) \right) \left(-[\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3}} \right) \right\} = 0 \quad (13)$$

Dengan cara yang sama yaitu mendiferensialkan terhadap θ_2 , θ_3 , dan θ_4 maka diperoleh persamaan normal untuk θ_2 , θ_3 , dan θ_4 pada persamaan (14), (15), dan (16) berikut ini:

$$2 \sum_{i=1}^n \left\{ \left(Y_i - \left(\theta_1 [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3}} \right) \right) \left(-\frac{\theta_4 \theta_1 (x_{1i}^{-\theta_3} - x_{2i}^{-\theta_3})}{\theta_3} [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{(\theta_4 - \theta_3)}{\theta_3}} \right) \right\} = 0 \quad (14)$$

$$2 \sum_{i=1}^n \left\{ \left(Y_i - \left(\theta_1 [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3}} \right) \right) \left(-\theta_1 [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3} - 1} \left(\frac{\theta_4 (\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} \ln x_{1i} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3} \ln x_{2i})}{\theta_3 (\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3})} - \frac{\theta_4 \ln [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]}{\theta_3^2} \right) \right) \right\} = 0 \quad (15)$$

$$2 \sum_{i=1}^n \left(Y_i - \left(\theta_1 [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3}} \right) \right) \left(-\theta_1 [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]^{\frac{\theta_4}{\theta_3} - 1} \left(\frac{\ln [\theta_2 x_{1i}^{-\theta_3} + (1 - \theta_2) x_{2i}^{-\theta_3}]}{\theta_3} \right) \right) = 0 \quad (16)$$

Persamaan (13), (14), (15), dan (16) tidak dapat diselesaikan secara eksak, untuk itu diperlukan metode iterasi untuk mendapatkan dugaan bagi parameter θ_1 , θ_2 , dan θ_3 . Sehingga untuk mendapatkan nilai dugaan bagi parameter θ_1 , θ_2 , dan θ_3 dapat menggunakan metode Newton Raphson.

Metode Newton Raphson adalah salah satu metode iteratif yang sering digunakan karena tingkat konvergensi yang paling cepat dibandingkan dengan metode lain. Metode ini menggunakan vektor gradien atau vektor turunan pertama dari jumlah kuadrat terhadap parameter-parameter ($g(\theta)$) dan turunan kedua dari jumlah kuadrat terhadap parameter-parameter atau disebut matriks Hessian ($H(\theta)$). Berikut ini vektor gradien dan matriks Hessian untuk model produksi CES dengan parameter θ_1 , θ_2 , θ_3 , dan θ_4 .

$$g(\theta) = \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta} = \begin{bmatrix} \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_2} \\ \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_3} \\ \frac{\partial S(\theta)}{\partial \theta_4} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$H(\theta) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_1 \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_1 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_1 \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_1 \partial \theta_4} \\ \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_2 \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_2 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_2 \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_2 \partial \theta_4} \\ \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_3 \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_3 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_3 \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_3 \partial \theta_4} \\ \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_4 \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_4 \partial \theta_2} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_4 \partial \theta_3} & \frac{\partial^2 S(\theta)}{\partial \theta_4 \partial \theta_4} \end{bmatrix} \quad (18)$$

Sehingga proses iterasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

$$\theta_{i+1} = \theta_i - [H^{-1}g] \quad (19)$$

Untuk memudahkan melakukan iterasi dengan metode Newton-Raphson. Untuk menduga parameter Persamaan (11) maka digunakan segugus data. Data yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari buku (Rasidin & Bonar, 2006) [2]. Gugus data terdiri dari input modal (X_1), input tenaga kerja (X_2), dan tingkat produksi (Y).

Nilai awal grid bertujuan untuk menentukan nilai awal yang baik. Pemilihan nilai awal yang baik menggunakan grid yaitu dengan cara memilih nilai yang memiliki jumlah kuadrat terkecil. Berikut ini hasil iterasi Newton Raphson yang diperoleh dengan menggunakan nilai awal yang dipilih berdasarkan jumlah kuadrat yang paling kecil dengan menggunakan grid yaitu $\theta_1 = 15$, $\theta_2 = 0.5$, $\theta_3 = 0.5$ dan $\theta_4 = 0.5$.

Tabel 1. Hasil proses iterasi dengan nilai awal $\theta_1 = 15$, $\theta_2 = 0.5$, $\theta_3 = 0.5$ dan $\theta_4 = 0.5$

Iter	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	Sum of Squares
0	15.0000	0.5000	0.5000	0.5000	23933.3
1	18.1767	0.8888	0.5000	0.6481	15308.0
2	14.7945	0.8569	0.8547	0.7968	14965.4
3	19.7927	0.8569	0.3933	0.7968	7907.8
4	17.6129	0.8569	0.4080	0.7968	2789.2
5	17.2429	0.8569	0.3607	0.7968	2256.7
6	14.3384	0.7838	0.1361	0.8387	1807.8
7	13.4165	0.7511	0.0773	0.8605	1462.8
8	12.0346	0.6713	-0.0925	0.8770	1233.6
9	11.5239	0.5939	-0.2353	0.8709	1083.4
10	11.2449	0.4859	-0.4389	0.8478	999.9
11	11.1649	0.4090	-0.5856	0.8297	980.3
12	11.2165	0.4056	-0.5955	0.8272	980.0
13	11.2135	0.4053	-0.5963	0.8272	980.0

Hasil pada Tabel 1 menampilkan banyaknya iterasi yang dilakukan hingga berhenti atau konvergen dengan menggunakan metode Newton Raphson. Baris iterasi ke-0 merupakan nilai awal yang dipilih. Proses iterasi dilakukan terus menerus sampai memenuhi kriteria kekonvergenan yaitu apabila $S(\hat{\theta}_{i-1}) \leq S(\theta_i)$. Proses tersebut konvergen pada iterasi ke-13 dan nilai pada iterasi ke-13 digunakan sebagai nilai dugaan bagi parameter yaitu $\hat{\theta}_1 = 11.2135$, $\hat{\theta}_2 = 0.4053$, $\hat{\theta}_3 = -0.5963$, dan $\hat{\theta}_4 = 0.8272$ dengan nilai $S(\theta_{13})$ sebesar 980. Sehingga dapat dibentuk model produksi CES sebagai berikut :

$$Y = 11.21(0.41x_1^{-0.5963} + 0.58x_2^{-0.5963})^{-\frac{0.8272}{0.5963}} \quad (20)$$

Untuk memperoleh informasi tentang keragaman dari model maka dilakukan analisis ragam pada model persamaan (20). Hasil dari analisis ragam diperoleh sebagai berikut:

Tabel 2. Analisis ragam dari model pada persamaan (20)

Source	DF	Sum of Square	Mean Square
Model	4	198958	49739.6
Error	21	980.0	46.6647
Uncorrected Total	25	199938	

Berdasarkan hasil analisis ragam pada Tabel 2, diperoleh informasi bahwa derajat bebas dari model adalah 4. Derajat bebas menyatakan banyaknya informasi yang bebas digunakan untuk mendapatkan jumlah kuadrat dengan kata lain terdapat 4 parameter yang digunakan untuk memperoleh jumlah kuadrat

Jumlah kuadrat model diperoleh dengan mensubstitusikan nilai dugaan yang didapat ke dalam persamaan jumlah kuadrat selisih antara pengamatan ke- i , yaitu \hat{Y}_i dengan nilai tengahnya \bar{Y} . Jumlah kuadrat yang diperoleh sebesar 198958.

Jumlah kuadrat tengah model di peroleh dari perbandingan antara jumlah kuadrat model dengan derajat bebas model, dengan nilai kuadrat tengah model sebesar 49739.6. Pada galat model, diketahui derajat bebasnya 21 dengan jumlah kuadratnya sebesar 980. Artinya, kesalahan model yang didapat sebesar jumlah kuadrat galat yaitu 980.

Tabel 3. Selang kepercayaan untuk $\hat{\theta}_1$, $\hat{\theta}_2$, $\hat{\theta}_3$, dan $\hat{\theta}_4$

Parameter	Dugaan	Std. Error	Approximasi 95% CI	
θ_1	11.2135	1.4273	8.2453	14.1817
θ_2	0.4053	0.1374	0.1195	0.6911
θ_3	-0.5963	0.2882	-1.1956	0.0029
θ_4	0.8272	0.0550	0.7128	0.9416

Tabel 3 menampilkan selang kepercayaan untuk masing-masing parameter. Untuk parameter θ_1 , selang kepercayaan 95% bagi dugaannya antara 8.2453 dan 14.1817 dengan galat sebesar 1.4273. Kita juga dapat percaya sebesar 95% bahwa nilai dugaan θ_2 berada diantara 0.1195 dan 0.6911 dengan nilai kesalahan sebesar 0.1374. Untuk parameter θ_3 galat yang diperoleh sebesar 0.2882 dengan 95% selang kepercayaan antara -1.956 sampai 0.00297. Kita percaya 95% bahwa dugaan bagi θ_4 berada pada 0.7128 sampai 0.9416.

4.1 SIMULASI

Selanjutnya untuk memverifikasi hasil analisis diatas dilakukan simulasi dengan membangkitkan data untuk variabel X_1 , X_2 , dan Y . Pembangkitan data dilakukan berdasarkan nilai rata-rata dan simpangan baku masing-masing variabel dari data pada buku (Rasidin & Bonar, 2006) mengikuti distribusi normal [2]. Data yang dibangkitkan berukuran 30 dan diulang sebanyak 10 kali, sehingga diperoleh 10 set data. Dengan menggunakan nilai awal yaitu $\theta_1 = 15$, $\theta_2 = 0.6$, $\theta_3 = -0.3$ dan $\theta_4 = 0.5$ [2]. diperoleh nilai dugaan bagi parameter model produksi CES untuk masing-masing set data, ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis dengan menggunakan data hasil random

SET DATA	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	Sum Of Square
1	9.9441	0.3762	-0.5689	0.9198	3.5271
2	10.4071	0.4171	-0.4996	0.9199	5.9521
3	10.2377	0.4165	-0.4979	0.9248	9.7973
4	10.3814	0.4166	-0.4963	0.9195	11.1745
5	10.3489	0.4261	-0.4897	0.9268	7.7197
6	10.273	0.4104	-0.5121	0.9222	6.0664
7	9.6506	0.3475	-0.622	0.9196	6.3172
8	10.1754	0.3989	-0.5252	0.9196	10.4699
9	9.809	0.3628	-0.5973	0.9201	3.7675
10	10.0673	0.4269	-0.4791	0.9347	8.6298

Dari hasil pendugaan diatas kita tentukan nilai rata-rata masing-masing parameter dari 10 set data dan kemudian dijadikan sebagai nilai pendugaan bagi parameter model produksi CES. Diperoleh nilai dugaan untuk $\hat{\theta}_1 = 10.1925$, $\hat{\theta}_2 =$

0.3999, $\hat{\theta}_3 = -0.5288$, dan $\hat{\theta}_4 = 0.9227$. Sehingga dapat dibentuk model produksi CES berdasarkan data hasil random berdasarkan data pada tabel 1. sebagai berikut :

$$Y = 10.19(0.39x_1^{-0.5288} + 0.60x_2^{-0.5288})^{-\frac{0.9227}{0.5288}} \quad (21)$$

Dengan parameter distribusi $\hat{\theta}_2 = 0.3999$. sehingga koefisien $(1 - \theta_2) = 0.6001$. Kombinasi input model (X_1) dan tenaga kerja (X_2) untuk menghasilkan produksi rangka baja masing-masing 39.99% dan 60.01%. *Return to scale* model adalah 82.72%, yang mengindikasikan bahwa jika dengan menggandakan kedua input akan meningkatkan produksi rangka baja sebesar 82.72%.

Elastisitas substitusi $\frac{1}{1+\rho} = \frac{1}{(1-0.5288)} = 2.122$. Hal ini menunjukan bahwa input-input mudah disubstitusikan. Koefisien dugaan parameter efisiensi $\hat{\theta}_1 = 11.213$, yang mengindikasikan presentase perubahan teknologi (perubahan yang disebabkan bukan oleh modal dan input tenaga kerja). Artinya bahwa peningkatan produksi rangka baja disebabkan oleh perubahan teknologi sebesar 11.213%.

Selanjutnya akan diperiksa kestabilan parameter-parameter yang diperoleh melalui simulasi. Nilai-nilai parameter pada Persamaan (20) dianggap sebagai nilai parameter sebenarnya, sedangkan nilai-nilai parameter pada persamaan (21) sebagai nilai dugaan parameter Persamaan (20). untuk memeriksanya dilakukan perhitungan bias bagi masing-masing parameter dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Bias } \hat{\theta}_i = E(\theta_i) - \hat{\theta}_i. \quad (22)$$

Bias dari suatu parameter adalah suatu nilai yang menyatakan seberapa jauh suatu penduga (statistik) menyimpang dari parameternya. Nilai ini merupakan selisih antara nilai harapan bagi parameternya dengan penduganya. Semakin dekat dengan nol dapat disimpulkan semakin baik suatu penduga untuk menduga parameter. Dan apabila nilai biasanya 0 dapat diartikan bahwa penduga yang diperoleh adalah penduga tak bias.

Berdasarkan perhitungan diperoleh bias-bias bagi masing-masing parameter $\hat{\theta}_1 = -1.021$, $\hat{\theta}_2 = -0.0054$, $\hat{\theta}_3 = 0.0675$ dan $\hat{\theta}_4 = 0.0955$. Untuk parameter $\hat{\theta}_1$ dan $\hat{\theta}_2$ didapat bias dengan nilai negatif. Artinya nilai dugaan yang didapat dari

hasil simulasi memiliki nilai parameter yang lebih kecil dari nilai parameter sebenarnya atau disebut dengan *under estimation*.

5 Simpulan dan Saran

Berdasarkan uraian sebelumnya, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Pendugaan model nonlinear yaitu model produksi CES dengan menggunakan metode nonlinear kuadrat terkecil tidak dapat diselesaikan secara eksak maka digunakan metode numerik yaitu metode Newton Raphson.
2. Dari penelitian yang dilakukan didapat nilai dugaan untuk model produksi CES dengan menggunakan data pada tabel 1 adalah $\hat{\theta}_1 = 11.2135$, $\hat{\theta}_2 = 0.4053$, $\hat{\theta}_3 = -0.5963$, dan $\hat{\theta}_4 = 0.8272$ dengan kuadrat galat sebesar 980. dan dari nilai dugaan tersebut dapat dibentuk model produksi CES seperti pada persamaan (20).
3. Dari penelitian yang dilakukan didapat nilai dugaan untuk model produksi CES dengan menggunakan data hasil random adalah $\hat{\theta}_1 = 10.1925$, $\hat{\theta}_2 = 0.3999$, $\hat{\theta}_3 = -0.5288$, dan $\hat{\theta}_4 = 0.9227$. dan dari nilai dugaan tersebut dapat dibentuk model produksi CES seperti pada persamaan (21)
4. Bias bagi masing-masing parameter sebagai berikut $\hat{\theta}_1 = -1.021$, $\hat{\theta}_2 = -0.0054$, $\hat{\theta}_3 = 0.0675$ dan $\hat{\theta}_4 = 0.0955$. Hasil ini menunjukan metode kuadrat terkecil nonlinear cukup baik untuk menduga model CES.

Kepustakaan

- [1] Draper, N. Dan Smith, H. 1981. *Analisis Regresi Terapan edisi kedua*. Sumantri B, penerjemah. Jakarta: Gramedia, terjemahan dari: *Applied Regression analysis*.
- [2] Sitepu, K. Rasidin dan Sinaga, M. Bonar. 2006. *Aplikasi Model Ekonometrika*. Program studi Ilmu Ekonomi Pertanian Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [3] Hoog, R.V. dan Allen T. Craig. 1995. *Introduction to Mathematical Statistics. Fifth edition*. Princtice-Hall Internasional Inc, New Jersey.
- [4] Usman, Mustofa dan Warsono. 2009. *Teori Model Linear dan Aplikasinya*. Sinar Baru Algensindo. Bandung.
- [5] Novalina. 2006. *Pendugaan Parameter Model Nonlinier*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [6] Seber, G.A.F dan Wild, C.J. 2003. *Nonlinear Regression*. Departement of statistics. University Auckland, New Zealand.

Perancangan Media Pembelajaran Virtualisasi Masjidil Haram Dengan *Virtual Reality*

Nurhadi Zakiyan*, Estu Sinduningrum, H. Irfan

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jakarta.
Jl. Tanah Merdeka No. 6 Kampung Rambutan, Jakarta Timur
E-mail : Zakiyanzet@gmail.com

Abstrak – Ibadah haji adalah ibadah ke 5 urutannya dalam rukun islam dan paling lama persiapannya baik materi, fisik dan iman. Oleh karena itu para calon jamaah haji dibekali dengan pelatihan mengenai tata cara beribadah serta pengenalan rute bagi yang memasuki masjidil haram. Masjidil Haram adalah tempat suci bagi umat Islam, namun belum banyak umat islam yang mengetahui seperti apa bentuknya. Dalam pelatihan haji (manasik haji) calon jamaah haji dilatih di dalam area simulasi dengan dekorasi menyerupai miniatur masjidil haram. Oleh karena itu dengan aplikasi inilah calon jamaah haji diberikan informasi tentang bentuk dan lokasi masjidil haram dengan virtualisasi masjidil haram. Virtualisasi masjidil haram dibuat dengan teknik GYROSCOPE dan menggunakan teknologi VIRTUAL REALITY (VR). Aplikasi ini akan membantu memberikan gambaran objek masjidil haram secara dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D). Aplikasi ini nantinya dapat menjadi media pembelajaran untuk mengetahui letak, bentuk dan ukuran masjidil haram khususnya agar dapat membantu para calon jamaah haji dan umat muslim mengetahui informasi lokasi dan bentuk bagi yang belum pernah mengunjungi masjidil haram.

Kata kunci: Virtualisasi Masjidil Haram, Virtual Reality, 3D, 2D, Media Pembelajaran, Gyroscope

1 Pendahuluan

Keberlangsungan kehidupan manusia pada saat ini sangat Pengembangan metode bimbingan manasik terdiri dari empat kategori yakni bimbingan manasik dengan menggunakan ceramah. Selain itu DVD bimbingan manasik perjalanan ibadah haji. Ada juga program bimbingan manasik di televisi daerah. Serta penggunaan MP3 doa thawaf dan Sa'i. dengan kemajuan teknologi dan informasi menjadikan metode manasik berkembang lebih praktis dan mudah dimengerti. Dengan metode visualisasi yang dijalankan dengan *smartphone* ini akan sangat membantu para calon jamaah haji untuk mendapatkan informasi mengenai lokasi dari *Masjidil Haram*. Sebuah teknologi virtualisasi sangat dibutuhkan untuk menyampaikan informasi yang dapat menggambarkan sebuah objek *virtual* ke dalam dunia nyata salah satunya adalah virtualisasi masjidil haram.

Berdasarkan uraian di atas, munculah suatu ide / gagasan untuk membuat sebuah aplikasi sebagai alat bantu media virtualisasi masjidil haram sebagai penunjang visualisasi penyampaian dan penggambaran objek. Aplikasi ini berfungsi

sebagai penyampaian informasi yang dibutuhkan mengenai visualisasi masjidil haram.

2. Landasan Teori

2.1. Multimedia Pembelajaran Interaktif

Wandah wibawanto (2017) Multimedia Pembelajaran Interaktif merupakan salah satu media yang dapat digunakan untuk menyampaikan materi pembelajaran kepada peserta didik dengan sangat efektif dan efisien. Keunggulan utama media pembelajaran interaktif yaitu interaktivitas itu sendiri membuka berbagai peluang interaksi antara pengguna dengan media.

2.2 Virtual Reality

(Sherman dan Craig, VR 2015) mendefinisikan VR sebagai berikut: Sebuah media yang terdiri dari simulasi komputer interaktif yang merasakan posisi dan tindakan peserta, memberikan umpan balik sintesis untuk satu atau lebih indera, memberikan perasaan tenggelam atau hadir dalam simulasi. Perhatikan bahwa definisi menyatakan bahwa pengalaman

virtual reality memberikan rangsangan sintetis untuk satu atau lebih dari indra pengguna.

Sebuah sistem VR akan menggantikan setidaknya rangsangan visual, dengan rangsangan aural juga sering disediakan. Dua istilah lain yang berhubungan dengan realitas *virtual* dan satu sama lain adalah "telepresence" dan "augmented reality" (AR). *Telepresence* mirip dengan VR, dalam hal ini adalah sarana untuk menempatkan pengguna di lokasi lain di mana mereka tidak hadir secara fisik. Perbedaan dari VR adalah bahwa lokasi ini sebenarnya adalah sebuah tempat yang nyata bahwa untuk satu atau alasan lain terlalu berbahaya atau tidak nyaman bagi orang untuk mengunjungi secara pribadi. Seperti *telepresence*, *augmented* [4].

2.3 Gyroscope Sensor

Salah satu fitur yang tersedia dalam beberapa *smartphone* yang dapat melakukan eksplorasi adalah sensor. Terdapat sekitar 13 sensor yang terdapat di *smartphone Android*.

Eksplorasi data – data sensor salah satunya dapat digunakan untuk mendeteksi pergerakan manusia. Sensor *accelerometer* akan mengambil data secara *realtime* dari *smartphone* berbasis *Android*, dimana sensor ini mengambil data percepatan linier dari *smartphone* berbasis *Android*.

Sensor *gyroscope* juga akan mengambil data – data secara *realtime* dari *smartphone* berbasis *Android*, namun data yang diambil adalah data kecepatan sudut, percepatan sudut, serta perubahan sudut dari pergerakan tubuh manusia. Dengan menggunakan kedua sensor *accelerometer* dan sensor *gyroscope* dapat mendeteksi aktivitas fisik *user* pada saat terjatuh dan dapat membedakan dengan aktivitas fisik *user* yang menyerupai aktivitas jatuh seperti duduk cepat melompat ke alas, berbaring, dan lain-lain [4].

2.4 Modeling object

Google Sketchup 3D Sebuah perangkat lunak keluaran google yang digunakan untuk melakukan modelling tiga dimensi, animasi, hingga rendering. Google Sketchup 3D dapat melakukan export hasil modelling yang dapat diterima oleh Unreal Development Kit seperti .ASE, .FBX dan .DAE

2.5 Game Engine

Game Engine adalah sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk membuat sebuah game. Sebuah game engine biasanya dibangun dengan mengenkapsulasi beberapa fungsi standar yang umum digunakan dalam pembuatan sebuah game. Misalnya fungsi *rendering*, pemanggilan suara, *network*, atau pembuatan partikel untuk *special effect*. Sebagian besar *game engine* umumnya berupa *library* atau sekumpulan fungsi – fungsi yang penggunaannya dipadukan dengan bahasa pemrograman [5].

2.6 Teknik Display Virtual Reality

Sistem display VR merupakan sistem pencitraan visual 3d dan 2d yang menggunakan seperangkat optik, elektronik, dan komponen mekanik untuk membentuk citra dalam jalur optik

antara mata pengamat dan objek fisik yang akan digabungkan dengan teknik VR.

Ponsel VR yang di contohkan oleh *Google Cardboard* adalah alat sederhana yang terdapat 2 slot lensa untuk ponsel VR[4].

2.7 Cara Kerja Virtual Reality

VR *headset* merupakan perangkat *head mounted display* dengan bentuk seperti *google Cardboard*. VR *headset* adalah alat menyatukan cara pandang kedua bola mata yang berbeda. Lewat dua layar di dalamnya, VR *headset* menghasilkan sensasi tiga dimensi. Seolah dunia dan objek *virtual* di *game/video* sungguh ada di hadapan siapapun yang memakai VR *headset* itu. Visualisasi 3D dari *video* ataupun *game* tersambung ke VR *headset* melalui kabel *HDMI*. Dengan *software VREAM*, gambar tersebut diproyeksikan melalui lensa khusus menjadi gambar stereoskopik dengan kelengkungan mirip penglihatan manusia. Lalu, otak kita secara otomatis akan terbiasa dengan visualisasi tersebut sehingga terasa nyata.

2.8 MDLC (Multimedia Development life Cycle)

Metode yang digunakan dalam pengembangan *multimedia* Interaktif ini adalah *Multimedia Development Life Cycle* yang memiliki 6 tahap yaitu, *concept*, *design*, *collecting content material*, *assembly*, *testing* dan *distribution* (Sutopo, 2003).

1. Concept

Tahap *concept* (konsep) yaitu menentukan tujuan dan siapa pengguna program (identifikasi audience), macam aplikasi (presentasi, interaktif, dan lain-lain), tujuan aplikasi (informasi, hiburan, pelatihan, dan lain-lain), dan spesifikasi umum.

2. Design

Design (perancangan) adalah membuat spesifikasi secara rinci mengenai arsitektur program, gaya, tampilan dan kebutuhan material / bahan untuk program.

3. Material Collecting

Material Collecting (pengumpulan bahan) adalah tahap pengumpulan bahan yang sesuai dengan kebutuhan yang dikerjakan. Bahan - bahan tersebut, antara lain gambar *clip art*, foto, animasi, *video*, *audio*, dan lain-lain yang dapat diperoleh secara gratis atau dengan pemesanan kepada pihak lain sesuai dengan rancangannya

4. Assembly

Tahap *assembly* (pembuatan) adalah tahap pembuatan semua objek atau bahan *multimedia*. Pembuatan aplikasi berdasarkan *storyboard*, bagan alir (flowchart), dan struktur navigasi yang berasal pada tahap *design*.

5. Testing

Tahap *testing* (pengujian) dilakukan setelah menyelesaikan tahap pembuatan (*assembly*) dengan menjalankan aplikasi / program dan dilihat apakah ada kesalahan atau tidak. Tahap pertama pada tahap ini disebut juga sebagai tahap pengujian *alpha* (*alpha test*) yang pengujiannya dilakukan oleh pembuat atau lingkungan pembuatnya sendiri. Setelah lolos dari

pengujian alpha, pengujian beta yang melibatkan pengguna akhir akan dilakukan.

6. Distribution

Tahap ini aplikasi akan di simpan dalam suatu media penyimpanan. Tahap ini juga dapat disebut tahap evaluasi untuk pengembangan produk yang sudah jadi supaya menjadi lebih baik. Hasil evaluasi ini dapat digunakan sebagai masukan untuk tahap *concept* pada produk selanjutnya.

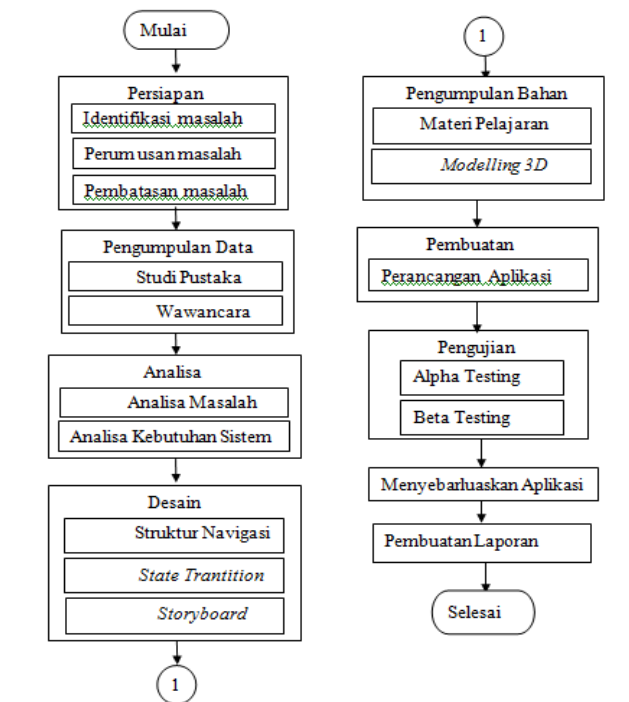
2.9 UML (Undified Modeling Language)

UML (*Unified Modeling Language*) adalah Metodologi kolaborasi antara metoda-metoda Booch, OMT (Object Modeling Technique), serta OOSE (Object Oriented Software Engineering) dan beberapa metoda lainnya, merupakan metodologi yang paling sering digunakan saat ini untuk analisa dan perancangan sistem dengan metodologi berorientasi objek mengadaptasi maraknya penggunaan bahasa “pemrograman berorientasi objek” (OOP). (Nugroho, 2009)

3 Metodologi Penelitian

3.1. Diagram Alur Penelitian

Pada bab ini dijelaskan mengenai metode yang digunakan untuk merancang aplikasi media pembelajaran visualisasi masjidil haram dengan virtual reality, seperti yang dilihat pada alur penelitian gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

3.1.1 Persiapan

a. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan identifikasi, pada penelitian ini permasalahan yang terjadi adalah kurangnya informasi tentang bentuk masjidil haram.

b. Perumusan Masalah

Setelah proses pengidentifikasian masalah, maka dirumuskanlah masalah seperti yang di paparkan pada sub bab 1.2.

c. Batasan Masalah

Batasan masalah merupakan proses setelah perumusan masalah dilakukan. Pada tahapan ini, masalah yang ada dibatasi seperti yang dipaparkan pada sub bab 1.3. Dalam tahap pembuatan desain tampilan antarmuka media pembelajaran visualisasi masjidil haram dengan *virtual reality* ini peneliti membuat rumusan masalah dengan mengambil *requirement* dari data yang diambil dari *Saudi bin laden group*.

3.1.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data ini dilakukan agar mempermudah dan memperkuat dalam melakukan penelitian. Ada dua tahap dalam pengumpulan data, yaitu :

a. Studi Pustaka

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dengan menggunakan media-media seperti buku, jurnal-jurnal baik nasional maupun internasional, artikel - artikel di internet yang berkaitan dengan penelitian.

b. Wawancara

Pada tahap ini dilakukan penelitian dengan mewawancarai pihak penyelenggara haji dan umrah juga informasi yang di ambil dari kantor Kementerian Agama Jl Ahmad Yani no. 9 kota tangerang dan pelatihan manasik Khasafa haji dan umroh *travel agent*.

3.1.3. Analisis

Pada tahap ini peneliti membuat desain tampilan antarmuka media pembelajaran visualisasi masjidil haram dengan *virtual reality*.

3.1.4 Desain

a. Struktur Navigasi

Pembuatan desain struktur navigasi secara *composite* (campuran) dari aplikasi media pembelajaran visualisasi masjidil haram dengan *virtual reality*.

b. State Transition Diagram

Tahap ini dirancang *state transition diagram* (STD) aplikasi untuk mengetahui transisi keadaan yang terjadi pada aplikasi saat digunakan.

c. Storyboard

Pada tahap ini dibuat *storyboard* yang merupakan naskah yang dituangkan dalam bentuk gambar atau sketsa.

3.1.5 Pengumpulan Bahan

- a. Materi Pelajaran
Pengumpulan materi – materi pelajaran yang terkait dengan aplikasi ini.
- b. *Modelling 3D*
Pembuatan model 3 dimensi yang nantinya akan di tampilkan pada aplikasi ini.

3.1.6 Pembuatan

Pada tahap ahapa ini peneliti merancang aplikasi media visualisasi masjidil haram dengan *virtual reality* yang beroperasi pada *smartphone*.

3.1.7 Pengujian

Setelah proses pembuatan selesai. Langkah berikutnya dilakukan tahap testing (pengujian aplikasi) dengan cara:

- a. Testing
Pengujian akan dilakukan oleh orang-orang yang terlibat pada tahap pembuatan aplikasi.
- b. Beta Testing
Pengujian akan dilakukan oleh pengguna aplikasi yaitu calon jamaah haji dan Masyarakat umum Non-haji sebagai target dari penggunaan aplikasi ini.

3.2. Menyebarluaskan

Jika semua proses pembuatan aplikasi ini telah rampung dan lolos pada tahap pengujian, aplikasi ini akan disebarluaskan umum melalui jaringan internet dan khususnya di sebarluaskan kepada pelatihan manasik haji dan masyarakat umum agar mendapatkan manfaat dari aplikasi.

4. Analisis Perancangan

Bab ini akan membahas mengenai analisis dan perancangan antarmuka Media Pembelajaran Virtualisasi Masjidil Haram dengan *Virtual Reality*.

4.1 Analisis Masalah

Pembekalan dan pengetahuan mengenai lokasi tentang masjidil haram sangat penting untuk para calon jamaah haji dan juga pengetahuan bagi umat islam[2]. Pemanfaatan *map* menjadi salah satu alternatif yang di pakai untuk membantu para jamaah untuk mengenali lokasi dan area sekitar masjidil haram, pengemasan teknologi ini di rancang untuk memberikan informasi yang valid sesuai keadaan masjidil haram dalam bentuk virtualisasi masjidil haram dalam sebuah aplikasi *virtual reality* yang berjalan di perangkat *android*. aplikasi tersebut dapat dioptimalkan dalam menyebar informasi obyek dalam bentuk 3 dimensi dan tampilan yang seakan akan menyerupai aslinya.

4.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Aplikasi Virtualisasi masjidil haram digunakan untuk media interaktif terkait penginformasian obyek dan lokasi berdasarkan bentuk aslinya. Virtualisasi masjidil haram akan di operasikan melalui perangkat kacamata virtual yang berjalan di *system Android*.

Dalam merancang aplikasi ini diperlukan batasan yang jelas agar aplikasi yang dirancang tidak keluar dari rencana dan konsep awal perancangan aplikasi. Beberapa kebutuhan *system* yang akan didefinisikan antara lain :

- Memvisualkan bentuk dan lokasi dari obyek ke dalam bentuk 3 dimensi yang berbasis *virtual reality*.
- Memvisualkan lokasi dan arah yang sesuai dengan obyek aslinya karena memakai skala 1:1.
- Memberikan informasi yang sesuai dalam bentuk visualisasi

Dalam merancang dibutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak untuk mendukung keberhasilan fungsi aplikasi. Berikut ini adalah perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan pada aplikasi ini.

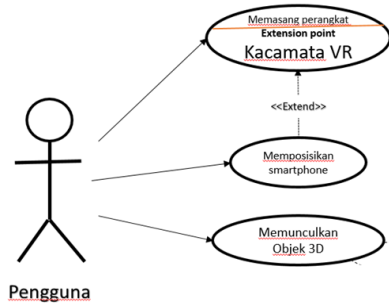
1. Spesifikasi perangkat keras
Perangkat Keras yang di gunakan dalam proses pembuatan aplikasi ini adalah sebuah unit komputer dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Prosesor : AMD Athlon X2 (3.0 Ghz)
 - RAM : 4.00 GB
 - HDD : 720 GB
 - VGA : Radeon R7 2GB/128bit
2. Spesifikasi perangkat lunak
Perangkat lunak yang digunakan dalam proses pembuatan aplikasi ini sebagai berikut :
 - Sistem Operasi Windows 10 x64
 - Java SE Development Kit (JDK)
 - Android SDK Manager (revisi 24.0.2)
 - Android Developer Tools (ADT) Bundle Windows x86_64
 - Unity3D versi 5.3.4f1
3. Spesifikasi *mobile device*
Mobile device yang akan digunakan adalah ponsel pintar SONY EXPERIA ZR dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - OS : Android 5.0 (Lolypop)
 - Processor : Qualcomm MSM28 Snapdragon 410 Quad Core 1.6GHz Cortex-A7
 - RAM : 2.00 GB
 - Memori : 32 GB
 - Gyroscope : 8 Axis

4.3 Perancangan Sistem

Pada perancangan ini akan menjelaskan tentang perancangan dari sistem dengan UML sebagai media untuk melakukan perancangan antarmuka (interface).

4.4 Perancangan Use Case Diagram

Pada perancangan Use Case Diagram fungsional pada Gambar 2 ini digunakan untuk memahami interaksi dan kegiatan antara pengguna dan sistem. Use Case menggambarkan interaksi apa saja yang dilakukan oleh aktor/pengguna terhadap sistem. Biasanya dibuat pada awal pengembangan system.



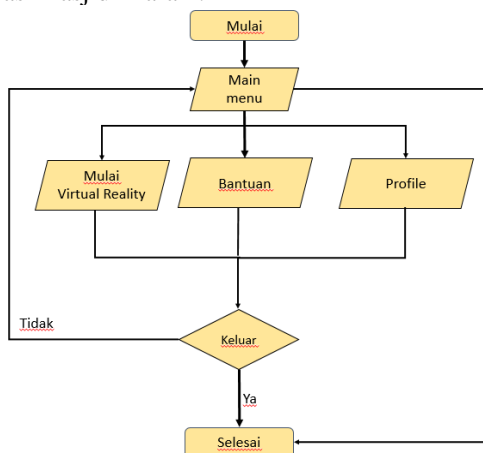
Gambar 2. Use Case Diagram

Pada spesifikasi activity diagram ini menjelaskan urutan kegiatan yang dilakukan sistem dan pengguna, sebagai berikut:

1. Pemasangan Perangkat
2. Pengguna memasang perangkat device ke kacamata VR.

4.5 Perancangan Flowchart

Perancangan *flowchart* diperlukan untuk menggambarkan proses - proses pembuatan sehingga mudah dilihat berdasarkan urutan langkah dari satu proses ke proses lainnya. Berikut ini adalah gambar 3 sebagai rancangan *flowchart* visualisasi masjidil haram.



Gambar 3. flowchart visualisasi masjidil haram

4.6 Perancangan Activity Diagram

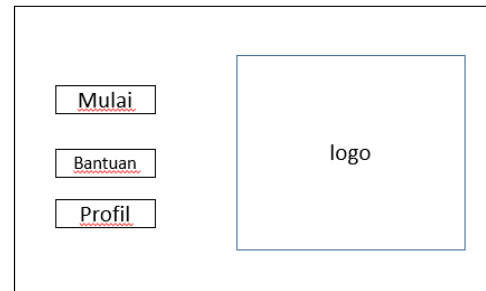
Tujuan dibuatnya *activity diagram* pada media ini adalah untuk menunjukan aktivitas dalam sebuah proses dalam

sistem. Berikut ini adalah aktivitas yang dilakukan oleh pengguna.

4.7 Perancangan Antarmuka

a. Rancangan Tampilan Menu Utama

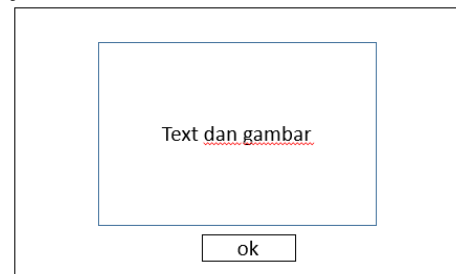
Perancangan Gambar 4 sebagai halaman menu utama terdapat gambar *background*, tombol mulai, tombol bantuan, serta tombol profil. Apabila tombol mulai yang ditekan akan muncul menu pilihan tampilan virtual.



Gambar 4. Rancangan Menu Utama

a. Rancangan Tampilan Bantuan

Perancangan Gambar 5 sebagai halaman bantuan berisi tampilan dan tombol OK yang disertai dengan gambar dan penjelasan isi bantuan.



Gambar 5. Rancangan Tampilan Pilihan Menu Bantuan

b. Rancangan Tampilan Profil

Perancangan Gambar 6 sebagai halaman Profil berisi tampilan profil penulis.

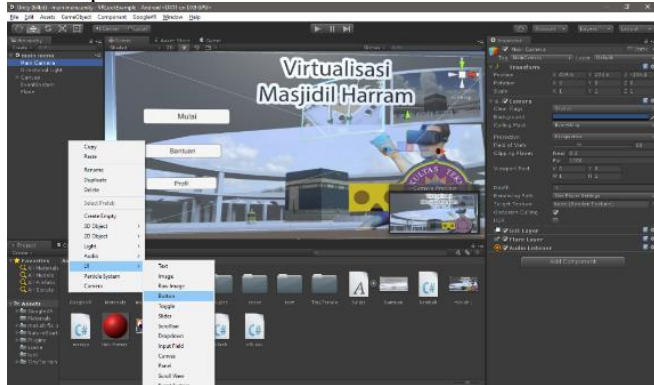


Gambar 6. Rancangan Tampilan profil

4.8 Pembuatan

Menu pembuka pada Gambar 7 ini dibangun sebagai tampilan pembuka saat media pertama kali dijalankan. Menu utama dibangun sebagai pondasi/acuan dalam membangun isi pada

Media Pembelajaran Virtualisasi Masjidil Haram Dengan *Virtual Reality* ini. Pada menu utama berisikan bagian - bagian menu agar dapat dikontrol dari menu utama, yang berisikan (1) Mulai, (2) Bantuan (3) Profil. Tampilan menu utama diperlihatkan berikut:



Gambar 7. Pembuatan

5 Implementasi

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil pengujian dan implementasi media pembelajaran visualisasi masjidil haram dengan *virtual reality* yang telah dibuat untuk Kementerian agama kota tangerang. Pengujian dilakukan untuk memastikan apakah seluruh fungsi *button* dan *3d object* pada media dapat berjalan dengan baik dan mendeteksi jika terjadi kesalahan pada *script* program sehingga aplikasi dapat di implementasikan untuk kemudian dapat digunakan sebagai media pembelajaran yang edukatif dan informatif. Tahap implementasi dimulai dari mencoba hasil media yang telah dibuat sampai terakhir yang dilakukan didalam kantor kementerian agama kota tangerang.

5.1 Implementasi Sistem

Implementasi antarmuka akan menampilkan hasil implementasi program pada media berupa tampilan yang dibangun sesuai perancangannya. Sub bab ini akan menampilkan antarmuka dari program yang telah dirancang kedalam bentuk media pembelajaran berbasis *mobile device*. Menggunakan bantuan *operating system android version kitkat* berteknologi *gyroscope* agar aplikasi berjalan dengan baik sebagaimana yang di jelaskan pada bab 2.

5.1.1 Antarmuka Halaman Utama

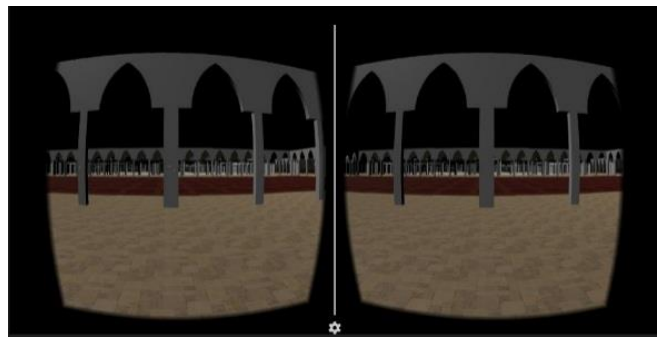
Untuk memulai menjalankan media pembelajaran ini dapat dilakukan dengan cara menekan tombol yang terletak dibagian samping. Berikut adalah tampilan menu utama yang dapat dilihat pada gambar 8 :



Gambar 8. Tampilan Antarmuka Halaman Utama

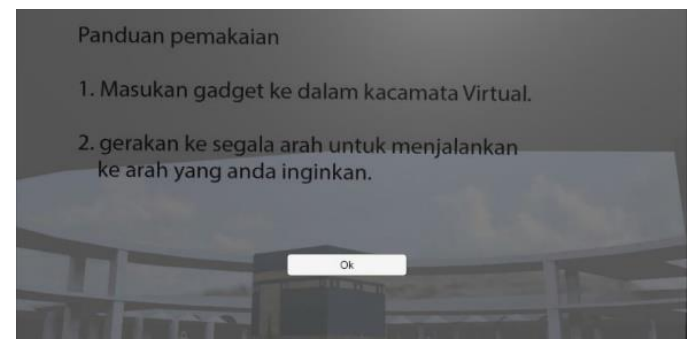
5.1.2 Antarmuka Halaman Akun Mulai

1. Gambar 9 merupakan bentuk visual 3 dimensi lokasi pintu *King Fahd* yang di bandingkan dengan bentuk aslinya.



Gambar 9. Tampilan Antarmuka mulai

5.1.3 Antarmuka Menu Bantuan



Gambar 10. Tampilan Antarmuka Menu bantuan

5.1.4 Antarmuka Menu Profil



Gambar 11. Tampilan Antarmuka Profil

5.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memeriksa apakah komponen atau elemen-elemen didalam sistem telah bekerja dan berfungsi sesuai dengan yang diharapkan. Cara pengujiannya yakni dengan memainkan media apakah semua *button* dan tampilan gambar apakah sudah berjalan lancar. Hasil dari pengujian terhadap media ini akan ditampilkan kedalam bentuk tabel.

Tabel 5.1 Pengujian Halaman *Main menu*

Perintah	Pengujian	Hasil	Keterangan
Menampilkan <i>button Mulai</i>	User memilih tombol <i>Mulai</i>	Menampilkan aplikasi <i>Virtual Reality</i>	Berhasil
Bantuan <i>Button</i>	User memilih tombol <i>Bantuan</i>	Menampilkan <i>Halaman Bantuan</i>	Berhasil
Profil	User memilih tombol <i>Profil</i>	Menampilkan <i>Halaman Profil</i>	Berhasil

Tabel 5.2 Pengujian Tampilan Aplikasi *Virtual*

Perintah	Pengujian	Hasil	Keterangan
Menggerakkan kepala	User menggerakkan kepala kesegala arah	Aplikasi menampilkan <i>object dan lokasi dari direction mounted VR</i>	Berhasil

Tabel 5.3 Pengujian Menu *Bantuan*

Perintah	Pengujian	Hasil	Keterangan
Tampilkan Bantuan	User memilih tombol <i>Bantuan</i>	Menu <i>Bantuan</i> muncul	Berhasil

Tabel 5.4 Pengujian Menu *Profil*

Perintah	Pengujian	Hasil	Keterangan
Tampilkan Profil	User memilih tombol <i>Profil</i>	Muncul <i>Scene tampilan biodata penulis</i>	Berhasil

5.3 Kuesioner

Setelah perancangan media selesai diimplementasikan di kementerian agama kota tangerang maka peneliti mengumpulkan data sebagai acuan dalam menghitung tingkat keberhasilan media pembelajaran sebagai alat bantu mengenal lokasi dan obyek 3 dimensi dari area masjidil haram yang diisi oleh para jamaah haji dan masyarakat yang belum berhaji, data yang peneliti peroleh adalah sebagai berikut :

Maka Hasil Perhitungan jawaban responden sebagai berikut :
Pertanyaan Pertama

- 1) Responden yang menjawab baik (3) = $7 \times 3 = 21$
- 2) Responden yang menjawab cukup (2) = $3 \times 2 = 6$
- 3) Responden yang menjawab kurang (1) = $0 \times 1 = 0$

$$\text{Total Skor} = 15 + 4 + 0 = 27$$

Untuk mendapatkan hasil interpretasi, harus diketahui dulu skor tertinggi (X) dan angka terendah (Y) untuk item penilaian dengan rumus sebagai berikut :

$Y = \text{Skor tertinggi likert} \times \text{jumlah responden}$ (Angka Tertinggi 3) "Perhatikan Bobot Nilai"

$X = \text{Skor terendah likert} \times \text{jumlah responden}$ (Angka Terendah 1) "Perhatikan Bobot Nilai"

Jumlah skor tertinggi untuk item **Baik** ialah $3 \times 10 = 30$, sedangkan item **Kurang** ialah $1 \times 10 = 10$. Jadi, jika total skor responden di peroleh angka 27, maka penilaian interpretasi responden terhadap media pembelajaran tersebut adalah hasil nilai yang dihasilkan dengan menggunakan rumus Index %.

Rumus Index % = Total Skor / Y x 100

Maka penyelesaian akhir dari contoh kasus :

$$= \text{Total Skor} / Y \times 100$$

$$= 27/30 \times 100$$

$$= 90\% = 90\% \text{ Kategori Baik}$$

Dari hasil di atas maka dapat disimpulkan bahwa responden mengatakan Visualisasi Masjidil haram dengan *Virtual reality* sudah menarik dan mudah dimengerti oleh masyarakat.

6 Penutup

Bab ini menjelaskan kesimpulan dari hasil pengimplementasian sistem informasi berbasis web di SMPIT Tunas Harapan Ilahi.

6.1 Kesimpulan

Setelah selesai melakukan perancangan dan pembahasan yang telah diuraikan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Tercapainya pembuatan media pembelajaran visualisasi masjidil haram dengan *virtual reality* menciptakan bentuk masjidil haram dalam keadaan maya menjadi tampak nyata.
2. Implementasi dengan menerapkan teknologi *virtual reality* dengan teknik *Gyroscope* dapat menyajikan visual 3D lokasi masjidil haram yang membantu para pengguna berjalan sesuai arah yang di inginkan.
3. Media pembelajaran ini memberikan informasi bagi pengguna, Maka dari hasil yang di dapat dari responden dan telah dihitung melalui metode kuantitatif hasilnya (BAIK) terhadap aplikasi ini.

6.2 Saran

Berdasarkan batasan masalah yang terdapat pada media pembelajaran visualisasi masjidil haram dengan *virtual reality* ini terdapat beberapa saran sebagai acuan untuk mengembangkan aplikasi *virtual reality* ini selanjutnya yaitu; Struktur bentuk 3D masjidil haram di buat menjadi *High - Polly*.

Kepustakaan

- [1] Binanto Iwan, Multimedia digital dasar teori dan pengembangan, Yogyakarta, 2010, p. 3.
- [2] Rahmanita Eza, dkk. Oktober 2012 Rancang Bangun Aplikasi Multimedia Pembelajaran Interaktif (E-Learning) Manasik Haji Menggunakan Pendekatan LTSA (Jurnal). Madura: Universitas Trunojoyo.
- [3] Wibawanto wandah, Desain dan Pemograman Multimedia Pembelajaran Interaktif, Jember, 2017, p. III.
- [4] Linowes Jonathan, Unity Virtual Reality Projects, Birmingham UK, August 2015, p. 2-15.
- [5] Roedavan Rickman, UNITY Tutorial Game Engine, Bandung, Januari 2016, p.2-3.
- [6] Saudi, bin laden Group dkk, Desember 2012. Mataf Extension Presentation (literature). Saudi: Ministry of Higher Education.
- [7] "Google Maps," [Online]. Available: <https://maps.google.com/>. [Accessed 5 Januari 2017].
- [8] n. adi, rekayasa perangkat lunak menggunakan UML dan JAVA, Yogyakarta: ANDI,2009.

PENGUKURAN KUALITAS PERANGKAT LUNAK SISTEM MANAJEMEN PELAPORAN KEGIATAN BERBASIS WEB PERINGATAN BERBASIS EMAIL

Ritzkal^{1*} dan Moh. Subchan².

1. Universitas Ibnu Khaldun

Jl. KH. Sholeh Iskandar KM.2, Kedung Badak, Tanah Sereal, Kota Bogor 16162 Jawa Barat

Telp. 0251-8380993 Fax 0251-8380993, 0817145016

Website: <http://www.uika-bogor.ac.id> E-mail: ritzkal@ft.uika-bogor.ac.id

2. STMIK Muhammadiyah Banten

Jl. Syekh Nawawi Km. 4 No. 13 Matagara Tigaraksa Kab. Tangerang

Telp. 021-22599028, 085888877388

Website: <http://www.stmikmb.ac.id>

E-mail: mohamad.subchan@stmikmbanten.ac.id

Abstrak – Pentingnya kualitas perangkat lunak memang masih diperhadapkan pada banyaknya standar kualitas yang ada. Para ahli rekayasa perangkat lunak tampaknya masih memerlukan sedikit waktu untuk menetapkan sebuah standar tunggal yang dapat menggugurkan standar-standar kualitas yang banyak ini. Di sisi lain, pencapaian kualitas perangkat lunak tidak bisa menunggu sampai standar tunggal itu ditetapkan. Tujuan dari penelitian yaitu mendapatkan nilai kualitas perangkat lunak sistem manajemen pelaporan. Penelitian ini dilakukan dengan teknik kuantitatif. Penelitian ini adalah penerapan dari teori-teori mengenai kualitas perangkat lunak, dan dilakukan sebagai pembuktian teori-teori tersebut. Secara skematik, Metode penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan kumpulan data, komputasi numerik (metric) dan komputasi numerik (indikator). Hasil yang diperoleh berupa pengumpulan data pada perangkat lunak, perhitungan komputasi numerik dan perhitungan indikator kualitas ISO 9126 yang meliputi indikator kualitas fungsional, indikator kualitas reliabilitas, indikator kualitas usabilitas, indikator kualitas efisiensi, indikator kualitas maintainabilitas, dan indikator kualitas portabilitas. Berdasarkan hasil tersebut, maka ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian dengan hasil pengujian indikator kualitas ISO 9126 yang terdiri dari hasil 0.1435 fungsionalitas, hasil 988 reliable, hasil 0.4429 usability, hasil 11.5316 person-month, 2.33 Pemeliharaan, hasil 5 portabilitas dan persentase pencapaian kualitas 83.3%.

Kata kunci: *Iso 9126, Persentase pencapaian kualitas, indikator, perangkat lunak*

1 Pendahuluan

Pencapaian kualitas perangkat lunak dapat dinilai melalui pengukuran. Ada banyak atribut-atribut perangkat lunak yang dapat diukur. Jumlah atribut yang digunakan dalam pengukuran tergantung pada banyaknya informasi yang ingin diperoleh melalui pengukuran. Contohnya, ketika seorang manager proyek ingin memperoleh informasi mengenai tingkat keandalan dari perangkat lunak yang dikembangkan maka atribut-atribut yang diukur adalah seperti jumlah kesalahan yang mungkin terjadi dalam kurun waktu tertentu, jumlah fungsi, jumlah baris kode, kerumitan, dan ujicoba

yang dilakukan untuk memastikan tingkat kesalahan yang mungkin terjadi selama proses pengembangan perangkat lunak. Pada akhirnya informasi-informasi tersebut akan digunakan untuk mendukung fungsi-fungsi manajemen seperti perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, dan pengendalian[1]. ISO 9126 merupakan sebuah standard internasional yang diterbitkan oleh ISO untuk evaluasi kualitas perangkat lunak dan merupakan pengembangan dari ISO 9001. Standar ini dibagi menjadi empat bagian yang masing-masing menjelaskan model kualitas yaitu, metrik eksternal, metrik internal, dan metrik kualitas yang

digunakan. Ada enam ukuran kualitas yang ditetapkan oleh ISO 9126, yaitu fungsionalitas, kehandalan (*reliability*), kebergunaan (*usability*), efisiensi, portabilitas, serta keterpeliharaan (*maintainability*)[2].

2 Landasan Teori

Pengukuran merupakan kegiatan untuk mengindikasikan kuantitatif dari luasan, jumlah, dimensi, kapasitas, atau atribut sebuah proses atau produk. Pengukuran dikategorikan menjadi dua cara yaitu pengukuran langsung (contohnya jumlah mahasiswa yang terdapat pada suatu perguruan tinggi) dan pengukuran tidak langsung (contohnya kualitas pendidikan pada suatu perguruan tinggi yang didapat dari menghitung penolakan calon mahasiswa).

Pengukuran langsung pada perangkat lunak adalah mengenai biaya dan usaha yang dibutuhkan untuk sebuah produk perangkat lunak tersebut. Beberapa contoh pengukuran langsung perangkat lunak adalah seperti pengukuran jumlah baris kode, fungsi, kecepatan eksekusi, ukuran memori, dokumentasi, jumlah masukan, keluaran, dan cacat dalam satuan tertentu. Pengukuran tidak langsung pada perangkat lunak contohnya adalah pengukuran kualitas. Fungsionalitas, efisiensi, reliabilitas, dan kemampuan pemeliharaan merupakan sebagian atribut kualitas perangkat lunak yang pengukurannya dilakukan secara tidak langsung.

Pengukuran terjadi ketika pengumpulan data mulai dilakukan. Ukuran kuantitatif dari tingkatan suatu atribut objek, sistem atau proses disebut dengan metrik. Untuk dapat mengukur kualitas perangkat lunak, metrik-metrik harus dikumpulkan untuk mendapatkan indikator. Indikator merupakan sebuah metrik atau kombinasi dari beberapa metrik yang menjadi sebuah informasi utuh terhadap suatu produk. Informasi yang didapatkan dari indikator-indikator tersebut dapat membantu pihak manajemen dalam mengendalikan proses dan produk yang dibuat.

3 Metodologi Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan kumpulan data, komputasi numerik (metric) dan komputasi numerik (indikator). Hasil yang diperoleh berupa pengumpulan data pada perangkat lunak, perhitungan komputasi numerik pada metric dan perhitungan komputasi numerik dengan indikator kualitas ISO 9126 yang meliputi indikator kualitas fungsional, indikator kualitas reliabilitas, indikator kualitas usabilitas, indikator kualitas efisiensi, indikator kualitas maintainabilitas, dan indikator kualitas portabilitas.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengamatan

Berdasarkan hasil pengamatan, maka didapatkanlah data-data seperti yang diperlihatkan oleh table 1.

Tabel 1 Hasil Pengamatan

Nama Data	Item	Jumlah
Inputan Pengguna	Entry Data User	5
	Entry Data Unit Kegiatan	
	Entry Data Kegiatan	
	Pengaturan Ganti Password	
	Pengaturan Alamat Email	
Output Pengguna	Daftar Data User	11
	Daftar Unit Kegiatan	
	Daftar Data Kegiatan	
	Daftar Statistik Kegiatan UK & Bidang	
	Pesan Error Login	
	Laporan Kegiatan	
	Laporan Kegiatan Pdf	
	List Unit Kerja	
	List Bidang	
	List Tahun	
	Pencarian Data Kegiatan	
Permintaan Pengguna	Menu Home	14
	Menu Entry Kegiatan	
	Menu Pencarian	
	Menu Laporan	
	Menu Statistik	
	Menu Pengaturan	
	Menu Logout	
	Tombol Login	
	Tombol Ubah Data User	
	Tombol Hapus Data User	
	Tombol Ubah Unit Kerja	
	Tombol Hapus Unit Kerja	
	Tombol All Data Kegiatan	
	Lihat Grafik	
Interface Eksternal	Tcp/IP	1
File	Data User	4
	Data Unit Kerja	
	Data Kegiatan	
	Data User	
Kegagalan	Format Laporan Kegiatan	4
	Format Laporan Kegiatan Grafik	
	Terjadinya Keterlambatan Pengiriman Email	
	Tombol Update Tidak Berfungsi	
Modul Program Saat Ini	Pengaturan Alamat Email	3
	Pengaturan Tahun	
	Manajemen Akun	
Modul Terganti	Manajemen Akun	2
	Pengaturan Tahun	
Modul Terhapus		0
Bahasa Pemrograman	PHP 5	1

4.2. Perhitungan Komputasi Numerik

Perhitungan komputasi numerik pada metric merupakan metric perangkat lunak berorientasi fungsi ditarik berdasarkan

sebuah pengukuran fungsionalitas yang disampaikan oleh aplikasi sebagai suatu nilai normalisasi. Karena fungsionalitas tidak dapat diukur secara langsung, maka fungsionalitas harus ditarik secara tidak langsung dari pengukuran langsung lainnya. Metrik berorientasi fungsi dibuat oleh Alan J. Albrecht (1979) yang disebut dengan function point. Saat ini ada banyak variasi cara perhitungan function point setelah metode ini dikembangkan dan direvisi oleh International Function Point User Group (IFPUG) sejak tahun 1986. Namun pada penelitian ini penulis akan memfokuskan penggunaan function point yang dibuat oleh Albrecht. Function point ditarik dengan menggunakan sebuah hubungan empiris berdasarkan pengukuran langsung domain informasi perangkat lunak yang dapat dihitung serta perkiraan kompleksitas perangkat lunak.

Param Pengukuran	Jumlah	X	Faktor Pembobolan			
			Sederhana	Rata - Rata	Kompleks	
J. Input Pengguna	5	X	3			= 15
J. Output Pengguna	11	X	4			= 44
J. Permintaan Pengguna	14	X		5		= 70
J. File	4	X		10		= 40
J. Interface External	1	x	6			= 6
Total						176

Gambar 1 Perhitungan Komputasi Numerik

4. 3. Perhitungan indikator kualitas ISO 9126

Setelah data dikumpulkan maka langkah berikutnya adalah mencari indikator kualitas ISO 9126 yaitu fungsionalitas, reliabilitas, usabilitas, efisiensi, pemeliharaan, dan portabilitas

4. 4. Fungsionalitas

Indikator fungsionalitas dapat ditarik dari function point. Perhitungan function point membutuhkan data berupa input pengguna, output pengguna, permintaan pengguna, file, dan interface eksternal. Setiap data tersebut harus dinilai kompleksitasnya secara umum yaitu sederhana, sedang atau kompleks. Dengan data dan penilaian tersebut, maka perhitungan function pointnya adalah sebagai berikut.

Param Pengukuran	Jumlah	X	Faktor Pembobolan			
			Sederhana	Rata - Rata	Kompleks	
J. Input Pengguna	5	X	3			= 15
J. Output Pengguna	11	X	4			= 44
J. Permintaan Pengguna	14	X		5		= 70
J. File	4	X		10		= 40
J. Interface External	1	x	6			= 6
Total						176

Gambar 2 Indikator Fungsionalitas

4. 5. Faktor perubah kompleksitas

Faktor peubah kompleksitas didapatkan dari penilaian keempatbelas atribut yang terdapat pada perangkat lunak. Keempatbelas atribut tersebut digunakan sebagai faktor untuk menormalisasi perhitungan function point. Perhitungan faktor peubah kompleksitas function point adalah sebagai berikut

No	Faktor Peubah	Nilai
1	Backup dan recovery	0 1 2 3 4 5
2	Komunikasi data	0 1 2 3 4 5
3	Distribusi pemrosesan data	0 1 2 3 4 5
4	Performa	0 1 2 3 4 5
5	Konfigurasi operasional	0 1 2 3 4 5
6	Inputan online (on-line entry)	0 1 2 3 4 5
7	Perubahan data on-line (on-line update)	0 1 2 3 4 5
8	Tingkat transaksi data	0 1 2 3 4 5
9	Efisiensi pengguna	0 1 2 3 4 5
10	Kompleksitas pemrosesan	0 1 2 3 4 5
11	Penggunaan kembali (reusability)	0 1 2 3 4 5
12	Konversi dan Instalasi	0 1 2 3 4 5
13	Penggandaan instalasi	0 1 2 3 4 5
14	Fasilitas perubahan (Facilitate Change)	0 1 2 3 4 5
TOTAL		30

Gambar 3 Faktor Perubah Kompleksitas

4. 6. Function Point

Diketahui : Jumlah Total = 176

$$\sum Fi = 30$$

Rumus untuk mencari function point adalah sebagai berikut.

$$FP = \text{Jumlah Total} \times (0,65 + 0,01 \sum Fi)$$

$$FP = 176 \times (0,65 + (0,01 \times 30))$$

$$FP = 236,2$$

$$FP_{Max} = 1,35 \times \text{Jumlah Total}$$

$$FP_{Max} = 1,35 \times 176$$

$$FP_{Max} = 237,6$$

Dengan keterangan:

FP = Function Point

FP_{Max} = Function Point Maksimum

Jumlah Total = Nilai Total domain informasi

$\sum Fi$ = Jumlah harga penyesuaian kompleksitas

Berdasarkan function point dan function point maksimum, maka tingkat pencapaian fungsionalitas perangkat lunak e-learning adalah sebagai berikut.

Diketahui: FP = 34.1

$$FP_{Max} = 237,6$$

$$\text{Fungsionalitas} = \frac{FP}{FP_{Max}}$$

$$\text{Fungsionalitas} = \frac{34,1}{237,6}$$

$$\text{Fungsionalitas} = \frac{34,1}{237,6}$$

$$\text{Fungsionalitas} = 0,1435$$

Jadi, nilai fungsionalitas perangkat lunak Manajemen Pelaporan adalah sebesar 0,1435.

4. 7. Reliable

Indikator reliabilitas (keandalan) perangkat lunak didapatkan dari metrik *rate of failure occurrence (ROCOF)*. Untuk menghitung *ROCOF* dibutuhkan variabel function point (FP), dan jumlah kegagalan (Failure).

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: FP} &= 34,1 \\ \text{Failure} &= 4 \\ \text{ROCOF} &= \frac{\text{Kegagalan}}{\text{Function Point}} \\ \text{ROCOF} &= \frac{4}{34,1} \\ \text{ROCOF} &= \frac{4}{34,1} \\ \text{ROCOF} &= 0,117 \end{aligned}$$

Reliabilitas dapat ditarik menggunakan rumus berikut.

$$\begin{aligned} \text{Reliabilitas} &= 1 - \text{ROCOF} \\ \text{Reliabilitas} &= 1 - 0,117 \\ \text{Reliabilitas} &= 0,9889 \end{aligned}$$

Dengan demikian maka reliabilitas perangkat lunak manajemen pelaporan adalah sebesar 0,9889. Nilai 0,9889 mengindikasikan bahwa dalam 1.000 kali pengoperasian, diperkirakan perangkat lunak aplikasi manajemen pelaporan mampu bekerja dengan benar selama 988 kali. Dengan kata lain dalam 1000 kali pengoperasian, aplikasi manajemen pelaporan diperkirakan mengalami kegagalan fungsi sebanyak 11 kali.

4. 8. Usability

Indikator usabilitas perangkat lunak didapatkan dari metrik *speed of operation*. Semakin *speed of operation* mendekati nilai 0 menandakan usabilitas semakin meningkat. Sebaliknya, semakin *speed of operation* mendekati nilai 1 maka usabilitas semakin menurun.

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: Function Point (FP)} &= 4,1 \\ \text{Inputan Pengguna} &= 5 \\ \text{Permintaan Pengguna} &= 14 \\ \text{Speed of Operation} &= \frac{\text{Inputan Pengguna} + \text{Permintaan Pengguna}}{\text{Function Point}} \end{aligned}$$

$$\text{Speed of Operation} = \frac{5 + 14}{34,1}$$

$$\text{Speed of Operation} = 0,5571$$

$$\text{Usabilitas} = 1 - \text{Speed of Operation}$$

$$\text{Usabilitas} = 1 - 0,5571$$

$$\text{Usabilitas} = 0,4429$$

Jadi tingkat usabilitas perangkat lunak Manajemen Pelaporan adalah sebesar 0,4429. Nilai 0,4429 mengindikasikan bahwa pekerjaan yang seharusnya diselesaikan dalam 500 kali kerja, sekarang digantikan oleh sistem sebanyak 400 pekerjaan sehingga pekerjaan tersebut dapat diselesaikan hanya dengan 100 kali kerja. Atau lebih jelasnya, pekerjaan yang seharusnya diselesaikan dalam waktu 40 jam (1 minggu kerja), akan selesai dalam waktu 4 jam (setengah hari kerja).

4. 9. Efisiensi

Efisiensi berkaitan dengan performa, sumber daya yang diperlukan, dan penghematan yang diperoleh dari penggunaan produk. Untuk mendapatkan indikator efisiensi maka diperlukan beberapa variabel untuk menghitungnya. Variabel-variabel tersebut adalah total manfaat, total biaya, dan usaha yang diperlukan untuk membangun perangkat lunak.

4. 10. Metric Perkiraan

$$\begin{aligned} \text{Diketahui: FP} &= 34,1 \\ E &= -13,39 + 0,0545 \text{ FP} \\ E &= -13,39 + (0,0545 \times 34,1) \\ E &= 11,5316 \text{ person-month} \end{aligned}$$

4. 11. Pemeliharaan

Pada perangkat lunak, semakin banyak perubahan yang terjadi pada perangkat lunak menandakan bahwa pemeliharaan akan semakin sulit untuk dilakukan. Untuk pencarian nilai maintainabilitas, metrik yang digunakan adalah metrik *Software Maturity Index (SMI)*. Semakin SMI mendekati nilai 1 maka produk akan semakin stabil. Sebaliknya semakin SMI menjauhi nilai 1 maka produk akan semakin tidak stabil. Variabel-variabel yang dibutuhkan untuk mencari nilai SMI adalah jumlah modul saat ini (MT), jumlah penambahan modul (Fa), jumlah modul yang mengalami perubahan (Fc), dan jumlah modul yang sudah dihapus sejak perancangan awal (Fd).

Diketahui:

$$\text{MT} = 3$$

$$\text{Fa} = 0$$

$$\text{Fc} = 2$$

$$\text{Fd} = 0$$

$$\text{SMI} = \frac{\text{MT} - (\text{Fa} + \text{Fc} + \text{Fd})}{\text{MT}}$$

$$\text{SMI} = \text{Pemeliharaan}$$

$$\text{Pemeliharaan} = \frac{MT - (Fa + Fc + Fd)}{MT}$$

$$\text{Pemeliharaan} = \frac{3 - (0 + 2 + 0)}{3}$$

$$\text{Pemeliharaan} = 2,33$$

Indikator pemeliharaan sebesar 2,33 menandakan bahwa dari setiap 10 modul program, terdapat 3 modul yang diperkirakan stabil sehingga tidak membutuhkan perubahan yang berarti pada waktu pemeliharaan dan 1 modul lainnya yang diperkirakan akan mengalami perubahan pada tahap pemeliharaan.

4.12. Portabilitas

Berdasarkan tinjauan pustaka, portabilitas perangkat lunak dibagi menjadi tiga level yaitu portabilitas *source code*, *intermediate code*, dan *runnable code*. Setiap bahasa pemrograman pasti memiliki salah satu dari sifat portabilitas tersebut. Bahasa pemrograman yang digunakan untuk membangun aplikasi manajemen pelaporan adalah bahasa pemrograman PHP. Perangkat lunak yang dibangun dengan bahasa pemrograman PHP saat ini masih merupakan perangkat lunak yang *portable* secara *source code*. PHP memiliki kode translator berupa mesin PHP yang terletak di web server Apache / IIS. Mesin PHP menerjemahkan kode-kode program sehingga dapat dibaca oleh *web browser* client seperti Microsoft Internet Explorer, Mozilla FireFox, Safari, Opera dan sebagainya. Sesuai dengan tinjauan pustaka mengenai portabilitas, indikator portabilitas *source code* = 1, *intermediate code* = 0,66, dan *runnable code* = 0,33. Karena sifat portabilitas yang dimiliki oleh perangkat lunak aplikasi manajemen pelaporan adalah portabilitas *source code*, maka indikator portabilitas = 1.

4.13. Generalisasi kualitas perangkat lunak

Setelah mendapatkan keenam indikator kualitas ISO 9126 yaitu fungsionalitas, reliabilitas, usabilitas, efisiensi, pemeliharaan, dan portabilitas maka langkah terakhir adalah melakukan generalisasi. Generalisasi yang dimaksud adalah penilaian secara keseluruhan dari pencapaian kualitas perangkat lunak sistem manajemen pelaporan.

Tabel 2 Hasil Kualitas

No	Karakteristik	Nilai
1	Fungsionalitas	0,14
2	Reliabilitas	0,98
3	Usabilitas	0,44
4	Efisiensi	0,11
5	Maintainabilitas (Pemeliharaan)	2,33
6	Portabilitas	1
TOTAL KUALITAS		5

Idealnya, nilai setiap indikator kualitas harus sama dengan 1 sehingga mendapatkan nilai total kualitas = 6. Dengan kata lain, kualitas perangkat lunak terbaik tercapai ketika nilai total kualitas = 6. Kenyataannya perangkat lunak aplikasi e-learning telah mencapai nilai kualitas sebesar 4,45. Jika pencapaian tersebut dikonversi ke dalam nilai persen maka kualitas perangkat lunak aplikasi e-learning adalah sebagai berikut.

Diketahui: Kualitas Maksimum = 6

Pencapaian Kualitas = 4,40

Persentase Pencapaian Kualitas

$$= \frac{\text{Pencapaian Kualitas}}{\text{Kualitas Maksimum}} \times 100\%$$

Persentase Pencapaian Kualitas = 83,33%

Jadi, kualitas perangkat lunak aplikasi e-learning secara keseluruhan adalah sebesar 83,33% dengan pengorbanan awal sebesar Rp6.077.400,00. Dengan didapatkannya nilai kualitas sebesar 83,33%, maka pihak manajemen dapat menentukan untuk menggunakan perangkat lunak aplikasi manajemen pelaporan, atau mencari alternatif perangkat lunak sejenis yang kualitasnya mungkin dapat melebihi aplikasi manajemen pelaporan seandainya kualitas tersebut dianggap kurang memuaskan.

5 Simpulan

Untuk menentukan kualitas produk perangkat lunak, maka diperlukan suatu pengukuran. Pengukuran kualitas melibatkan variabel, instrumen, dan standar. Dengan pengukuran yang menggunakan instrumen berupa metrik, dan standar ISO 9126, perangkat lunak aplikasi manajemen pelaporan mencapai kualitas sebesar 83,33%. Karakteristik kualitas tertinggi dari aplikasi manajemen pelaporan dicapai oleh karakteristik reliabilitas dengan nilai 0,9888 dan karakteristik terendah dicapai oleh karakteristik efisiensi dengan nilai 0,11. Sebagai pembuktian hipotesis, berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan, maka disimpulkan bahwa hasil pengukuran dari beberapa metrik berbanding lurus dengan kualitas perangkat lunak dan beberapa hasil pengukuran metrik lainnya berbanding terbalik dengan kualitas. Metrik-metrik yang berbanding lurus dengan kualitas perangkat lunak adalah *function point*, *Software Maturity Index (SMI)*, dan metrik portabilitas. Sedangkan metrik-metrik lainnya yang digunakan dalam penelitian ini berbanding terbalik dengan pengukuran kualitas perangkat lunak sehingga untuk menormalkannya digunakan pengurangan terhadap bilangan 1.

Berdasarkan hasil penelitian maka aplikasi manajemen pelaporan yang akan diterapkan dianggap cukup layak digunakan dengan pencapaian kualitas sebesar 83,33%. Namun demikian, keputusan untuk menggunakan atau mencari alternatif pengganti perangkat lunak ini adalah hak dari pihak manajemen. Pada akhirnya penelitian ini sudah selesai dilaksanakan dengan pencapaian tujuan untuk mengetahui tingkat pencapaian kualitas perangkat lunak

menggunakan metode metrik *function-oriented* dan standar kualitas ISO 9126.

Kepustakaan

- [1] Ritzkal, Goeritno, A. & Purwanto, E.H, *Pengukuran Kualitas Perangkat Lunak Sistem E-Learning Menggunakan Metric Function Oriented*, Seminar Nasional Teknologi dan Informatika (SNATIF)2017, Kudus 25 Juli 2017.
- [2] Ritzkal, *Implementasi Manajemen Pelaporan Kegiatan Berbasis Web Dilengkapi Sistem Peringatan Berbasis E-Mail Dengan Menggunakan ISO 9126*, Jurnal Teknois, STIKOM BINANIAGA, p.85.(2011).
- [3] Arfan, Aulia. 2010. *Implementasi Pengukuran Kualitas pada Perangkat Lunak Menggunakan Metode Lines of Code (LOC) dan Function Point (FP)*. Departemen Ilmu Komputer. Skripsi. Universitas Sumatera Utara.
- [4] Hariyanto, Bambang, 2004. *Rekayasa Sistem Berorientasi Objek*. Informatika, Bandung.
- [5] ISO/IEC 9126.1991. *Information Technology-Software Product Evaluation- Quality Characteristics and Guidelines for Their Use*. 1st ed. International Organization for Standardization.
- [6] Longstreet, David. *Function Point Analysis Training Course* [pdf], <http://www.softwaremetrics.com/Function%20Point%20Training%20Booklet%20New.pdf> (5 Juli 2011).
- [7] Nazir, Moh. 2005. *Metode Penelitian*. Ghalia Indonesia, Bogor.
- [8] Pressman, Roger S. 2007. (terjemahan) *Rekayasa Perangkat Lunak Pendekatan Praktisi (Buku 1)*. Ed.2. Andi, Yogyakarta.
- [9] Hutabarat, Bernaridho I. *Portabilitas:Memahami Makna yang Tepat tentang Portabilitas*. PC Media,ed.9, 2011.
- [10] Simamarta, Janner. 2010. *Rekayasa Perangkat Lunak*. Andi, Yogyakarta.
- [11] Sommerville, Ian. 2007. *Software Engineering*. 8th ed. Pearson Education Limited, Harlow.
- [12] Whitten, Jeffery L., Bentley, Lonnie D. and Dittman, Kevin C. 2004. (terjemahan) *Metode Desain dan Analisis Sistem*. Ed.6. Andi, Yogyakarta.

Membangun Sistem Mobile Monitoring Keamanan Web Aplikasi Menggunakan Suricata dan Bot Telegram Channel

Dias Utomo, Muchammad Sholeh, Arry Avorizano

Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA
Jl. Tanah Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Ps. Rebo, Jakarta Timur
Tlp. 021-8400941, 021-87782739, 87783818
Email: m.sholeh@uhamka.ac.id

Abstrak – Keamanan suatu informasi sangatlah penting, terlebih lagi pada suatu jaringan yang terkoneksi dengan internet. Keamanan jaringan seringkali terganggu dengan adanya ancaman dari dalam ataupun luar. Serangan tersebut dapat berupa serangan yang bermaksud merusak jaringan ataupun mencuri informasi penting yang ada pada jaringan tersebut sehingga monitoring jaringan sangat di perlukan yang mampu bekerja secara realtime. Menjadi suatu tuntutan bagi sistem administrator dalam melakukan pengawasan secara terus menerus untuk keamanan jaringan yang menjadi titik masalah penting. Penulis akan membahas tentang membangun sistem monitoring keamanan web aplikasi pada PC server. Lalu lintas jaringan komputer di pantau dengan sebuah aplikasi pendeteksi serangan yaitu Suricata, yakni aplikasi berbasis opensource yang mendeteksi aktifitas mencurigakan ke dalam PC server. Sehingga bentuk ancaman atau serangan yang masuk akan dibuat batasan berdasarkan klasifikasi pada Suricata. Peringatan bahaya dikirim berupa pesan sebagai informasi adanya ancaman atau serangan dan di integrasikan pada aplikasi telegram yang terdapat pada smartphone dalam berbentuk log alert kejadian yang berisikan waktu, port server, attacker port dan jenis serangan. Dengan terapkannya sistem monitoring yang dilengkapi peringatan ancaman ini, pengawasan terhadap ancaman yang menyusup ke jaringan lebih maksimal, karena terintegrasinya antara sistem yang langsung terhubung dengan sistem administrator.

Kata kunci: Monitoring, opensource, Suricata, Aplikasi Telegram

1 Pendahuluan

Keamanan jaringan komputer merupakan suatu hal yang sangat penting dilakukan sebagai pencegah penyalahgunaan sumber daya jaringan yang tidak sah, mengantisipasi resiko ancaman baik secara langsung ataupun tidak langsung. Demi menjamin terjaganya suatu lalu lintas jaringan komputer maka perlu adanya suatu *software* jaringan yang berfungsi sebagai pemantau aktifitas jaringan.

Pencegahan yang paling sering dilakukan terhadap serangan jaringan adalah dengan menempatkan seorang administrator, namun masalah akan timbul ketika administrator sedang tidak mengawasi jaringan, maka untuk mengatasi permasalahan tersebut diletakkanlah suatu sistem yaitu IDS (*Intrusion Detection System*) yang dapat mendeteksi aktifitas yang mencurigakan didalam jaringan dengan cara mengotomatisasikan fungsi kerja dari seorang administrator.

Berawal dari munculnya perangkat lunak bekerja sebagai aplikasi untuk monitoring jaringan yang bebas digunakan dan di modifikasi sesuai kebutuhan. Saat ini telah muncul aplikasi baru perkembangan dari aplikasi berbasis IDS, dalam pengamatan penulis, Snort paling banyak digunakan karena merupakan standar bagi IDS di dunia, namun alternatif lain yakni Suricata sebagai salah satu IDS *engine open source* masih belum banyak digunakan.

Aplikasi ini bekerja memberikan peringatan dini pada saat terjadi ancaman terhadap target atau terhadap *host* yang dilindungi oleh aplikasi tersebut. Peringatan dini dikirim melalui aplikasi *Telegram messenger* yang berupa *chat* di kirim ke *Smartphone*. Sebagai referensi sebelumnya telah di teliti pula :

1. “Sistem Monitoring Keamanan Jaringan Komputer Dengan Pemanfaatan SMS Alert” oleh Nisa Aulia Rahman pada tahun 2015 berupa jurnal skripsi.

2. “Analisis Dan Implementasi Suricata, Snorby, Dan Barnyard2 Pada VPS Ubuntu” oleh Alim Nuryanto pada tahun 2015 berupa jurnal skripsi.

Dengan ini maka penulis mencoba membahas suatu masalah dengan judul “Membangun Sistem Mobile Monitoring Keamanan Web Aplikasi Menggunakan Suricata dan Bot Telegram Channel”.

2 Dasar Teori

2.1. Ancaman Jaringan Komputer

Vulnerability adalah segala sesuatu yang berjalan pada komputer yang dapat secara langsung atau tidak langsung memicu kebocoran kerahasiaan, integritas, ketersediaan informasi atau layanan di manapun pada jaringan.[10]

Secara umum tipe *vulnerability* meliputi hal-ha berikut *Buffer Overflows, Kesalahan format string, Malicious Content, Web Application*.

a. Scanning

Scanning merupakan tanda dimulainya serangan *hacker*. Melalui *scanning*, *hacker* akan mencari berbagai kemungkinan yang bisa digunakan untuk mengambil alih komputer korban. Melalui informasi yang diperoleh pada tahapan *scanning*, *hacker* bisa mencari jalan masuk untuk menguasai komputer korban. Berbagai *tool* biasanya digunakan oleh *hacker* dalam membantu proses pencarian ini.[11]

b. Web Vulnerability Scanning

Vulnerability scanning merupakan *scanning* yang bertujuan menemukan kelemahan dari sebuah sistem. Beberapa *software vulnerability scanning* yang banyak di gunakan antara lain, Saint, Nessus, Nmap, Nikto, SQLmap, Scrawl (SQL Injection Scanner), WPScan, Wikto dan lain-lain. [11]

c. Reconnaissance

Reconnaissance adalah tahap mengumpulkan data dimana *hacker* akan mengumpulkan semua data sebanyak-banyaknya mengenai target. *Reconnaissance* masih dibagi lagi menjadi dua, yaitu : [11]

1. Active reconnaissance

Reconnaissance yang dilakukan secara aktif, dimana *hacker* melakukan aktifitas terhadap korban untuk mendapatkan data tersebut.

2. Pasive reconnaissance

Reconnaissance yang tanpa berhubungan secara langsung dengan korban, anda tidak akan terdeteksi oleh korban.

2.2. Monitoring

Adapun pengertian monitoring menurut para ahli :

Cassely dan Kumar

Monitoring merupakan program yang terintegrasi, bagian penting dipraktek manajemen yang baik dan arena itu merupakan bagian integral di manajemen sehari-hari [7].

Calyton dan Petry

Monitoring sebagai suatu proses mengukur, mencatat, mengumpulkan, memproses dan mengkomunikasikan informasi untuk membantu pengambilan keputusan manajemen program/proyek [8].

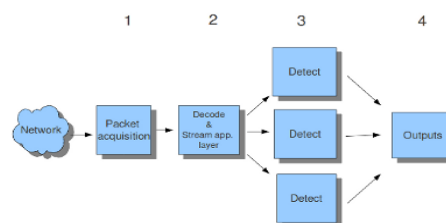
2.3. Intrusion Detection System (IDS)

Intrusion Detected System merupakan sebuah sistem yang melakukan pengawasan terhadap *traffic* jaringan dan pengawasan terhadap kegiatan-kegiatan didalam sebuah sistem jaringan. Jika ditemukan kegiatan-kegiatan yang mencurigakan berhubungan dengan *traffic* jaringan maka IDS akan memberikan peringatan kepada sistem atau administrator jaringan. Dalam banyak kasus IDS juga merespon terhadap *traffic* yang tidak normal / anomali pemblokiran seorang *user* atau alamat IP (*Internet Protocol*) sumber dari usaha pengaksesan jaringan.[9]

2.4. Suricata

Suricata merupakan *Network IDS, IPS* dan sebuah mesin monitor keamanan jaringan dengan performa tinggi. Suricata adalah IDS *opensource* dan dimiliki oleh sebuah komunitas non-profit, yaitu *Open Information Security Foundation (OISF)*. Suricata di kembangkan oleh OISF dan vendor pendukungnya. Suricata engine merupakan *open source next generation intrusion detection and prevention engine*. Suricata merupakan engine yang memiliki kemampuan *Multi-threaded*. [14]

2.4.1. Alur Kerja Suricata



Gambar 1 Alur Kerja Suricata

Packet acquisition : Membaca paket – paket yang masuk

Decode : Men-Decode paket

Stream App.Layer : Melakukan *stream-tracking* dan *reassembly*

Detect : Melakukan pencocokan *Signatures* dengan database

Outputs : Memproses semua kejadian dan memberikan peringatan. [14]

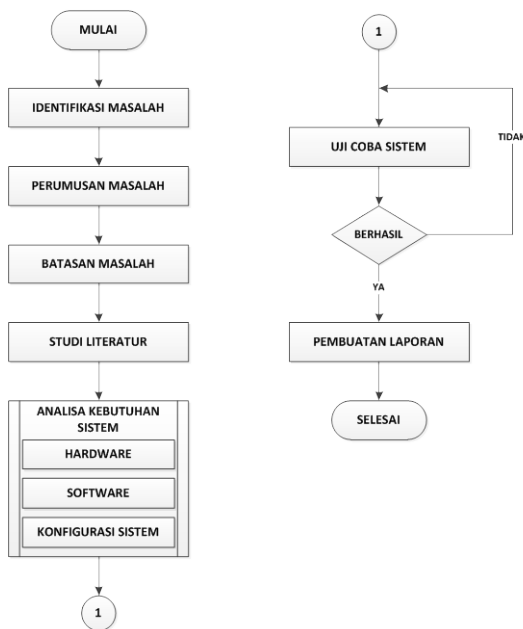
2.5 Aplikasi Telegram Messenger

Telegram adalah sebuah sistem perpesanan yang lintas *platform* dan berpusat pada keamanan kerahasiaan pribadi penggunanya, sedangkan bot adalah program komputer yang melakukan pekerjaan tertentu secara otomatis. Bot adalah

sebuah mesin, dibuat memudahkan kehidupan keseharian kita tanpa harus terpaku di depan komputer. Jika ingin membuat bot telegram, ia perlu komunikasi utama dengan peladen (server) telegram dilakukan melalui protokol MTProto, sebuah protokol biner buatan telegram sendiri.

Bot yang paling terkenal adalah telegram-bot buatan Yugo Perez. Bot-telegram cli bekerja layaknya akun pribadi dan manfaat bot ini diamini juga oleh telegram yang kemudian meluncurkan bot API (*Application Programming Interface*) agar orang banyak dapat membangun bot menggunakan bahasa pemrograman yang mereka kuasai tanpa harus berhubungan dengan telegram-cli atau MTProto.[19]

3 Metodologi Penelitian



Gambar 2 Metode Membangun

4 Analisis dan Membangun Sistem

4.1. Analisa Sistem

1x24 jam pengawasan jaringan menjadi keharusan bagi sistem administrator jaringan dalam pemantauan ancaman yang akan masuk. Namun ancaman jaringan komputer tidak dapat di ketahui kapan akan terjadinya, oleh sebab itu perlu adanya sebuah sitem sebagai notifikasi ancaman yang langsung terhubung pada sistem administrator.

Penelitian ini difokuskan kepada penerapan *alert* pada aplikasi *smartphone* sebagai notifikasi dalam pemantauan keamanan *web* aplikasi. Sistem yang dibangun ini menggunakan *suricata* sebagai pendeteksi aktivitas yang mencurigakan dalam sebuah server yang terdapat *web* di dalamnya. Bagaimana pesan singkat yang masuk berisikan pemberitahuan bahwa adanya ancaman yang ditujukan

pada sistem administrator.

4.1.1. Kebutuhan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras di sini hanya meliputi *Smartphone* dan PC Server yaitu :

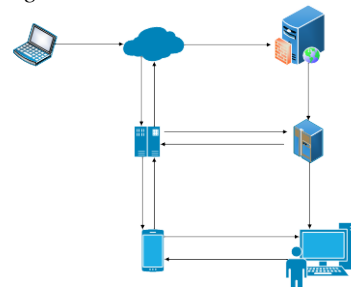
- a. Spesifikasi minimum PC Server
 - *Processor* : Intel core i3
 - *RAM* : 4 Giga Byte
 - *Hard Disk* : Minimal 80 Giga Byte
- b. Spesifikasi minimum *smartphone*
 - *Operating system* : Android 4.1.2 versi Jellybean
 - *Processor* : Dual-core 1.2 Ghz Cortex A5
 - *RAM* : 512Mega Byte

4.1.2. Kebutuhan Perangkat Lunak

Untuk menerapkan skema yang akan dirancang dibutuhkan beberapa perangkat lunak sebagian besar perangkat yang digunakan berbasis *Open Source*.

- 1) VirtualBox
- 2) Ubuntu 17.04LTS
- 3) Wordpress
- 4) *Suricata*
- 5) *Telegram*
- 6) *Java*
- 7) *Putty*
- 8) *Filezilla*

4.2. Topologi

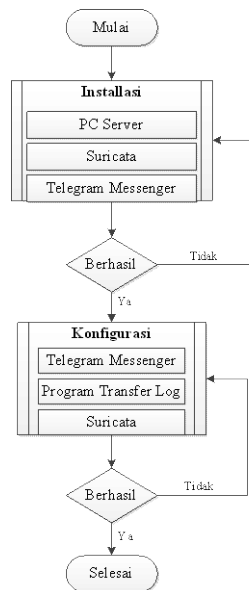


Gambar 3 Topologi Sesudah Perancangan

Setelah menganalisa bentuk dan karakteristik jaringan sebelumnya maka penulis mulai merancang topologi jaringan dengan mengintegrasikan *alert* ke *Telegram Messenger*, yang diharapkan dapat mempermudah sistem administrator dalam memonitoring keamanan *web* aplikasi pada saat tidak berada pada ruang monitoring. dimana sistem administrator dapat melakukan monitoring dengan dua acara yaitu:

1. Sistem administrator dapat memonitoring ancaman secara langsung pada PC server saat berada di ruang monitoring.
2. Sistem administrator jaringan dapat memonitoring ancaman melalui *smartphone* pada saat administrator tidak berada di tempat monitoring jaringan.

4.3. Alur Membangun Sistem



Gambar 4 Alur Membangun Sistem

Sub bab ini menjelaskan tahapan-tahapan dalam pembuatan sistem monitoring keamanan jaringan mulai dari pemasangan sistem operasi yang digunakan pada PC server lalu instalasi aplikasi pendukung. Pada perancangan sistem ini server menggunakan sistem operasi UBUNTU 17.04 LTS, Setelah UBUNTU 17.04 LTS sudah terinstall pada server maka dilanjutkan dengan instalasi wordpress, suricata dan telegram pada *smartphone*, konfigurasi sistem dan pembuatan aplikasi *transfer log* pada telegram.

5 Hasil dan Pembahasan

Pada bab V Hasil dan Pembahasan ini akan menjelaskan tentang uji sistem mobile monitoring keamanan yang akan dilakukan oleh *PC Attacker*, pengujian sistem deteksi dengan *tools* suricata, uji serang pada sistem yang sudah di bangun di Bab IV Analisa dan Membangun Sistem.

5.1. Pengujian Serangan Ke Server Web Vulnerability

Pengujian serangan terhadap *Web Vulnerability* PC server yang di install suricata dilakukan dengan beberapa *tools* untuk melakukan serangan pada *web* aplikasi yang dilakukan oleh *PC Attacker*. Untuk memastikan bahwa sistem monitoring yang di bangun berjalan.

5.1.1 Menggunakan WPScan

WPScan merupakan *tools vulnerability scanner* untuk CMS wordpress WPScan mampu mendeteksi kerentanan umum serta daftar semua *plugin* dan *themes* yang digunakan oleh sebuah *website* yang menggunakan CMS wordpress yang

sudah di bangun di PC server



Gambar 6 Wordpress PC Server

Pada gambar 6 wordpress pada PC server yang menjadi target pengujian serangan *web vulnerability*.



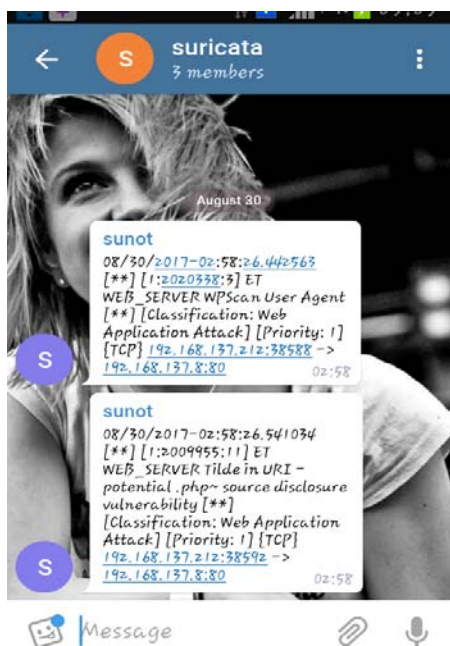
Gambar 7 WPScan Scanning Wordpress

Masuk terminal WPScan dengan menjalankan perintah :
`wpscan -u 192.168.137.8/scata/wordpress/ --enumerate u`
 -u adalah URL target
 --enumerate u adalah untuk *scan username*.
 WPScan berhasil mendeteksi *username* admin pada

wordpress PC server dengan login menggunakan nama dias.
Dan suricata berhasil mendeteksi *scanning attacker*.
Log deteksi suricata dari hasil serangan WPScan.

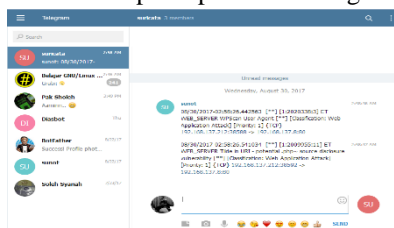
```
08/30/2017-02:58:26.442563  [**] [1:2020338:3] ET WEB_SERVER_W
PScan User Agent [**] [Classification: Web Application Attack]
[Priority: 1] {TCP: 192.168.137.212:38588 -> 192.168.137.8:80
08/30/2017-02:58:26.541034  [**] [1:2009955:11] ET WEB_SERVER
Tilde in URI - potential .php? source disclosure vulnerability
[**] [Classification: Web Application Attack] [Priority: 1] {
TCP: 192.168.137.212:38592 -> 192.168.137.8:80
```

Gambar 8 Log Suricata Deteksi WPScan



Gambar 9 WPScan Notifikasi *Telegram Messenger*

Tampilan notifikasi yang masuk pada telegram saat pengujian menggunakan WPScan. Notifikasi saat terjadinya ancaman juga dapat masuk saat meggunakan *Web telegram messenger* maupun aplikasi telegram *messenger* pada *smartphone*. berikut tampilan pada *web telegram*.



Gambar 10 Tampilan *Web Telegram* Deteksi WPScan

5.1.2 Menggunakan Nikto

Nikto adalah alat *scanning* aplikasi *web* yang mencari kesalahan konfigurasi, direktori *web* diakses secara terbuka dan sejumlah kerentanan aplikasi *web*. Dalam pengujian kali ini *tools* nikto sudah terinstall di Kali Linux. Target pengujian nikto terhadap *web* PC server dengan *IP address* 192.168.137.8.

Lalu jalankan nikto dengan perintah `-h` untuk mencari

hostname pada target.

```

Wed Aug 30 03:06:15 WIB 2017
root@Para:~# nikto -h 192.168.137.8
- Nikto v2.1.6
-----
+ Target IP: 192.168.137.8
+ Target Hostname: 192.168.137.8
+ Target Port: 80
+ Start Time: 2017-08-30 03:06:31 (GMT7)
-----
+ Server: Apache/2.4.25 (Ubuntu)
+ Server leaks inodes via ETags, header found with file /, fields:
  0x2aa6 0x555dd75ab3ab5
+ The anti-clickjacking X-Frame-Options header is not present.
+ The X-XSS-Protection header is not defined. This header can hint
  to the user agent to protect against some forms of XSS
+ The X-Content-Type-Options header is not set. This could allow t
  he user agent to render the content of the site in a different fas
  hion to the MIME type
+ No CGI Directories found (use '-C all' to force check all possib
  le dirs)
+ Allowed HTTP Methods: HEAD, GET, POST, OPTIONS
+ Uncommon header 'x-robots-tag' found, with contents: noindex, no
  follow
+ Uncommon header 'x-ob_mode' found, with contents: 1
+ Uncommon header 'x-permitted-cross-domain-policies' found, with
  contents: none
+ OSVDB-3233: /icons/README: Apache default file found.
+ /phpmyadmin/: phpMyAdmin directory found
+ 7686 requests: 0 error(s) and 10 item(s) reported on remote host
+ End Time: 2017-08-30 03:06:48 (GMT7) (17 seconds)
-----
+ 1 host(s) tested

*****
*****

```

Gambar 11 Tampilan *Scanning* Nikto

Dari hasil *scanning* dengan nikto, *attacker* mendapatkan informasi *hostname* dan *port* yang digunakan pada PC server, serta *hostname* menggunakan Apache versi 2.4.5 dan *phpmyadmin*

Pergerakan *attacker scanning* nikto terdeteksi oleh suricata berhasil mengcapturenya.

```
08/30/2017-03:06:32.237921  [**] [1:2002677:13] ET SCAN Nikto Web
App Scan in Progress [**] [Classification: Web Application Attac
k] [Priority: 1] {TCP} 192.168.137.212:38632 -> 192.168.137.8:80

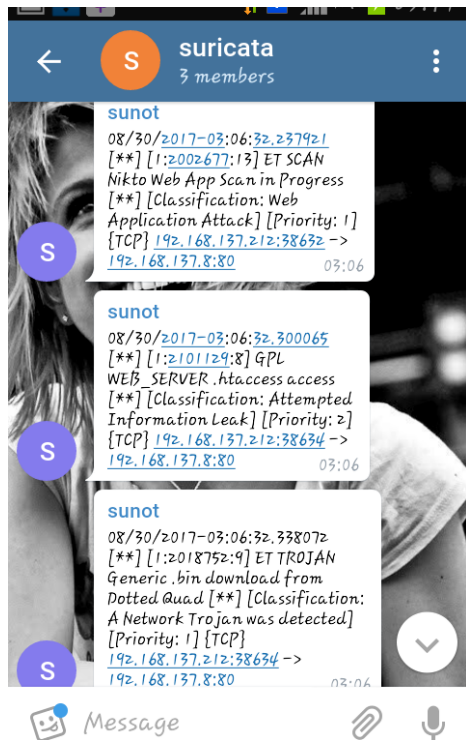
08/30/2017-03:06:32.300065  [**] [1:2101129:8] GPL WEB_SERVER .ht
access access [**] [Classification: Attempted Information Leak] [
Priority: 2] {TCP} 192.168.137.212:38634 -> 192.168.137.8:80

08/30/2017-03:06:32.338072  [**] [1:2018752:9] ET TROJAN Generic
.bin download from Dotted Quad [**] [Classification: A Network Tr
ojan was detected] [Priority: 1] {TCP} 192.168.137.212:38634 -> 1
92.168.137.8:80

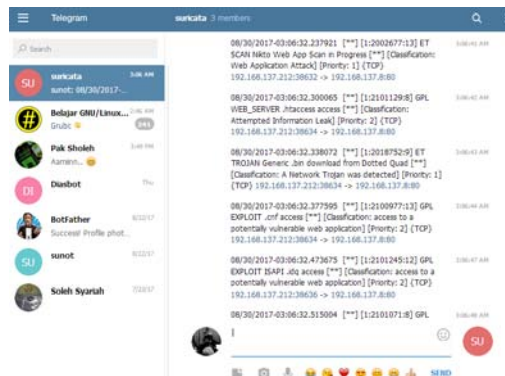
08/30/2017-03:06:32.377595  [**] [1:2100977:13] GPL EXPLOIT .cnf
access [**] [Classification: access to a potentially vulnerable w
eb application] [Priority: 2] {TCP} 192.168.137.212:38634 -> 192.
168.137.8:80
```

Gambar 12 *Log* Suricata Deteksi Nikto

Log deteksi serangan suricata sampai pada telegram



Gambar 13. Nikto Notifikasi Telegram Messenger
Tampilan notifikasi pada web telegram dari hasil deteksi suricata terhadap serangan menggunakan nikto web scanning.



Gambar 14 Tampilan Web Telegram Deteksi Nikto

Pengujian *Web Vulnerability* dari beberapa jenis *tools* yang di gunakan *attacker* seperti *port scanning* menggunakan Nmap, *web exploite* menggunakan WPScan, *web scanning* menggunakan Nikto telah berjalan. Bot *engine transfer log* yang sudah dibuat dan diaktifkan dan di jalankan pada *operating system* ubuntu server. Bot *engine* bekerja sesuai perintah yang di input dalam program (*Source Code*) untuk mengolah dan menstransfer *file* fast.log suricata kepada bot API telegram lalu mengirim *file* tersebut ke telegram *user* dalam bentuk tampilan *chats* berisi informasi deskripsi kejadian ancaman yang sudah di deteksi dan *capture* oleh suricata. Maka dari itu penulis dapat menarik kesimpulan

yang akan di bahas pada bab selanjutnya serta saran untuk penelitian selanjutnya dari kekurangan sistem yang dibangun.

6 Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

1. Menggunakan suricata dengan mengaktifkan *rules* serta mengkonfigurasi alamat *host* yang akan di lindungi, monitoring terhadap PC sever dimana terdapat *web* aplikasi di dalamnya dapat berjalan. Suricata berhasil mendekteksi beberapa jenis ancaman yang di lakukan *attacker*.
2. Dari hasil uji coba sistem, *telegram messenger* dapat menerima informasi serangan yang sudah di deteksi suricata sehingga sistem berjalan sesuai perancangan.
3. Dengan menerapkan sistem deteksi yang terintegrasi adanya notifikasi melalui aplikasi *telegram messenger* monitoring secara mobile dapat di lakukan menggunakan *smartphone*.

6.2 Saran

1. Dalam pengembangannya diharapkan dapat memanfaatkan aplikasi yang lebih baru seperti pemanfaatan teknologi berbasis android.
2. Diharapkan aplikasi ini dapat dikembangkan dengan penanggulangan serangan pada jaringan komputer secara langsung melalui metode yang sama atau metode yang lebih baik lagi.
3. Pengembangan aplikasi dengan memiliki banyak fungsi bukan hanya sebagai sistem monitoring.

Kepustakaan

- [1]. Sopandi, Dede. 2010. "Instalasi dan Konfigurasi Jaringan Komputer". Bandung: Informatika Bandung.
- [2]. Pratama, I Putu Agus Eka. 2014. "Handbook Jaringan Komputer". Bandung: Informatika.
- [3]. Catur L., Azis & Herlambang, Moch. Linto. 2008. "Panduan lengkap menguasai router masa depan menggunakan mikrotik routerOS". Yogyakarta : Andi Publisher Yogyakarta.
- [4]. Sofana, Iwan. 2008. "Membangun Jaringan Komputer". Bandung : Informatika Bandung.
- [5]. Ariyus, Dony, 2007 "Intrusion Detection System" Yogyakarta : Pernerbit Andi.
- [6]. Sukamanji, Anjik dan Rianto 2008. " Jaringan Komputer" Yogyakarta : Andi
- [7]. Casley, J., and Kumar, 1989. The collection, analysis and use of monitoring and evaluation data. A word bank publication.
- [8]. Clayton, Eric, Petry Francoise. 1983, Monitoring for agricultural and rural development project. The macmillan. London.
- [9]. Scarfone Karen, Mell Peter, "Network Based IDPS" in Guide to Intrusion Detection and Prevention Systems (IDPS), Special Publication 800-94, National Institute of Standards and Technology, 2007
- [10]. Saint 2008, Integrated Network Vulnerability And Penetration Testing http://www.saintcorporation.com/resources/SAINT_integrated_pen_testing.pdf
- [11]. S'to, 2009, CEH : 100% Illegal, Jakarta : Jakasom.

- [12]. M. K. S. M. Alim Nuryanto, "Analisis Dan Implementasi Suricata, Snorby, Dan Barnyard2," 2015.
- [13]. Von Hagen, William. 2007 Ubuntu Linux Bible. Indiana: Wiley Publishing, Inc.
- [14]. OISF, 2015. "Suricata Documentation" Diakses dari <http://redmine.openinfosecfoundation.org/projects/suricata/wiki> (tanggal 4 juni 2016).
- [15]. Wirawan, 2007, "Langkah mudah membangun jaringan", andi : Yogyakarta.
- [16]. Arzikin, Hasnul, 2011 "Kitab Suci Jaringan Komputer Dan Koneksi Internet", Yogyakarta :Mediakom.
- [17]. <http://sapacerita.blogspot.co.id/2016/01/kelebihan-dan-kekurangan-telegram.html> (di akses pada tanggal 28 juli 2016).
- [18]. <https://core.telegram.org/bots> (di akses pada tanggal 6 juli 2017).
- [19]. <https://rizaumi.github.io/2015/12/11/mengenal-bot-telegram> (di akses pada tanggal 6 juli 2017)..

PENJADWALAN IMUNISASI ANAK USIA 0 – 18 TAHUN MENGUNAKAN METODE FORWARD CHAINING

Yana Adharani^{1*}, Popy Meilina²

Universitas Muhammadiyah Jakarta
Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta Pusat.
Telp (021)4256024

E-mail: yana.adharani@ftumj.ac.id, popy.meilina@ftumj.ac.id

Abstrak – *Imunisasi merupakan upaya untuk melindungi seseorang atau sekelompok masyarakat dari penyakit tertentu dengan cara meningkatkan kekebalan tubuh hingga tercapai kadar protektif. Untuk mencapai kadar protektif, imunisasi perlu dilakukan sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan. Tidak dilakukannya imunisasi atau pemberian imunisasi yang tidak sesuai jadwal sangat berbahaya karena dapat menyebabkan terjadinya kecacatan, kematian, bahkan endemi di suatu wilayah. Ikatan Dokter Anak Indonesia (IDAI) merupakan organisasi profesi yang memiliki kompetensi dalam menentukan penjadwalan imunisasi. Tahun 2017 IDAI telah mengeluarkan rekomendasi penjadwalan imunisasi terbaru. Oleh karena itu dalam penelitian ini dibuat aturan penjadwalan imunisasi untuk anak usia 0 – 8 tahun dengan menggunakan metode forward chaining berdasarkan standar yang direkomendasikan IDAI tahun 2017. Dari hasil penelitian diperoleh 98 aturan penarikan kesimpulan yang dapat digunakan sebagai landasan dalam pemberian informasi penjadwalan imunisasi beserta jenis vaksin yang dianjurkan menurut standar Ikatan Dokter Anak Indonesia tahun 2017.*

Kata kunci: *Imunisasi, Penjadwalan Imunisasi, Vaksin, Forward Chaining*

1 Pendahuluan

TBC, polio, hepatitis, difteri, tetanus, campak, HiB, pneumokokus, radang otak dan cacar air merupakan beberapa penyakit berbahaya yang dapat menyebabkan kecacatan bahkan kematian. Pada tahun 1974 *World Health Organization* (WHO) telah menetapkan Indonesia bebas dari penyakit cacar, disusul pada tanggal 27 Maret 2014 Indonesia memperoleh sertifikat bebas polio [1]. Keberhasilan dalam pencegahan penyakit polio dan cacar belum diikuti dengan keberhasilan untuk pencegahan penyakit lainnya. Sebagai contoh pada tahun 2014 terdapat Kejadian Luar Biasa (KLB) Difteri di Sumatera Barat dan Aceh yang mengakibatkan kematian dua orang anak dan puluhan pasien dirawat di ruang isolasi [2]. Hal tersebut merupakan peringatan bagi pemerintah dan masyarakat untuk meningkatkan upaya dalam pencegahan penyebaran penyakit berbahaya khususnya di Indonesia.

Berbagai upaya telah dilakukan pemerintah untuk mencegah timbulnya penyakit berbahaya, salah satunya yaitu melalui program imunisasi wajib. Imunisasi merupakan upaya untuk melindungi seseorang atau sekelompok masyarakat dari penyakit tertentu dengan cara

meningkatkan kekebalan tubuh hingga tercapai kadar protektif. Kadar protektif merupakan kadar zat anti penyakit yang dapat melindungi tubuh [3].

Meskipun pemerintah telah mencanangkan program imunisasi wajib, akan tetapi masih banyak masyarakat yang tidak melakukan imunisasi sesuai jadwal, bahkan tidak mengimunisasi anaknya karena kurangnya pengetahuan, padahal kadar protektif dapat terbentuk jika imunisasi dilakukan sesuai jadwal. Sebagai contoh, data dari Dinas Kesehatan Propinsi Sumatera Barat menunjukkan bahwa pada tahun 2012 terjadi penurunan yang cukup tajam dalam cakupan imunisasi, yaitu dari 93% ke 35% [1]. Hal tersebut sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan seseorang atau sekelompok masyarakat terjangkit penyakit berbahaya.

Ikatan Dokter Anak Indonesia (IDAI) merupakan salah satu organisasi profesi yang memiliki kewenangan untuk merekomendasikan penjadwalan imunisasi. Saat ini IDAI telah menerbitkan rekomendasi penjadwalan imunisasi terbaru tahun 2017. Oleh karena itu untuk mendukung program pemerintah Indonesia dan WHO dalam memberantas penyakit berbahaya, maka pada penelitian ini dibuat *rules* penjadwalan imunisasi berdasarkan rekomendasi Ikatan Dokter Anak Indonesia (IDAI) tahun

2017 untuk anak usia 0 – 18 tahun. Pembuatan *rules* penjadwalan imunisasi rekomendasi IDAI 2017 menggunakan metode *forward chaining*.

Forward Chaining merupakan teknik pengumpulan informasi (fakta) untuk kemudian diambil kesimpulan. Metode *forward chaining* disebut juga dengan *data-driven reasoning* karena penalaran diawali dengan fakta untuk selanjutnya dilakukan penarikan kesimpulan.

2 Landasan Teori

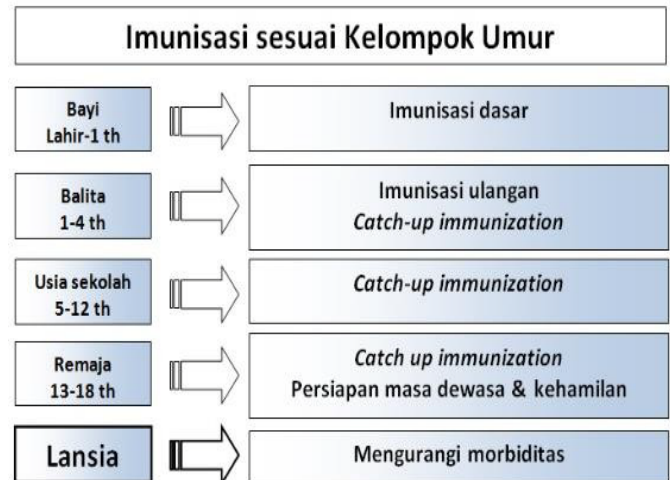
Imunisasi merupakan upaya untuk melindungi seseorang atau sekelompok masyarakat dari penyakit tertentu dengan cara membentuk zat antibodi hingga tercapai kadar protektif. Kadar protektif merupakan kadar zat anti penyakit yang dapat melindungi [3]. Untuk mencapai kadar protektif, imunisasi harus diberikan sesuai jadwal yang telah ditentukan, sehingga jika ada imunisasi yang belum diberikan sesuai jadwal yang seharusnya atau tertunda, maka harus secepatnya dilakukan kejar imunisasi [3].

Jadwal imunisasi terbagi atas jadwal imunisasi dasar dan jadwal imunisasi ulangan, ada yang cukup satu kali imunisasi, ada yang memerlukan beberapa kali imunisasi, dan ada yang perlu pengulangan pada umur tertentu [3]. Penjadwalan imunisasi dilakukan berdasarkan rekomendasi WHO dan organisasi profesi yang diakui setelah melalui uji klinis, seperti Ikatan Dokter Anak Indonesia.

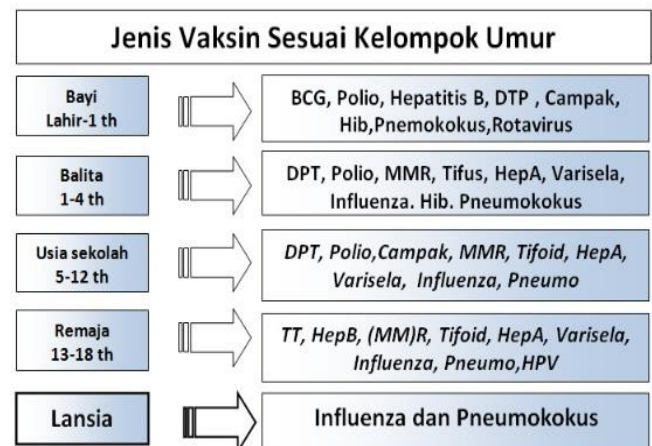
Imunisasi yang wajib diberikan merupakan imunisasi yang telah menjadi komitmen global, artinya harus diberikan oleh semua negara di dunia. Imunisasi yang termasuk kedalam komitmen global adalah imunisasi polio, tetanus, pertusis, campak, Hib, hepatitis B, dan rotavirus [4]. Sementara itu imunisasi BCG hanya dianjurkan bagi negara endemis [4].

2.1. Jenis – Jenis Vaksin

Menurut WHO imunisasi dan jenis vaksin dapat dikelompokkan berdasarkan usia seperti yang tertera pada Gambar 1 dan Gambar 2. Dari Gambar 2, menurut [3] bayi baru lahir hingga usia 1 tahun wajib diberikan imunisasi dasar untuk memberikan kekebalan terhadap penyakit yang berbahaya diawal masa pertumbuhan. Imunisasi ulangan diberikan saat anak berusia 1 – 4 tahun. Imunisasi ulangan bertujuan untuk menambah masa kekebalan. Pada rentang usia 1 – 4 tahun juga dilakukan *catch up* imunisasi, yaitu melengkapi imunisasi yang belum lengkap. Selanjutnya *catch up* imunisasi diulang pada usia 5 – 12 tahun dan usia remaja 13 – 18 tahun.



Gambar 1. Rancangan Imunisasi "WHO" [5]

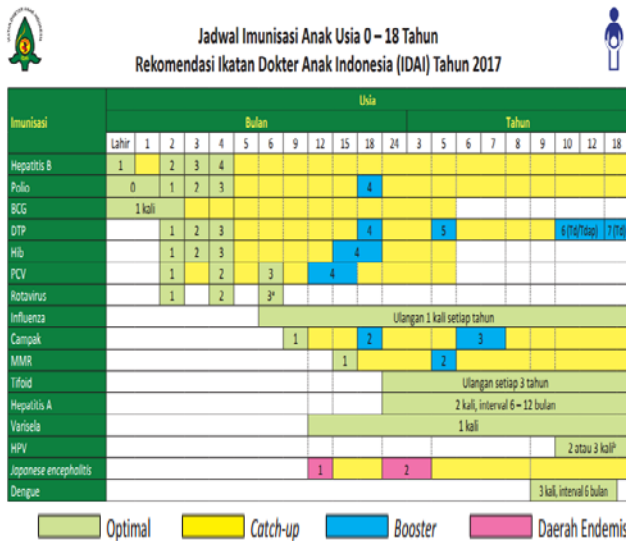


Gambar 2. Jenis Vaksin Sesuai Kelompok Usia [5]

2.2. Jadwal Imunisasi

Imunisasi bertujuan untuk melindungi seseorang atau sekelompok masyarakat dari bahaya akibat penyakit tertentu. Dengan imunisasi diharapkan dapat terbentuk zat antibodi dengan kadar protektif yang dapat melindungi tubuh dari serangan penyakit.

Untuk mencapai kadar protektif, imunisasi harus diberikan sesuai jadwal yang telah ditentukan. Jadwal imunisasi terbagi atas jadwal imunisasi dasar dan jadwal imunisasi ulangan. Jadwal imunisasi tahun 2017 yang dikeluarkan oleh IDAI dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Jadwal Imunisasi Anak Umur 0-18 Tahun Rekomendasi IDAI [6]

Keterangan penjadwalan imunisasi diatas adalah sebagai berikut [6]:

- **Vaksin Hepatitis B (HB).** HB pertama (monovalen) paling baik diberikan dalam waktu 12 jam setelah lahir dan didahului pemberian suntikan vitamin K₁ minimal 30 menit sebelumnya. Jadwal pemberian vaksin HB monovalen adalah usia 0,1, dan 6 bulan. Bayi lahir dari ibu HBsAg positif, diberikan vaksin HB dan imunoglobulin hepatitis B (HBIG) pada ekstremitas yang berbeda. Apabila diberikan HB kombinasi dengan DTPw, maka jadwal pemberian pada usia 2, 3, dan 4 bulan. Apabila vaksin HB kombinasi dengan DTPa, maka jadwal pemberian pada usia 2, 4, dan 6 bulan.
- **Vaksin Polio.** Pemberian vaksin polio apabila lahir di rumah segera berikan OPV-0. Apabila lahir di sarana kesehatan, OPV-0 diberikan saat bayi dipulangkan. Selanjutnya, untuk polio-1, polio-2, polio-3, dan polio booster diberikan OPV atau IPV. Paling sedikit harus mendapat satu dosis vaksin IPV bersamaan dengan pemberian OPV-3.
- **Vaksin BCG.** Pemberian vaksin BCG dianjurkan sebelum usia 3 bulan, optimal usia 2 bulan. Apabila diberikan pada usia 3 bulan atau lebih, perlu dilakukan uji tuberkulin terlebih dahulu.
- **Vaksin DTP.** Vaksin DTP pertama diberikan paling cepat pada usia 6 minggu. Dapat diberikan vaksin DTPw atau DTPa atau kombinasi dengan vaksin lain. Apabila diberikan vaksin DTPa maka interval mengikuti rekomendasi vaksin tersebut yaitu usia 2, 4, dan 6 bulan. Untuk anak usia lebih dari 7 tahun diberikan vaksin Td atau Tdap. Untuk DTP 6 dapat diberikan Td/Tdap pada usia 10-12 tahun dan booster Td diberikan setiap 10 tahun.
- **Vaksin Pneumokokus (PCV).** Apabila diberikan pada

usia 7-12 bulan, PCV diberikan 2 kali dengan interval 2 bulan dan pada usia lebih dari 1 tahun diberikan 1 kali. Keduanya perlu booster pada usia lebih dari 12 bulan atau minimal 2 bulan setelah dosis terakhir. Pada anak usia di atas 2 tahun PCV diberikan cukup satu kali.

- **Vaksin Rotavirus.** Vaksin rotavirus monovalen diberikan 2 kali, dosis pertama diberikan pada usia 6-14 minggu (dosis pertama tidak diberikan pada usia >15 minggu), dosis ke-2 diberikan dengan interval minimal 4 minggu. Batas akhir pemberian pada usia 24 minggu. Vaksin rotavirus pentavalen diberikan 3 kali, dosis pertama diberikan usia 6-14 minggu (dosis pertama tidak diberikan pada usia >15 minggu), dosis kedua dan ketiga diberikan dengan interval 4-10 minggu. Batas akhir pemberian pada usia 32 minggu.
- **Vaksin Influenza.** Vaksin influenza diberikan pada usia lebih dari 6 bulan, diulang setiap tahun. Untuk imunisasi pertama kali (primary immunization) pada anak usia kurang dari 9 tahun diberi dua kali dengan interval minimal 4 minggu. Untuk anak 6-36 bulan, dosis 0,25 mL. Untuk anak usia 36 bulan atau lebih, dosis 0,5 mL.
- **Vaksin Campak.** Vaksin campak kedua (18 bulan) tidak perlu diberikan apabila sudah mendapatkan MMR.
- **Vaksin MMR/MR.** Apabila sudah mendapatkan vaksin campak pada usia 9 bulan, maka vaksin MMR/MR diberikan pada usia 15 bulan (minimal interval 6 bulan). Apabila pada usia 12 bulan belum mendapatkan vaksin campak, maka dapat diberikan vaksin MMR/MR.
- **Vaksin Varisela.** Vaksin varisela diberikan setelah usia 12 bulan, terbaik pada usia sebelum masuk sekolah dasar. Apabila diberikan pada usia lebih dari 13 tahun, perlu 2 dosis dengan interval minimal 4 minggu.
- **Vaksin Human Papiloma Virus (HPV)** Vaksin HPV diberikan mulai usia 10 tahun. Vaksin HPV bivalen diberikan tiga kali dengan jadwal 0, 1, 6 bulan; vaksin HPV tetravalen dengan jadwal 0,2,6 bulan. Apabila diberikan pada remaja usia 10-13 tahun, pemberian cukup 2 dosis dengan interval 6-12 bulan; respons antibodi setara dengan 3 dosis.
- **Vaksin Japanese Encephalitis (JE).** Vaksin JE diberikan mulai usia 12 bulan pada daerah endemis atau turis yang akan bepergian ke daerah endemis tersebut. Untuk perlindungan jangka panjang dapat diberikan booster 1-2 tahun berikutnya.
- **Vaksin Dengue.** Diberikan pada usia 9-16 tahun dengan jadwal 0, 6, dan 12 bulan.

2.3. Metode Forward Chaining

Forward Chaining merupakan teknik pengumpulan informasi (fakta) untuk kemudian diambil kesimpulan. Karena penalaran diawali dari fakta baru ditarik kesimpulan, maka metode *forward chaining* disebut juga dengan *data-driven reasoning*. *Knowledge base* pada metode *forward*

chaining biasanya berbentuk IF-THEN *rules* seperti dibawah ini [7].

left hand side (LHS) → right hand side (RHS)

LHS merupakan kumpulan kondisi (fakta) yang harus dicocokkan dengan *rules* agar dapat dieksekusi. Data-data tersebut disimpan dalam *database of fact*. Sementara itu RHS adalah aksi yang harus dilakukan jika LHS sesuai dengan *rules* yang tersedia. Adapun langkah-langkah dalam metode *forward chaining* adalah sebagai berikut:

1. Input fakta kedalam sistem. Fakta tersebut nantinya akan tersimpan di *database of fact*.
2. Pada *inference engine* akan dipilih *rules* di *knowledge based* yang memiliki LHS sesuai dengan fakta sebenarnya yang terdapat pada *database of fact*
3. Eksekusi *Right Hand Side (RHS)*

Ulangi mulai dari langkah 2 hingga tidak ada lagi LHS pada *rules* yang bersesuaian dengan fakta.

3 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah dalam penelitian ini dibagi kedalam tiga tahap, yaitu pengumpulan data, pembentukan basis pengetahuan (*knowledge base*), dan pembuatan aturan pengambilan kesimpulan (*rules of inference*). Pada tahap pengumpulan data dilakukan pencarian informasi penjadwalan imunisasi berdasarkan rekomendasi Ikatan Dokter Anak Indonesia (IDAI). Dari hasil pengumpulan data diperoleh jenis vaksin dan penjadwalan imunisasi terbaru rekomendasi IDAI tahun 2017 untuk anak usia 0 – 18 tahun. Data diperoleh dari website resmi IDAI seperti yang tertera pada gambar 3.

Pada tahap kedua dilakukan pembentukan Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*). *Knowledge Base* dibuat berdasarkan data yang diperoleh pada tahap pertama. Pembentukan *knowledge base* terdiri dari pengkodean dan pembuatan tabel keputusan

Tahap akhir yaitu pembuatan aturan penarikan kesimpulan (*Rules of Inferences*). Aturan penarikan kesimpulan menggunakan metode *forward chaining* berupa IF – THEN *rules*. *Left hand side* pada aturan penarikan kesimpulan merupakan usia anak, sementara *right hand side* berupa jenis vaksin yang harus diberikan pada anak usia tertentu. Jika fakta yang berupa usia anak sesuai dengan *left hand side* maka selanjutnya dilakukan eksekusi *right hand side* sehingga dapat diperoleh jenis vaksin apa yang sesuai dengan usia anak. Proses tersebut akan terus dilakukan hingga tidak ada lagi *left hand side* yang bersesuaian dengan fakta.

4 Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data penjadwalan imunisasi rekomendasi IDAI tahun 2017 seperti yang tertera pada gambar 3, maka tahapan selanjutnya dibentuk *knowledge base* berupa pengkodean dan pembentukan tabel keputusan seperti yang tertera pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Pengkodean Vaksin

No	Kode Vaksin	Nama Vaksin
1	hb1	Hepatitis B – 1
2	hb2	Hepatitis B – 2
3	hb3	Hepatitis B – 3
4	hb4	Hepatitis B – 4
5	Hbc	<i>catch-up</i> Hepatitis B
6	pl0	Polio – 0
7	pl1	Polio – 1
8	pl2	Polio – 2
9	pl3	Polio – 3
10	pl4	Booster Polio
11	Plc	<i>catch-up</i> polio
12	Bcg	BCG
13	Bcgc	<i>catch-up</i> BCG
14	dtp1	DTP – 1
15	dtp2	DTP – 2
16	dtp3	DTP – 3
17	dtp4	Booster DTP – 4
18	dtp5	Booster DTP – 5
19	dtp6	Booster TD/TDAP – 6
20	dtp7	Booster TD – 7
21	Dtpc	<i>catch-up</i> DTP
22	hib1	Hib – 1
23	hib2	Hib – 2
24	hib3	Hib – 3
25	hib4	Booster Hib
26	Hibc	<i>catch-up</i> Hib

No	Kode Vaksin	Nama Vaksin
27	pcv1	PCV – 1
28	Pcv2	PCV – 2
29	pcv3	PCV – 3
30	pcv4	Booster pcv
31	pcvc	<i>catch-up</i> PCV
32	rtv1	Rotavirus – 1
33	rtv2	Rotavirus – 2
34	rtv3	Rotavirus – 3
35	inf	Influenza
36	cmp1	Campak
37	cmp2	Booster campak – 2
38	cmp3	Booster campak – 3
39	cmpc	<i>catch-up</i> campak
40	mmr1	MMR
41	mmr2	Booster MMR
42	mmrc	<i>Catch up</i> MMR
43	tf1	Tifoid – 1
44	tf2	Tifoid – 2
45	tf3	Tifoid – 3
46	tf4	Tifoid – 4
47	tf5	Tifoid – 5
48	tf6	Tifoid – 6
49	Ha	Hepatitis A
50	Var	Varisela
51	hvp1	HPV – 1
52	hvp2	HPV – 2
53	je1	Japanese Encephalitis – 1
54	je2	Japanese Encephalitis – 2
55	Jec	<i>Catch up</i> Japanese Encephalitis
56	Dng1	Dengue – 1
57	Dng2	Dengue – 2

No	Kode Vaksin	Nama Vaksin
58	Dng3	Dengue – 3

Tabel 2. Tabel Keputusan

Imunisasi	USIA																							
	Bulan												Tahun											
	0	1	2	3	4	5	6	9	12	15	18	24	3	5	6	7	8	9	10	12	15	18		
hb1	√																							
hb2			√																					
hb3				√																				
Hb4					√																			
Hbc		√				√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
pl0		√																						
pl1			√																					
pl2				√																				
pl3					√																			
pl4											√													
plc						√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
bcg		√																						
bcgc				√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√										
dtp1			√																					
dtp2				√																				
dtp3					√																			
dtp4											√													
dtp5														√										
dtp6																			√					
dtp7																				√				
dtpc						√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
hib1			√																					
hib2				√																				
hib3					√																			
hib4											√	√												
hibc						√	√	√	√	√	√	√	√	√	√									
pcv1			√																					
Pcv2				√																				
pcv3					√																			
pcv4										√	√	√												
pcvc			√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√									
rtv1			√																					
rtv2				√																				
rtv3					√																			
inf													√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
cmp1								√														√		
cmp2											√													
cmp3																								
cmpc											√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		

Imunisasi	USIA																							
	Bulan												Tahun											
	0	1	2	3	4	5	6	9	12	15	18	24	3	5	6	7	8	9	10	12	15	18		
mmr1											√													
mmr2														√										
mmrc													√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
tf1												√												
tf2														√										
tf3																	√							
tf4																				√				
tf5																					√			
tf6																						√		
ha													2 kali, interval 6 – 12 bulan											
var													1 kali											
hvp1																				√				
hvp2																				√				
je1										√														
je2											√													
jec											√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		
Dng																		3 kali, interval 6 bulan						

Setelah dilakukan pembuatan *knowledge base*, tahap selanjutnya adalah pembuatan aturan penarikan kesimpulan untuk pemberian informasi jadwal imunisasi beserta jenis

vaksin yang dianjurkan. Dari *knowledge base* diatas dapat diperoleh 98 aturan. Aturan penarikan kesimpulan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Aturan Penarikan Kesimpulan

Rule	IF	THEN
R1	Usia = 0 bulan DAN belum hb1	hb1
R2	0 bulan < Usia < 2 bulan DAN belum hb1	Hbc
R3	$0 \leq \text{Usia} \leq 1$ DAN belum pl0	pl0
R4	$0 \leq \text{Usia} \leq 2$ DAN belum bcg	Bcg
R5	Usia = 2 bulan DAN belum hb2	hb2
R6	Usia = 2 bulan DAN belum pl1	pl1
R7	Usia = 2 bulan DAN belum dtp1	dtp1
R8	Usia = 2 bulan DAN belum hib1	hib1
R9	Usia = 2 bulan DAN belum pcv1	pcv1
R10	Usia = 2 bulan DAN belum rtv1	rtv1
R21	Usia = 3 bulan DAN belum hb3	hb3
R22	Usia = 3 bulan DAN belum pl2	pl2
R23	Usia = 3 bulan DAN belum dtp2	dtp2
R24	Usia = 3 bulan DAN belum hib2	hib2
R25	$(3 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 60 \text{ bulan})$ DAN belum bcg	Bcgc
R26	Usia = 3 bulan DAN belum pcv1	pcv1
R27	Usia = 4 bulan DAN belum hb4	hb4
R28	Usia = 4 bulan DAN belum pl3	pl3
R29	Usia = 4 bulan DAN belum dtp3	dtp3
R30	Usia = 4 bulan DAN belum hib3	hib3
R31	Usia = 4 bulan DAN belum pcv2	pcv2
R32	Usia = 4 bulan DAN belum rtv2	rtv2
R33	$(5 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 216 \text{ bulan})$ DAN (belum hb1 ATAU belum hb2 ATAU belum hb3 ATAU belum hb4)	hbc
R34	$(5 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 15 \text{ bulan})$ DAN (belum pl0 ATAU belum pl1 ATAU belum pl2 ATAU belum pl3)	plc
R35	$(24 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 216 \text{ bulan})$ DAN (belum pl0 ATAU belum pl1 ATAU belum pl2 ATAU belum pl3 ATAU belum pl4)	plc
R36	$(5 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 15 \text{ bulan})$ DAN (belum dtp1 ATAU belum dtp2 ATAU belum dtp3)	dtpc

Rule	IF	THEN
R37	$(24 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 36 \text{ bulan})$ DAN (belum dtp1 ATAU belum dtp2 ATAU belum dtp3 ATAU dtp4)	dtpc
R38	$(72 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 108 \text{ bulan})$ DAN (belum dtp1 ATAU belum dtp2 ATAU belum dtp3 ATAU belum dtp4 ATAU belum dtp5)	Dtpc
R39	$[(5 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 12 \text{ bulan})]$ DAN (belum hib1 ATAU belum hib2 ATAU belum hib3)	hibc
R40	$[(24 \text{ bulan} \leq \text{Usia} < 60 \text{ bulan})]$ DAN (belum hib1 ATAU belum hib2 ATAU belum hib3 atau belum hib4)	hibc
R41	Usia = 5 bulan DAN (belum pcv1 atau pcv2)	pcvc
R42	Usia = 6 bulan DAN belum pcv3	pcv3
R43	Usia = 6 bulan DAN belum rtv3	rtv3
R44	Usia = 6 bulan DAN belum cmp1	cmp1
R45	Usia = 6 bulan DAN belum inf1	Inf1
R46	Usia = 9 bulan DAN (belum pcv1 ATAU belum pcv2 ATAU belum pcv3)	pcvc
R47	Usia = 9 bulan DAN belum cmp1	cmp1
R48	$(18 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 60 \text{ bulan})$ DAN [(belum pcv1) ATAU (belum pcv2) ATAU (belum pcv3) ATAU (belum pcv4)]	pcvc
R49	$(12 \text{ bulan} < \text{Usia} < 15 \text{ bulan})$ DAN belum pcv4	pcv4
R50	$(12 \text{ bulan} < \text{Usia} < 15 \text{ bulan})$ DAN belum cmp1	cmpe
R51	$(24 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 60 \text{ bulan})$ DAN (belum cmp1 ATAU belum cmp2)	cmpe
R52	$(96 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 216 \text{ bulan})$ DAN (belum cmp1 ATAU belum cmp2 ATAU belum cmp3)	cmpe
R53	$(12 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 216 \text{ bulan})$ DAN belum var	Var
R54	Usia = 12 bulan dan belum je1	je1
R55	$(15 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 18 \text{ bulan})$ DAN belum hib4	hib4
R56	$(15 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 18 \text{ bulan})$ DAN belum je1	Jec
R57	Usia = 15 bulan DAN belum mmr1	mmr1
R58	Usia = 18 bulan DAN belum pl4	pl4
R59	Usia = 18 bulan DAN belum dtp4	dtp4
R60	Usia = 18 bulan DAN belum cmp2	cmp2
R61	$(18 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 36 \text{ bulan})$ DAN belum mmr1	mmrc
R62	$(72 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 216 \text{ bulan})$ DAN (belum mmr1 atau belum mmr2)	mmrc
R63	$(24 \text{ bulan} \leq \text{Usia} \leq 36 \text{ bulan})$ dan belum je2	je2
R64	Usia = 60 bulan DAN belum dtp5	dtp5

Rule	IF	THEN
R65	Usia = 60 bulan dan belum mmr2	mmr2
R66	(60 bulan ≤ Usia ≤ 216 bulan) DAN (belum je1 ATAU belum je2)	Jec
R67	(72 bulan ≤ Usia ≤ 84 bulan) DAN belum cmp3	cmp3
R68	(108 bulan ≤ Usia ≤ 144 bulan) DAN belum dng1	dng1
R69	120 bulan ≤ Usia ≤ 144 bulan DAN belum dtp6	dtp6
R70	(108 bulan ≤ Usia ≤ 144 bulan) DAN jarak waktu 6 sampai 12 bulan dari dng1 DAN belum dng2	dng26
R71	(108 bulan ≤ Usia ≤ 144 bulan) DAN jarak waktu 6 sampai 12 bulan dari dng2 DAN belum dng3	dng3
R72	(108 bulan ≤ Usia ≤ 216 bulan) DAN belum hpv1	hpv1
R73	(108 bulan < Usia < 216 bulan) DAN (jarak waktu 6 sampai 12 bulan dari hpv1) DAN belum hpv2	hpv2
R74	(108 bulan < Usia < 216 bulan) DAN (jarak waktu 6 sampai 12 bulan dari hpv2) DAN belum hpv3	hpv3
R75	Usia = 216 bulan DAN belum dtp7	dtp7
R76	(24 bulan < Usia < 216 bulan) DAN belum ha1	ha1
R77	(24 bulan < Usia < 216 bulan) DAN sudah ha1 DAN (tanggal = tanggal ha1+ 6bulan) dan belum ha2	ha2
R78	Usia 24 bulan DAN belum tif1	tif1
R79	Usia 60 bulan DAN belum tif2	tif2
R80	Usia 96 bulan DAN belum tif3	tif3
R81	Usia 132 bulan DAN belum tif4	tif4
R82	Usia 168 bulan DAN belum tif5	tif5
R83	Usia 204 bulan DAN belum tif6	tif6
R84	Usia = 18 bulan DAN belum inf2	inf2
R85	Usia = 30 bulan DAN belum inf3	inf3
R86	Usia = 42 bulan DAN belum inf4	inf4
R87	Usia = 54 bulan DAN belum inf5	inf5
R88	Usia = 66 bulan DAN belum inf6	inf6
R89	Usia = 78 bulan DAN belum inf7	inf7
R90	Usia = 90 bulan DAN belum inf8	inf8
R91	Usia = 102 bulan DAN belum inf9	inf9
R92	Usia = 114 bulan DAN belum inf10	inf10

Rule	IF	THEN
R93	Usia = 150 bulan DAN belum inf11	inf11
R94	Usia = 162 bulan DAN belum inf12	inf12
R95	Usia = 174 bulan DAN belum inf13	inf13
R96	Usia = 186 bulan DAN belum inf14	inf14
R97	Usia = 198 bulan DAN belum inf15	inf15
R98	Usia = 210 bulan DAN belum inf16	inf16

Untuk dapat menentukan jadwal imunisasi berdasarkan aturan diatas, diperlukan fakta awal dari pengguna berupa usia anak. Usia anak akan dicocokkan dengan *left hand side* pada aturan penarikan kesimpulan. Jika terdapat *left hand side* yang bersesuaian dengan usia anak maka akan diperoleh informasi jadwal imunisasi anak beserta jenis vaksin yang diperlukan. Hal tersebut akan dilakukan berulang-ulang hingga tidak ada lagi *left hand side* yang bersesuaian dengan fakta.

Dari hasil penelitian diatas terbukti bahwa metode *forward chaining* dapat digunakan untuk menentukan jadwal imunisasi anak berdasarkan rekomendasi Ikatan Dokter Anak Indonesia tahun 2017. Aturan ini pada penelitian selanjutnya akan digunakan sebagai landasan dalam pemberian informasi penjadwalan imunisasi beserta jenis vaksin yang diperlukan untuk anak usia 0 – 18 tahun.

5 Simpulan

Imunisasi merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kekebalan tubuh hingga tercapai kadar protektif. Kadar protektif dapat tercapai jika imunisasi dilakukan sesuai dengan jadwal yang ditentukan. Berdasarkan hasil penelitian, dengan menggunakan metode *forward chaining* dapat dibuat 98 aturan penarikan kesimpulan untuk penjadwalan imunisasi anak usia 0 – 18 tahun beserta jenis vaksin yang dianjurkan berdasarkan rekomendasi Ikatan Dokter Anak Indonesia tahun 2017.

Kepustakaan

- [1] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Indonesia Bebas Polio," 01 April 2014. <http://www.depkes.go.id/article/print/2014430002/indonesia-bebas-polio.html>. [Diakses 2016].
- [2] P. B. Yanuarso, "Menyoroti Kontroversi Seputar Imunisasi," Ikatan Dokter Anak Indonesia (IDAI), 26 April 2015. <http://www.idai.or.id/artikel/klinik/imunisasi/menyoroti-kontroversi-seputar-imunisasi>. [Diakses 2017].
- [3] K. Rusmil, "Melengkapi/ Mengejar Imunisasi (Bagian I)," Ikatan Dokter Anak Indonesia, 30 Mei 2015. <http://www.idai.or.id/artikel/klinik/imunisasi/melengkapi-mengejar-imunisasi-bagian-i>. [Diakses 2016].
- [4] K. Rusmil, "Melengkapi/ Mengejar Imunisasi (Bagian II)," Ikatan Dokter Anak Indonesia (IDAI), 30 Mei 2015.

- <http://www.idai.or.id/artikel/klinik/imunisasi/melengkapi-mengejar-imunisasi-bagian-ii>. [Diakses 2016].
- [5] Ikatan Dokter Anak Indonesia, "Melengkapi/ Mengejar Imunisasi (Bagian IV)," 30 Mei 2015.<http://www.idai.or.id/artikel/klinik/imunisasi/melengkapimengejar-imunisasi-bagian-iv>. [Diakses 2016].
- [6] Ikatan Dokter Anak Indonesia, "Jadwal Imunisasi 2017," 18 April 2017. <http://www.idai.or.id/artikel/klinik/imunisasi/jadwal-imunisasi-2017>. [Diakses 2017].
- [7] D. Merritt, in *Building Expert Systems in Prolog*, Lebanon , Amzi! inc., 2000.

PENCARIAN *FULL TEXT* PADA KOLEKSI SKRIPSI FAKULTAS TEKNIK UHAMKA MENGGUNAKAN METODE *VECTOR SPACEMODEL*

Miftahul Ari Kusuma^{1*}, Mia Kamayani², Arry Avorizano³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jakarta.
Jl. Tanah Merdeka No. 6 Kampung Rambutan, Jakarta Timur
E-mail: miftahulari25@gmail.com¹, mia.kamayani@uhamka.ac.id², arry.avorizano@uhamka.ac.id³

Abstrak – Memiliki banyak dokumen terkadang sangat merepotkan, terutama disaat ingin mencari dokumen yang dibutuhkan dengan data yang tepat sesuai dengan keinginan. Banyaknya kumpulan skripsi di fakultas teknik UHAMKA membuat mahasiswa kesulitan dalam mencari skripsi yang relevan atau tepat sesuai dengan keinginan yang dicari, sebenarnya sudah ada mesin pencarian pada Perpustakaan Fakultas Teknik UHAMKA tetapi hanya mencari berdasarkan judul, dan pengarangnya saja. Maka, dibuatlah pengembangan mesin pencarian yaitu dengan membuat mesin pencarian *fulltext*, agar mahasiswa dapat mencari skripsi sesuai yang dibutuhkan dari mesin pencarian. Salah satu metode untuk membuat mesin pencarian adalah dengan metode *vector space model* (VSM). *Vector Space Model* (VSM) adalah metode untuk melihat tingkat kedekatan atau kesamaan (similarity) term dengan cara pembobotan term. Perancangan mesin pencarian *full text* ini menggunakan PHP dan ditampilkan berupa halaman web. Pengujian relevansi mesin pencarian dilakukan dengan memasukan beberapa *query* dan mesin pencarian akan menampilkan dokumen relevan, dan relevan itu diuji dengan cara menghitung *precision*, *recall* dan *f-measure* dari masing-masing *query* yang ditampilkan di mesin pencarian dengan nilai rata-rata *precision* 0.63, *recall* 0.92 dan *f-measure* 0.71.

Kata kunci: *Full Text, Mesin Pencarian, Vector Space Model, Kumpulan Skripsi*

1 Pendahuluan

Memiliki banyak dokumen terkadang sangat merepotkan, terutama disaat ingin mencari dokumen yang dibutuhkan dengan data yang tepat sesuai dengan keinginan. Banyaknya kumpulan skripsi di Fakultas Teknik UHAMKA membuat mahasiswa kesulitan dalam mencari skripsi yang relevan atau tepat sesuai dengan keinginan yang dicari, maka dari itu, dokumen yang berbentuk fisik harus didigitalisasi agar dapat menghemat ruang dan tempat. Dokumen yang digitalisasi pun masih ada masalah yaitu sulit untuk mencari dokumen sesuai yang diinginkan dari banyaknya kumpulan dokumen yang ada, maka dari itu harus adanya mesin pencarian untuk mencari dokumen.

Perpustakaan Fakultas Teknik UHAMKA sebenarnya sudah mempunyai mesin pencarian, akan tetapi mesin pencarian di perpustakaan masih mencari berdasarkan judul dan pengarangnya saja. Hal ini membuat mahasiswa masih kesulitan dalam mencari skripsi yang relevan atau sesuai

dengan keinginan yang dicari dikarenakan mesin pencarian perpustakaan masih belum *fulltext*.

Maka, dibuatlah pengembangan mesin pencarian dengan membuat mesin pencarian *fulltext*, agar mahasiswa dapat mencari skripsi sesuai yang dibutuhkan dari mesin pencarian. Mesin pencarian pun harus dapat menampilkan kumpulan skripsi yang relevan, diurutkan dari relevansi yang tertinggi ke terendah. Metode dalam rancang bangun mesin pencarian ada beberapa metode yaitu *vector space model*, *boolean model*, *statistic language model*.

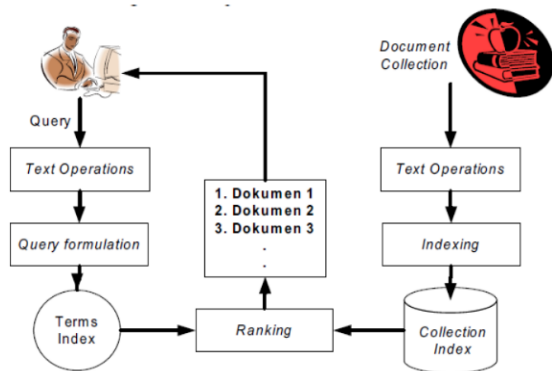
Mesin pencarian *full text* ini dibuat dengan metode *Vector Space Model* (VSM) karena metode ini tidak terlalu sulit, banyaknya pengembangan mesin pencarian dengan metode ini sehingga banyaknya referensi yang didapat dan nilai ketepatannya tinggi. VSM menggunakan konsep yang terdapat pada aljabar linear yaitu ruang *vector*. Hasil dari dokumen yang dicari akan diurutkan dari relevansi tertinggi ke relevansi terendah melalui kemiripan *query* yang diinput.

Berdasarkan masalah diatas, maka penulis mengajukan penelitian dan pembahasan dalam bentuk tugas akhir dengan judul “Pencarian *Full Text* Pada Koleksi Skripsi Fakultas Teknik UHAMKA Menggunakan Metode *Vector Space Model*”.

2 Landasan Teori

2.1. Information Retrieval

Information Retrieval (IR) adalah studi untuk membantu pengguna menemukan informasi yang sesuai dengan kebutuhan informasinya. Secara teknis, IR mempelajari akuisisi, organisasi, penyimpanan, pengambilan dan pendistribusian informasi. Secara historis, IR adalah tentang pengambilan dokumen, menegaskan bahwa dokumen itu adalah sebagai unit dasar [9]. Tujuan IR adalah untuk memenuhi kebutuhan informasi pengguna dengan *retrieve* semua dokumen yang relevan, dan pada waktu yang sama *re-retrieve* sesedikit dokumen yang tak relevan [5]. Gambaran bagian-bagian yang terdapat pada suatu sistem IR digambarkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Bagian-Bagian Information System Retrieval [3]

2.2. Preprocessing Text

Sebelum koleksi dokumen digunakan untuk *retrieval*, beberapa tugas preprocessing biasanya dilakukan. Untuk dokumen teks tradisional (tidak ada tag HTML), tugasnya adalah penghentian kata kunci (stopword removal), stemming, dan penanganan digit, tanda hubung, tanda baca, dan kasus huruf [9].

2.3. Stopword Removal

Proses *stopword removal* merupakan proses penghapusan *term* yang tidak memiliki arti atau tidak relevan. Proses ini dilakukan pada saat proses tokenisasi. Proses *Filtering* menggunakan daftar *stopword* yang digunakan merupakan mekanisme untuk pengindeksan kata dari koleksi teks yang digunakan untuk mempercepat proses pencarian. Elemen penting dalam struktur *inverted file* ada dua, yaitu: kata (*vocabulary*) dan kemunculan (*occurrences*) [2].

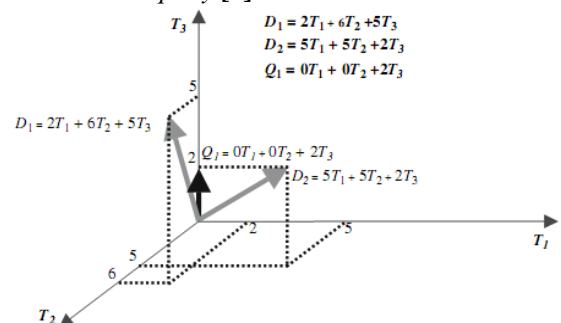
2.3. Stemming

Proses *Stemming* digunakan untuk mengubah *term* yang masih melekat dalam term tersebut awalan, sisipan, dan akhiran. Proses stemming dilakukan dengan cara menghilangkan semua imbuhan (*affixes*) baik yang terdiri dari awalan (*prefixes*), sisipan (*infixes*), akhiran (*suffixes*) dan *confixes* (kombinasi dari awalan dan akhiran) pada kata turunan. *Stemming* digunakan untuk mengganti bentuk dari suatu kata menjadi kata dasar dari kata tersebut yang sesuai dengan struktur morfologi bahasa Indonesia yang benar [2].

2.4. Vector Space Model

Vector Space Model (VSM) mungkin model ini paling banyak orang yang mengetahui dan menggunakannya. Sebuah dokumen dalam model ruang vektor direpresentasikan sebagai bobot vektor, di mana setiap komponen bobot dihitung berdasarkan beberapa variasi skema *TF* atau *TF-IDF* [9].

Vector Space Model (VSM) adalah metode untuk melihat tingkat kedekatan atau kesamaan (*similarity*) term dengan cara pembobotan term. Dokumen dipandang sebagai sebuah vektor yang memiliki *magnitude* (jarak) dan *direction* (arah). Pada *Vector Space Model*, sebuah istilah direpresentasikan dengan sebuah dimensi dari ruang vektor. Relevansi sebuah dokumen ke sebuah *query* didasarkan pada similaritas diantara vektor dokumen dan vektor *query* [1].



Gambar 2. VSM dengan dua dokumen D1 dan D2, dan query Q1 [4].

Selain itu pada VSM, database dari semua dokumen direpresentasikan oleh matriks *term document* (atau matriks *term-frequency*). Dimana setiap sel pada matriks berkorespondensi dengan bobot yang diberikan dari suatu *term* dalam dokumen yang ditentukan. [5]. Bobot lokal suatu *term* i di dalam dokumen j (tf_{ij}) dapat didefinisikan sebagai [4]

$$tf_{ij} = \frac{f_{ij}}{\max \{f_1, f_2, \dots, f_{|V|j}\}} \quad (1)$$

Dimana f_{ij} adalah jumlah berapa kali term i muncul di dalam dokumen j . Frekuensi tersebut dinormalisasi dengan frekuensi dari *most common term* di dalam dokumen tersebut. Bobot global dari suatu term i pada pendekatan inverse document frequency (*idfi*) dapat didefinisikan sebagai [4].

$$idf_i = \log \left(\frac{n}{df_i} \right) \quad (2)$$

Dimana df_i adalah frekuensi dokumen dari term i dan sama dengan jumlah dokumen yang mengandung term i . \log_2 digunakan untuk memperkecil pengaruhnya relative terhadap tf_{ij} . Bobot dari term i di dalam sistem IR (w_{ij}) dihitung menggunakan ukuran $tf-idf$ yang didefinisikan sebagai berikut [4]

$$w_{ij} = tf_{ij} \times idf_i \quad (3)$$

Bobot tertinggi diberikan kepada term yang muncul sering kali dalam dokumen j tetapi jarang dalam dokumen lain. Salah satu ukuran kemiripan teks yang populer adalah *cosine similarity*. Ukuran ini menghitung nilai cosinus sudut antara dua vektor. Jika terdapat dua vektor dokumen d_j dan query q , serta t term diekstrak dari koleksi dokumen maka nilai cosinus antara d_j dan q didefinisikan sebagai [4]

$$similarity(d_j, q) = \frac{d_j \cdot q}{|d_j| \cdot |q|} \quad (4)$$

2.5. Evaluasi Mesin Pencarian

Recall dan *precision* mengukur kemampuan sistem dalam menemukembalikan dokumen-dokumen yang relevan dan menahan dokumen-dokumen yang tidak relevan. *Recall* merupakan rasio jumlah dokumen relevan yang ditemukembalikan terhadap jumlah seluruh dokumen relevan di dalam koleksi. *Precision* merupakan rasio jumlah dokumen relevan yang ditemukembalikan terhadap jumlah seluruh dokumen yang ditemukembalikan [10].

Precision

$$= \frac{\text{Jumlah dokumen relevan yang terpenggil}(a)}{\text{Jumlah dokumen yang terpenggil dalam pencarian}(a + b)} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan : (a) merupakan banyaknya dokumen relevan yang ditemu kembalikan dan (b) adalah jumlah semua dokumen dari hasil pencarian. sedangkan pada rumus *recall* yaitu sebagai berikut :

Recall

$$= \frac{\text{Jumlah dokumen relevan yang terpenggil}(a)}{\text{Jumlah dokumen relevan yang ada didalam database}(a + c)} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan (c) merupakan banyaknya dokumen relevan yang terdapat pada data *corpus*. Sedangkan pada (d) adalah jumlah dokumen yang tidak relevan yang tidak ditemukan pada *corpus* dan sistem [7]. Dokumen yang relevan merupakan dokumen yang benar dan yang sesuai hasil pencarian.

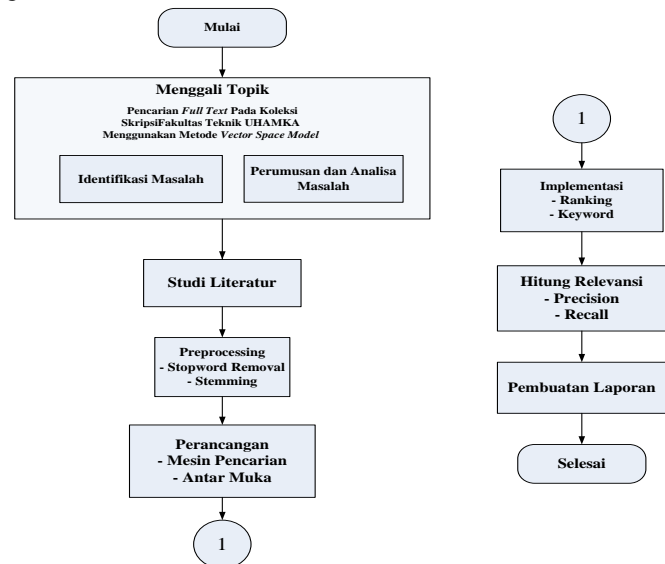
Selain penilaian *precision* dan *recall* yang dilakukan pada mesin pencarian ini maka juga dilakukan penilaian rata-rata

F-Measure. *F-Measure* adalah harmonic mean atau nilai rata-rata dari *precision* dan *recall* [8]. Rumus *F-Measure* adalah sebagai berikut :

$$F_1 = 2 * \frac{\text{Precision} * \text{recall}}{\text{Precision} + \text{recall}} \quad (7)$$

3. Metodologi Penelitian

Mulai dari tahapan pertama yaitu menggali topik penelitian, kemudian tahapan kedua yaitu mengumpulkan data dari berbagai jurnal dan buku, tahapan ketiga membuat daftar stopword dan stemming, selanjutnya tahapan keempat masuk tahapan perancangan mesin pencarian lalu masuk ke tahapan implementasi, terakhir, tahapan hitung relevansi yaitu tahapan untuk menilai seberapa relevan hasil pencarian dari mesin pencarian ini Adapun desain penelitian dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3.1 : Diagram Alur Metodologi

4. Implementasi

Pada implementasi ini akan menampilkan dokumen hasil pencarian dari 10 *query* yang berbeda. Untuk setiap *query* dilakukan pencarian dokumen dengan mesin pencarian menggunakan metode *vector space model*. Tabel 1 menunjukkan daftar *query* yang digunakan dalam implementasi ini.

Tabel 1 Daftar Query

Query ID	Detail Query
Q1	Aplikasi bisnis
Q2	Aplikasi mobile
Q3	Teori UML
Q4	Penelitian di UHAMKA
Q5	Sistem akademik
Q6	Jaringan vpn

Q7	Aplikasi pembelajaran
Q8	Animasi
Q9	Jaringan
Q10	Server

Pada tabel 2 sampai 11 akan menunjukkan dokumen hasil pencarian dengan 10 *query* diatas:

Tabel 2 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan *Query* "aplikasi bisnis"

Rank	Docid	Sim
1	D2	0.0487949
2	D3	0.0326845
3	D9	0.0160074
4	D23	0.0129797
5	D38	0.00855016
6	D34	0.00704329
7	D11	0.00704116
8	D15	0.00602972

Tabel 3 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan *Query* "aplikasi mobile"

Rank	Docid	Sim
1	D7	0.113708
2	D13	0.0827463
3	D11	0.0786736
4	D35	0.0403226
5	D21	0.0330631
6	D23	0.0271925
7	D34	0.0271925
8	D8	0.0217154
9	D9	0.0167678
10	D37	0.00576032
11	D32	0.00558572
12	D14	0.00513806
13	D36	0.00474719

Tabel 4 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan *Query* "teori UML"

Rank	Docid	Sim
1	D7	0.0651898
2	D3	0.0457996
3	D12	0.0293397
4	D1	0.0200344
5	D36	0.0190512
6	D5	0.0168543
7	D8	0.0165995
8	D9	0.0160219
9	D15	0.0144844
10	D37	0.0132097
11	D40	0.0125516
12	D11	0.011276
13	D38	0.0102695
14	D16	0.00967101
15	D6	0.00954145
16	D27	0.0088778
17	D34	0.00845957
18	D2	0.0048839
19	D21	0.00473882
20	D13	0.00431265
21	D39	0.00111638

Tabel 5 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan *Query* "penelitian di UHAMKA"

Rank	Docid	Sim
1	D23	0.167701
2	D36	0.0878301
3	D15	0.0701152
4	D5	0.0679893
5	D22	0.0365621

Tabel 6 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan Query "sistem akademik"

Rank	Docid	Sim
1	D12	0.125813
2	D13	0.0154111
3	D11	0.0150571
4	D5	0.0100736

Tabel 7 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan Query "jaringan vpn"

Rank	Docid	Sim
1	D24	0.575608
2	D29	0.392728
3	D33	0.068316
4	D25	0.0409165
5	D32	0.0380504
6	D14	0.0335723
7	D4	0.0288067
8	D17	0.021112
9	D30	0.0205302
10	D23	0.0189018
11	D28	0.0104288
12	D26	0.0100476
13	D21	0.00574563
14	D12	0.00284584
15	D40	0.00152183
16	D22	0.00109892
17	D10	0.00106517
18	D35	0.000989248
19	D37	0.000800811
20	D9	0.000777032

Tabel 8 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan Query "aplikasi pembelajaran"

Rank	Docid	Sim
1	D7	0.317405
2	D13	0.198315

3	D1	0.162578
4	D20	0.146231
5	D16	0.0418558
6	D11	0.022876
7	D12	0.0158726

Tabel 9 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan Query "animasi"

Rank	Docid	Sim
1	D20	0.48587
2	D19	0.334483
3	D16	0.0512522
4	D22	0.0200139
5	D12	0.0172764
6	D38	0.0100785

Tabel 10 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan Query "jaringan"

Rank	Docid	Sim
1	D33	0.303057
2	D25	0.18151
3	D32	0.168796
4	D24	0.151454
5	D14	0.14893
6	D4	0.12779
7	D17	0.0936549
8	D30	0.091074
9	D23	0.0838504
10	D29	0.0513756
11	D28	0.0462631
12	D26	0.0445722
13	D21	0.0254883
14	D12	0.0126244
15	D40	0.006751
16	D22	0.00487493
17	D10	0.00472522
18	D35	0.00438841
19	D37	0.00355249
20	D9	0.003447

Tabel 11 Hasil Pencarian Dokumen Menggunakan Query "server"

Rank	Docid	Sim
1	D14	0.212205
2	D4	0.0806588
3	D12	0.0377818
4	D9	0.0320568
5	D6	0.0287554

5 Hitung Relevansi

Hasil implementasi mesin dari pencarian dengan memasukan 10 query sudah didapatkan proses selanjutnya adalah pengujian relevansi, dengan cara menghitung *precision* dan *recall* dari masing-masing query. Adapun rumus *precision* dan *recall* telah dijelaskan di Bab II maka menghasilkan penilaian dari kedua tersebut yaitu, jumlah dokumen yang ter-retrieve maupun dokumen non-relevan dan dokumen non-relevan tidak ter-retrieve maka didapatkan penilaian *precision* dan *recall* serta nilai tengah dari kedua evaluasi tersebut (*f-measure*) yaitu, pada tabel 12 :

Tabel 12 Hasil Perhitungan Precision dan Recall Berdasarkan Keseluruhan Isi Dokumen

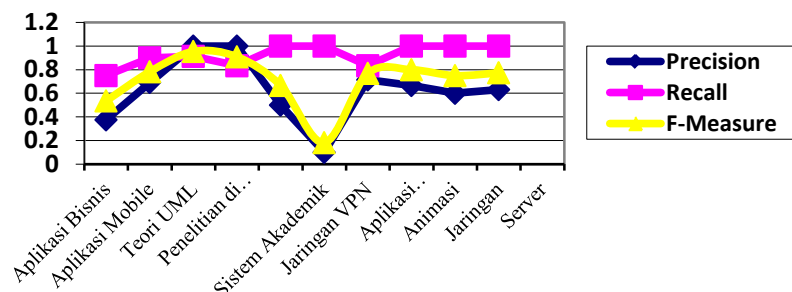
Nilai	Query									
	Aplikasi bisnis	Aplikasi mobile	Teori UML	Penelitian di UHAMKA	Sistem akademik	Jaringan VPN	Aplikasi pembelajaran	Animasi	Jaringan	Server
Precision	0.375	0.692	1.0	1.0	0.5	0.1	0.714	0.666	0.6	0.6315
Recall	0.75	0.9	0.913	0.8333	1.0	1.0	0.8333	1.0	1.0	1.0
F-Measure	0.5357	0.7824	0.9545	0.9091	0.6666	0.1818	0.7689	0.7995	0.75	0.7741

Pada tabel 12 tersebut menunjukkan hasil perhitungan *precision* dan *recall* berdasarkan keseluruhan isi dokumen terhadap 10 kriteria query tersebut. Hasil pada tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa akan dihitung nilai *precision* dan *recall* pada setiap nilai *recall* standar yaitu, 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, dan 1.0. Adapun nilai *precision* dan *recall* dan *F-Measure* adalah sebagai berikut :

1. Nilai *precision* yang didapatkan pada query "aplikasi bisnis" yaitu, 0.375 atau 37.5%, pada query "aplikasi mobile" yaitu, 0.692 atau 69.2%, pada query "teori UML" yaitu, 1.0 atau 100%, pada query "penelitian di uhamka" yaitu, 1.0 atau 100%, pada query "sistem akademik" yaitu, 0.5 atau 50%, pada query "jaringan vpn yaitu, 0.1 atau 10%, pada query "aplikasi pembelajaran" yaitu, 0.714 atau 71.4%, pada

query "animasi" yaitu, 0.666 atau 66.6%, pada query "jaringan" yaitu, 0.6 atau 60%, pada query "server" yaitu, 0.6135 atau 61.35%.

2. Sedangkan nilai *recall* yang didapatkan pada query "aplikasi bisnis" yaitu, 0.75 atau 75%, pada query "aplikasi mobile" yaitu, 0.9 atau 90%, pada query "teori UML" yaitu, 0.913 atau 91.3%, pada query "penelitian di uhamka" yaitu, 0.8333 atau 83.33%, pada query "sistem akademik" yaitu, 1.0 atau 100%, pada query "jaringan vpn yaitu, 1.0 atau 100%, pada query "aplikasi pembelajaran" yaitu, 0.8333 atau 83.33%, pada query "animasi" yaitu, 1.0 atau 100%, pada query "jaringan" yaitu, 1.0 atau 100%, pada query "server" yaitu, 1.0 atau 100%.
3. Pada nilai rata-rata (*F-Measure*) dari *precision* dan *recall* yaitu, didapatkan pada query "aplikasi bisnis" yaitu, 0.5357 atau 53.57%, pada query "aplikasi mobile" yaitu, 0.7824 atau 78.24%, pada query "teori UML" yaitu, 0.9545 atau 95.45%, pada query "penelitian di uhamka" yaitu, 0.9091 atau 90.91%, pada query "sistem akademik" yaitu, 0.6666 atau 66.66%, pada query "jaringan vpn yaitu, 0.1818 atau 18.18%, pada query "aplikasi pembelajaran" yaitu, 0.7689 atau 76.89%, pada query "animasi" yaitu, 0.7995 atau 79.95%, pada query "jaringan" yaitu, 0.75 atau 75%, pada query "server" yaitu, 0.7741 atau 77.41%.

**Grafik 1** Hasil Perhitungan Relevansi Berdasarkan Keseluruhan Isi Dokumen

Pada hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai *recall* (tingkat keberhasilan sistem menemukan informasi) lebih

tinggi daripada nilai *precision* (tingkat ketepatan informasi yang ditemukan). Setelah didapatkan nilai *precision* dan *recall* pada setiap *query* tersebut, kemudian dicari nilai maksimum *precision* dan *recall*. Seperti gambar di bawah

Hasil grafik 1 diatas menjelaskan bahwa hasil dari nilai maksimum pada *precision* dan *recall* dengan *query* tersebut yaitu,, dengan tingkat ketepatan akurat dokumen yang dipanggil sistem “teori UML” dan “penelitian di UHAMKA” ini dikarenakan satu kata kunci UML dan UHAMKA menjadi ciri khas dari masing-masing dokumen yang ter-retrieve. Sedangkan untuk nilai maksimum *recall* atau tingkat keberhasilan sistem dalam menemukan informasi dari (*information retrieval*) adalah *query* “sistem akademik”, “jaringan vpn”, “animasi”, “jaringan”, “server”, dalam 4 *query* tersebut dokumen yang ter-retrieve dari database tidak ada yang *miss* atau *terlewat*. Dari kedua hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ketepatan dalam menemukan dokumen relevan yang dilakukan mesin pencarian ini yaitu,, tergantung *query* yang diinput apakah *query* tersebut mewakili ciri khas dari dokumen tersebut atau tidak, jika *query* yang diinput itu tidak mewakili ciri khas dari suatu dokumen maka nilai ketepatannya akan menurun.

6 Simpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

1. Mesin pencarian *full text* ini selesai dirancang dan diuji dengan baik berdasarkan pengujian dengan 10 *query* berbeda yang diinput ke dalam mesin pencarian dan mesin pencarian menampilkan masing-masing hasil dari 10 *query* tersebut.
2. Mesin pencarian *full text* ini mampu menampilkan dokumen dengan relevan berdasarkan dari 10 *query* yang diuji coba dan menampilkan dokumen sudah terurut. Nilai relevansi dari mesin pencarian yang sudah cukup baik, berdasarkan nilai rata-rata *precision* 0.63, *recall* 0.92 dan *f-measure* 0.71, dengan hasil tersebut membuat mesin pencarian dapat dijadikan alternatif mesin pencarian di perpustakaan Fakultas Teknik UHAMKA.

6.2. Saran

1. Mesin pencarian *full text* ini terbilang masih sederhana masih butuh tambahan fitur lagi misalnya,

fitur untuk mendownload dan untuk membaca dokumen yang diinput.

2. Untuk penyimpanan dokumen lebih baik tidak disimpan di database *mysql* dikarenakan pada proses indexing dan hitung bobot prosesnya cukup lama. Hal ini membuat dokumen yang terinput tidak bisa terlalu banyak.

Kepustakaan

- [1] F. Amin, “Implementasi Search Engine (Mesin Pencari) Menggunakan Metode Vector Space Model,” *1127-1627-1-PB*, P. 14, 2011.
- [2] F. Amin, “Sistem Temu Kembali Informasi Dengan Pemeringkatan Metode Vector Space Model,” *1700-1512-1-SM*, P. 8, 2013.
- [3] I. P. A. Waranu, “Implementasi Metode Generalized Vector Space Model Pada Information Retrieval System,” *Makalah-Stki-1204505042*, P. 21, 2015.
- [4] F. S. U. Giat Karyono1, “Temu Balik Informasi Pada Dokumen Teks Berbahasa,” *2012072020200380*, P. 8, 2012.
- [5] A. A. Abdillah, “Implementasi Vector Space Model Untuk Pencarian Dokumen,” P. 7.
- [6] W. Hardi, “Mengukur Kinerja Search Engine: Sebuah Eksperimentasi Penilaian Precision And Recall Untuk Informasi Ilmiah Bidang Ilmu Perpustakaan Dan Informasi,” *Search_Engine_Article*, P. 7, 2006.
- [7] L. Noviandi, “Search Engine Pada Dokumen RDF Tanaman Obat Menggunakan Sesame Dan Lucene,” *Seminar_Ekstensi*, P. 7, 2015.
- [8] D. T. F. Abidin, “Accuracy Measure Precision, Recall & F-Measure,” 2015.
- [9] B. Liu, *Web Data Mining 2nd Edition Exploring Hyperlinks Contents And Usage Data*, 2012.
- [10] F. F. Paiki, “Evaluasi Penggunaan Similarity Thesaurus Terhadap Ekspansi Kueri Dalam Sistem Temu Kembali Informasi Berbahasa Indonesia,” *Fridolin Paiki - Paper Evaluasi Penggunaan Similarity Thesaurus Terhadap Ekspansi Kueri*, P. 10, 2012.
- [11] F. A. Pratama, “Aplikasi Vector Space Model Dalam Pencarian Arsip Karya Tulis Mahasiswa ITB,” *Makalah-IF2123-2015-065*, P. 6, 2016.

Implementasi Active Directory Singgle Domain pada Anak Perusahaan Akita Jaya Mobilindo Jakarta

Ahmad Rais Ruli

Akademi Manajemen Informatika dan Komputer
Bina Sarana Informatika (BSI)
Jalan Komplek BSD Sektor XIV-C11, Serpong – Tangerang
Jawa Barat, Indonesia

Abstrak – Di Era Globalisasi saat ini teknologi memudahkan dalam pengolahan data, salah satu pengolahan data yang memudahkan Administrator dalam mengolah hak akses adalah direktori aktif, dimana user dapat diatur dalam hak akses penggunaan data dengan implementasi Active Directory. Administrator dapat memberikan hak akses penggunaan data baik lokal akses maupun akses lintas lokasi. Akita Jaya Mobilindo adalah perusahaan yang bergerak dibidang Otomotif dimana anak perusahaannya terletak di JABODETABEK. Dengan alasan ini, pengolahan data akita jaya mobilindo menggunakan sistem data terpusat dimana data tersebut dapat diakses oleh user disemua anak perusahaan akita jaya mobilindo. Oleh karena itu, implemnetasi single domain sangatlah tepat untuk memberikan solusi yang dihadapi oleh administrator dengan direktori aktif memudahkan admin dalam mengatur dan mengelolah akses yang akan diberikan kepada pengguna.

Kata kunci: direktori aktif, domain dan Windows Server.

Abstrak – In globalization of technology, it's easy and faster to process the data. One of data processing that allows and makes easy the administrator on the processing of access rights is Active Directory. Users can be controlled on the access rights of data application with the implementation of Active Directory. The administrator can give the access rights of local data application and local exchange access. Akita Jaya Mobilindo is an automotive company where the subsidiaries locate in JABODETABEK area. This reason, the processing data of this corporate uses the centralize of data where it can be accessed by user in all the corporate branches, therefore, implementation of single domain is the right choosen as a solution that is faced by administrator. Active directory makes easier on the controlling and managing of data access that it will be provided to the users.

Kata kunci: active directory, domain and Windows Server

1 Pendahuluan

Jaringan yang terkomputerisasi yaitu sebuah kelompok komputer, printer, dan peralatan lainnya yang saling terkoneksi. petukaran Informasi dan data bergerak melalui kabel atau wireless memungkinkan pengguna jaringan komputer dapat bertukar data informasi, mencetakan pada printer yang sama, dan bersama sama menggunakan hadrware/software yang terhubung dengan jaringan. Pada jaringan komputer terdapat dua kategori jaringan komputer yaitu klien server dan peer to peer. Client-server adalah suatu bentuk arsitektur, dimana client adalah perangkat yang menerima yang akan menampilkan dan menjalankan

aplikasi (software komputer) dan server adalah perangkat yang menyediakan dan bertindak sebagai pengelola aplikasi, data, dan keamanannya. Server biasanya terhubung dengan client melalui kabel UTP dan sebuah kartu jaringan (network card). Kartu jaringan ini biasanya berupa kartu PCI atau ISA.

Dalam teknologi informasi, client-server merujuk kepada cara mendistribusikan aplikasi ke pihak client dan pihak server. Dalam model client-server, sebuah aplikasi dibagi menjadi dua bagian yang terpisah (tetapi masih dalam sebuah kesatuan) yakni komponen client dan komponen server. Windows Server 2012R2 termasuk proses pengembangan dari windows server 2012 dan

Windows Server 2008R2 yaitu sistem operasi yang bergerak dalam bidang jaringan komputer server. Windows server 2012R2 berbasis web dan teknologi virtualisasi, sehingga memungkinkan untuk meningkatkan kemampuan yang fleksibilitas dan infrastruktur pada komputer server. Windows server 2012R2 mempunyai fitur diantaranya directory aktif yang berperan penting dalam sistem operasi dan dapat menciptakan sebuah keamanan akses security yang dikelola infrastruktur yang canggih. Di Windows Server 2012R2 mempunyai tools active directory users and computers tersebut digunakan untuk membuat manajemen user atau group. Tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat manajemen akses untuk pengguna dan grup menggunakan teknologi .NET berbasis active directory. Manfaat dari implementasi Active Directory ini adalah pemanfaatan manajemen pengguna dan grup untuk memudahkan pekerjaan administrator mengelola pengguna dan grup, pemberian hak akses setiap pengguna dan grup, tidak harus melakukan pengaturan satu per satu pada komputer client.

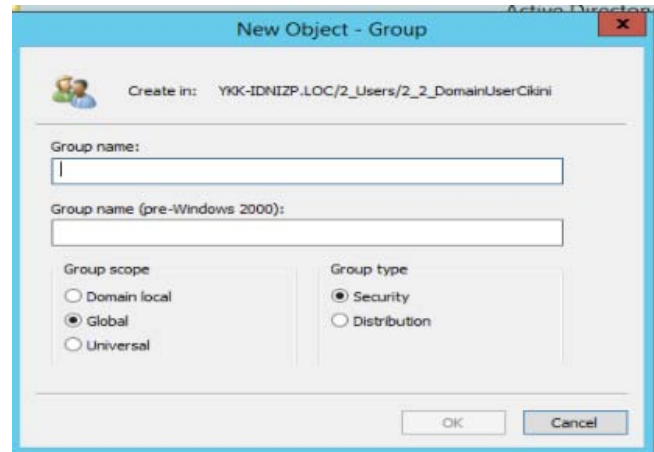
2 Landasan Teori

2. 1. Implementasi Sistem

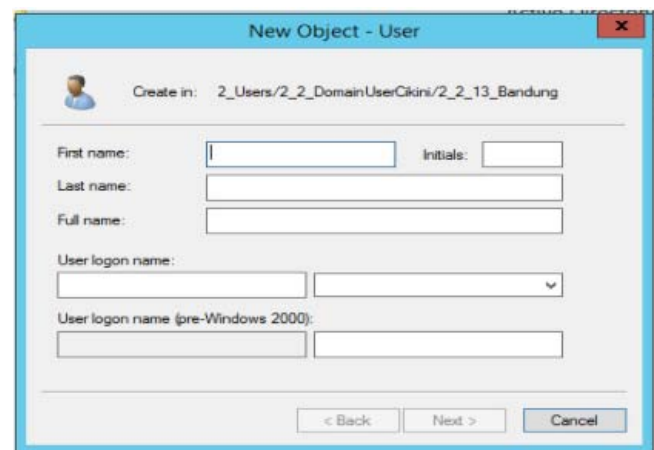
2. 1. 1. Active Directory Domain Services

Active directory dibangun dengan melakukan konfigurasi service yang ada dalam server manager. Agar layanan active directory dapat digunakan diperlukan menambahkan rule pada sistem. Penambahan rule dilakukan dengan memilih menu add roles yang terletak dibawah server manager. Selanjutnya akan ditampilkan menu utama berupa tahapan untuk mengaktifkan layanan active directory berupa server roles, active directory domain services, confirmation, progress dan result. Tahapan server roles adalah tahap untuk memilih layanan yang akan diaktifkan, pada tahap ini layanan active directory domain services akan diaktifkan. Selanjutnya adalah active directory domain services dan confirmation. Menu active directory domain services merupakan informasi dari layanan yang akan diaktifkan meliputi introduction, things to note dan additional information. Menu confirmation menunjukkan informasi paket yang akan diaktifkan pada layanan active directory domain services.

Jika semua layanan telah dikonfirmasi maka proses instalasi akan berjalan yang akan ditunjukkan oleh menu progress. Tahap akhir mengaktifkan layanan active directory ditunjukkan pada menu result sebagai informasi bahwa instalasi telah selesai. Setelah tahap instalasi selesai, tahap berikutnya adalah konfigurasi active directory agar dapat digunakan sebagai data account. Konfigurasi yang dilakukan meliputi pembuatan organizational unit, group dan user account. Pembuatan organizational unit ditujukan agar memudahkan admin dalam pengelompokan divisi yang akan dikelola. Pembuatan group dengan tipe security ditujukan untuk mengatur perijinan account dalam mengakses informasi. Pembuatan user account ditujukan untuk mengelola informasi user berupa first name, last name, initials, full name, user logon name dan password



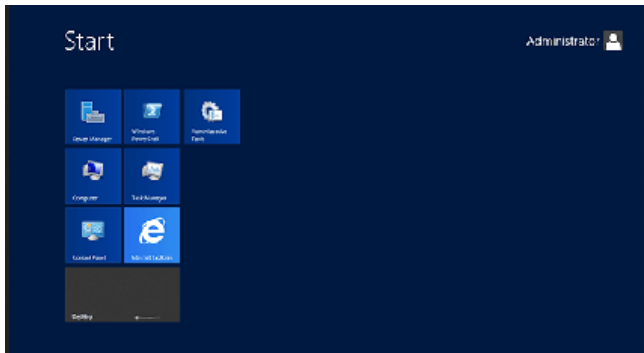
Gambar 1. Contoh Pembuatan Group



Gambar 2. Contoh Pembuatan User Active Directory

2. 1. 2 Windows 2012

Windows Server 2012R2 Microsoft Windows Server 2012 R2 Operating System Server memungkinkan server jaringan untuk menangani beragam peran - seperti print server, domain controller, server web, dan server file - dan menjadi platform untuk aplikasi server terpisah - seperti Microsoft exchange Server atau Microsoft SQL Server. Produk yang tersedia di Microsoft Windows Server 2012 R2 Windows Server 2012 R2 merupakan sistem operasi terbaru yang dirilis oleh Microsoft setelah Windows Server 2008 dan Windows Server 2012. Seperti halnya Windows Server 2012, Windows Server 2012 R2 hanya diproduksi dalam arsitektur 64-bit. Windows Server 2012 R2 terdiri dari 4 edisi, yaitu Windows Server 2012R2 Foundation, Windows Server 2012 R2 Essential, Windows Server 2012 R2 Standard dan Windows Server 2012 R2 Datacenter. Perbedaan antara satu edisi dengan edisi lainnya terletak pada lisensi, fitur dan harga.



Gambar 3. Screen Windows 2012 Server

Kelebihan Windows Server 2012

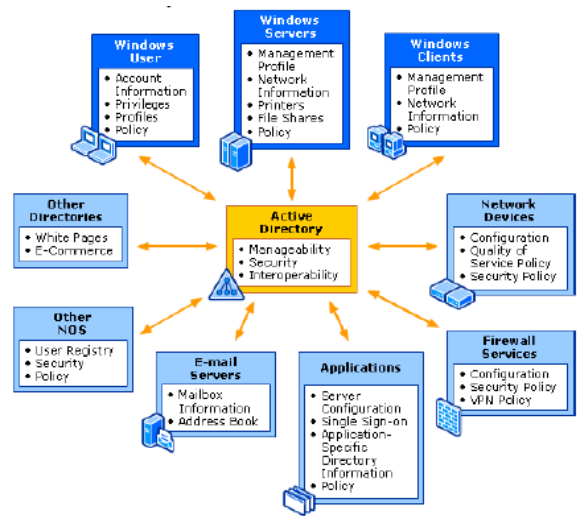
1. Didasari komputasi melalui jaringan dan fitur cloud.
Windows server 2012 memiliki kelebihan dalam fitur yang telah disebutkan tadi. Karena jarang sistem operasi lainnya yang mensupport teknologi ini. Seperti fitur cloud dari Microsoft Azure yang dapat dihubungkan ke Windows Server 2012.
2. Banyak Versi yang dapat disesuaikan kebutuhan
Dengan bertumbuhnya perusahaan dan bisnis, diperlukan juga akan komputasi server yang sesuai dengan budget dan kebutuhan suatu bisnis. Dengan banyaknya versi membuat bisnis dapat memilih versi Windows Server 2012 yang tepat bagi mereka, tanpa perlu mengkonfigurasi suatu sistem operasi untuk sesuai dengan kebutuhan mereka (bisnis).

Kekurangan Windows Server 2012

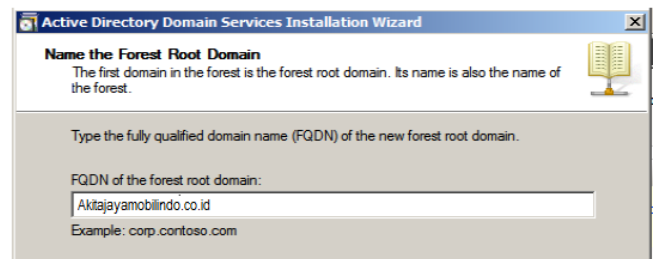
1. Harga yang relatif mahal.
2. Fitur baru yang masih jarang digunakan, sehingga meningkatkan kemungkinan pemakaian yang lebih sulit. (Tutang : 2014).

2. 2. Domain Name Services

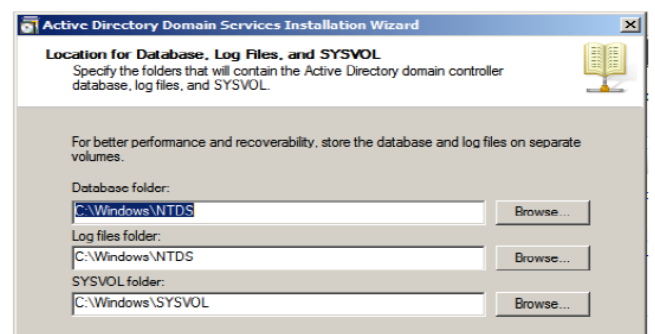
Layanan DNS diaktifkan bertujuan menkonfersi alamat IP server menjadi alamat berupa nama yang mudah untuk dihafal. Tahap ini akan meminta sejumlah informasi yang akan digunakan untuk sistem server berdasarkan domain yang dibuat. Informasi yang harus diberikan meliputi forest root domain, forest functional level, domain controller, database and log file dan administrator password. Informasi forest root domain dimaksudkan untuk memberikan nama alamat IP server saat diakses oleh client. Sesuai dengan subjek penelitian yang bertempat Akitajaya Mobilindo, maka domain yang dibuat adalah akitajayamobilindo.co.id. Informasi forest functional level ditentukan berdasarkan sistem operasi yang digunakan. Informasi domain controller adalah layanan dimana admin melakukan pengaturan terhadap domain yang telah dibuat, pada tahap ini perlu melakukan ceklist layanan DNS server. Informasi database and log file digunakan sebagai penentuan folder penyimpanan dari data yang akan dikelola. Informasi administrator password digunakan sebagai keamanan data yang tersimpan di dalam sistem.



Gambar 4. Ilustrasi Active Directory



Gambar 5. Mengisi forest root domain, sebagai domain root pada server



Gambar 6. Database and log file folder, sebagai lokasi folder pengelolaan data

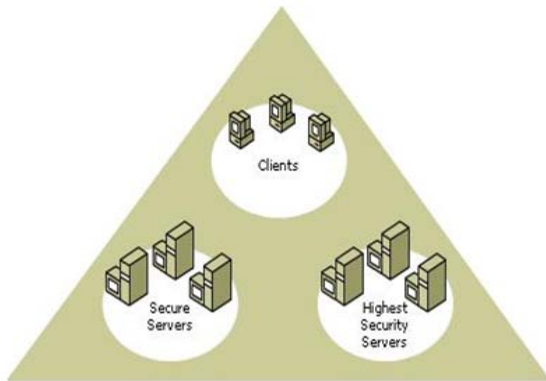
3 Metodologi Penelitian

Desain atau rancangan penelitian dan metode yang digunakan ditampilkan secara singkat dan representatif.

4. Hasil dan Pembahasan

Active directory terdiri dari basis data dan layanan direktori. Basis data digunakan untuk menyimpan

semua sumber daya yang ada didalam suatu jaringan seperti halnya computer yang telah tergabung kedalam domain, daftar akun pengguna dan kelompok pengguna, folder yang dishare (Microsoft, Microsoft, 2016). Layanan direktori yang dimiliki active directory membuat basis data yang dimiliki active directory dapat

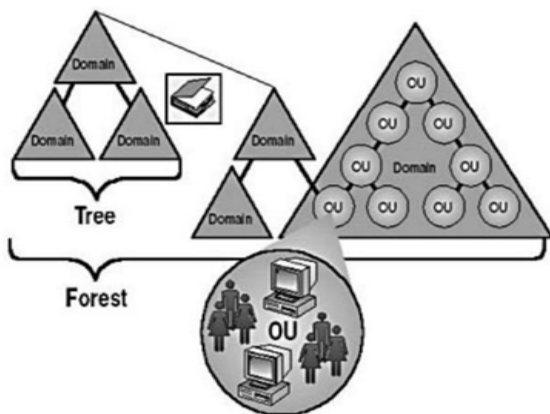


Gambar 7. Active Directory

diakses oleh pengguna aplikasi. Active directory merupakan implementasi dari protocol LDAP (protocol lightweight directory active protocol). ADO (Active Directory Object), yang dapat berupa akun pengguna, komputer yang tergabung dalam jaringan/domain, printer, aplikasi, folder, atau sumber daya yang lain. Setiap objek memiliki atribut yang berbeda dan biasanya bersifat unik. Sebagai contoh akun pengguna memiliki atribut nama depan, tengah dan belakang, email, notelp. (Microsoft, MSDN, 2016).

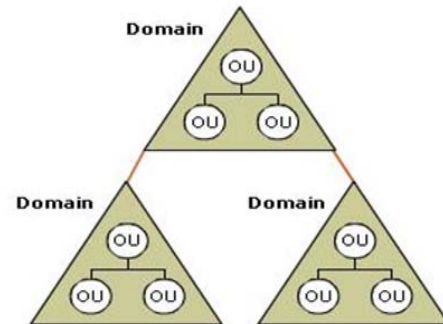
Elemen Active Directory logical antara lain:

1. Organisasi Unit (OU) adalah sebuah jenis objek active direktori yang dapat mengandung objek lain. Dengan menggunakan OU maka administrator dapat mengatur Active directory secara hirarki sehingga administrator dapat mengatur akses pada setiap anak pohon didalam OU. Didalam OU objek user, group, komputer ditempatkan (Indiana, 2014).



Sumber: www.mcmcs.com
Gambar 8. Organisasi Unit

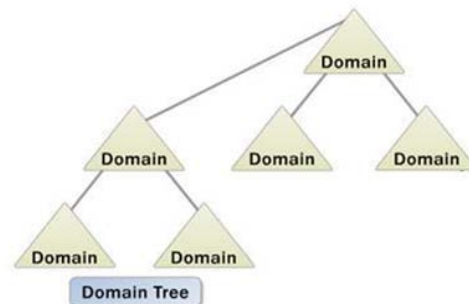
2. Domain, berisi objek yang dikumpulkan dan dikelola kedalam database untuk dapat digunakan bersama atau share, kebijakan keamanan, dan relasi antar domain.



Sumber: technet.microsoft.com

Gambar 9. Domain

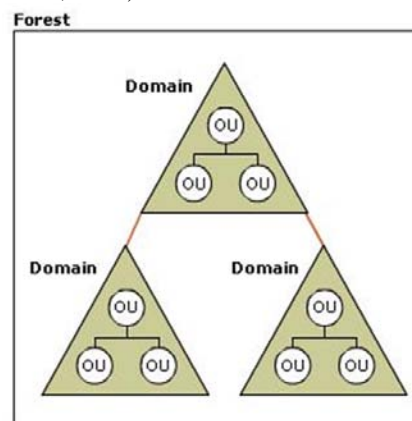
3. *Domain Tree*, kumpulan dari *domain-domain* yang dikelompokkan dan membentuk struktur *tree* atau pohon (Microsoft Corporation, 2003).



Sumber: technet.microsoft.com

Gambar 10. Domain Tree

4. *Forests*, suatu *boundary* atau batas didalam layanan *directory* yang mencakup seluruh *domain* dan masih dalam satu pohon atau *tree*, dan merupakan contoh lengkap dari *active directory*. *Forest* merupakan *top-level* dari *active directory* yang terdiri dari domain yang berisi *object-object*, yang dishare secara umum melalui *structure logic*, *global catalog*, *directory schema* dan *directory configuration* (Microsoft, Microsoft, 2016).



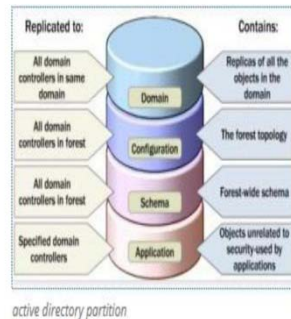
Sumber: technet.microsoft.com

Gambar 11. Forest

5. Site Object, object paling atas dari hirarki object yang digunakan untuk mengelola dan melaksanakan replikasi active directory.

Sedangkan komponen Active Directory secara fisik antara lain:

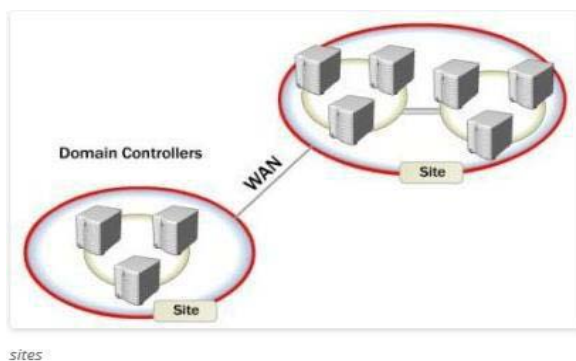
1. Domain control(DC), berisi domain partisi data yang direplikasi kedalam DC lain yang masih dalam satu domain. Domain partisi data hanya menyimpan lokasi object yang ada dalam domain, informasi yang akan direplikasi disimpan dalam bentuk partisi(Active directory partition). Active Domain Partition terbagi menjadi empat partisi yaitu domain partition, configuration partition, scheme partition dan application partition.



Sumber: serverbrain.org

Gambar 12. Partisi Aktive Direktori

2. Sites, kumpulan komputer yang berada dalam suatu group, komputer saling berkomunikasi. Komunikasi komputer yang terjadi didalam group untuk meminimalisir *latensi*, sehingga menghemat penggunaan *bandwidth* diantara *domain controller(DC)*. Penggunaan *site* dapat diimplementasikan bila objek perusahaan cukup besar dan letak anak cabang berjauhan sehingga memiliki IP subnet yang berbeda.



sites

Sumber: msdn.microsoft.com

Gambar 13. Sites

7. Subnet, subbagian dari IP didalam suatu jaringan, dimana setiap subnet memiliki alamat IP yang unik (APNIC, 2016).

Binary Mask	Prefix Length	Subnet Mask
11111111 00000000 00000000 00000000	/8	255.0.0.0
11111111 10000000 00000000 00000000	/9	255.128.0.0
11111111 11000000 00000000 00000000	/10	255.192.0.0
11111111 11100000 00000000 00000000	/11	255.224.0.0
11111111 11110000 00000000 00000000	/12	255.240.0.0
11111111 11111000 00000000 00000000	/13	255.248.0.0
11111111 11111100 00000000 00000000	/14	255.252.0.0
11111111 11111110 00000000 00000000	/15	255.254.0.0
11111111 11111111 00000000 00000000	/16	255.255.0.0
11111111 11111111 10000000 00000000	/17	255.255.128.0
11111111 11111111 11000000 00000000	/18	255.255.192.0
11111111 11111111 11100000 00000000	/19	255.255.224.0
11111111 11111111 11110000 00000000	/20	255.255.240.0
11111111 11111111 11111000 00000000	/21	255.255.248.0
11111111 11111111 11111100 00000000	/22	255.255.252.0
11111111 11111111 11111110 00000000	/23	255.255.254.0
11111111 11111111 11111111 00000000	/24	255.255.255.0
11111111 11111111 11111111 10000000	/25	255.255.255.128
11111111 11111111 11111111 11000000	/26	255.255.255.192
11111111 11111111 11111111 11100000	/27	255.255.255.224
11111111 11111111 11111111 11110000	/28	255.255.255.240
11111111 11111111 11111111 11111000	/29	255.255.255.248
11111111 11111111 11111111 11111100	/30	255.255.255.252
11111111 11111111 11111111 11111110	/31	255.255.255.254
11111111 11111111 11111111 11111111	/32	255.255.255.255

Sumber: cisco.com

Gambar 14. Subnet IP.

5. Simpulan

Hasil penelitian yang memasukkan 8 variabel ketidakpastian (tahun 2015) maupun 11 variabel ketidakpastian (tahun 2016) sama-sama menghasilkan nilai rata-rata NPV yang lebih besar dari nol maupun nilai rata-rata NPV yang lebih besar dari MARR, yang menunjukkan bahwa kedua proyek layak dijalankan pada "most probable value" harga jual listrik sebesar 15 cents USD/kWh.

Probabilitas tertolaknya proyek adalah sebesar 20% pada penelitian yang memasukkan 8 variabel ketidakpastian dan meningkat menjadi 25% pada penelitian dengan 11 variabel ketidakpastian, yang menunjukkan tingkat resiko yang lebih besar pada penelitian dengan 11 variabel. Berdasarkan diagram Tornado NPV maupun IRR yang diperoleh pada kedua penelitian, diketahui bahwa terdapat 3 (tiga) variabel utama yang paling berpengaruh terhadap kelayakan finansial proyek PLTN SMR yang memasukkan 8 variabel ketidakpastian, yaitu: 1) harga jual listrik, 2) biaya investasi dan 3) tingkat inflasi.

Sedangkan pada proyek PLTN SMR yang memasukkan 11 variabel ketidakpastian, 3 (tiga) variabel utama yang mempengaruhi kelayakan finansial proyek adalah: 1) harga jual listrik, 2) waktu konstruksi dan 3) tingkat inflasi. Oleh karena itu, dengan penambahan variabel ketidakpastian dari 8 menjadi 11 ini dapatlah diketahui bahwa ada 4 (empat) variabel-variabel yang krusial untuk dimonitor sehingga meningkatkan probabilitas diterimanya proyek PLTN SMR, yaitu: 1) harga jual listrik (cent USD/kWh), 2) waktu konstruksi, 3) inflasi mata uang Rupiah dan 4) biaya investasi (*Overnight Cost – OC*).

Kepustakaan

- [1] _____, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) Tahun 2016 - 2025", Kementerian ESDM, Jakarta, 2016
- [2] PT. PLN (Persero), "Statistik PLN 2014", Jakarta, 2014.
- [3] IEA/ NEA, "Current Status. Technical Feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors", OECD, Paris, Juni 2011
- [4] LOCATELLI, G. & MANCINI, M., "Small-medium Sized Nuclear, Coal and Gas power plant: A Probabilistic Analysis of Their

- Performances and Influence of CO₂ Cost", *Energy Policy*, 38,6360-6374, 2010
- [5] _____, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional", Jakarta, 17 Oktober 2014
- [6] RODE, et al., "Montecarlo Methods for Appraisal and Valuation: A Case Study of a Nuclear Power Plant", *CEIC Working Paper 01-01*, Carnegie Mellon Electricity Industry Center, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2001
- [7] Nuryanti, et al., "Analisis Kelayakan Finansial Proyek PLTN SMR di Indonesia dengan Mempertimbangkan Variabel Ketidakpastian", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Volume 17, Nomor 2, Desember 2015
- [8] ROTHWELL, "The Economics of Future Nuclear Power: An Update of The Economic Future of Nuclear Power (2004), a Study Conducted at the University of Chicago", Stanford University, 2011.
- [9] SOEHARTO, I., "Studi Kelayakan Proyek", Penerbit Erlangga, Jakarta, 2002
- [10] SRIDADI, B., "Pemodelan dan Simulasi Sistem: Teori, Aplikasi dan Contoh Program dalam Bahasa C", Penerbit Informatika, 2009.
- [11] BLANK & TARQUIN, "Engineering Economy", 6th, Mc Graw Hill, Singapore, 2008
- [12] PERMATASARI, K., "Analisis Kelayakan Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi oleh Pengembang Panas Bumi di Indonesia", Skripsi, Jakarta: Program Studi Teknik Industri Universitas Indonesia, 2010.
- [13] MARTLAND, Carl D., "Project Evaluation Choosing a Discount Rate", http://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-011-project-evaluation-spring-2011/lecture-notes/MIT1_011S11_lec06.pdf, diakses 26 Maret 2012
- [14] PT PLN (Persero), PT LAPI ITB & JAPC, "Feasibility Study for Bangka Nuclear Power Plant Project – Non Site aspect", 2013
- [15] ROTHWELL, G. & GANDA, F., "Electricity Generating Portfolios with Small Modular Reactors", Argonne National Laboratory, May 2014
- [16] BANK INDONESIA, "Foreign Exchange Rate in Year 2013", <http://www.bi.go.id/>, Diakses 01 Juni 2014
- [17] OECD, "Commercial Interest Reference Rate (CIRRs)", www.oecd.org/tad/xcrr/cirrs.pdf, Diakses 01 Juni 2014
- [18] _____, "UU No 36 tahun 2008 Tentang Perubahan Keempat Atas UU No. 7 Tahun 1983 Tentang Pajak Penghasilan", Kementerian Hukum & HAM, 2008.
- [19] _____, "CPI Inflation Calculator", <http://data.bls.gov/cgi-bin/cpicalc.pl>, Diakses 03 Juli 2015.
- [20] _____, "Indeks Harga Konsumen dan Inflasi Bulanan Indonesia, 2005-2015", <http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/907>, Diakses 03 Juli 2015.
- [21] ABDULLA, A. & AZEVEDO, I. L., "Developing a Range of Levelized Cost Estimates for Integral Light Water Small Modular Reactor", www.andrew.cmu.edu, Diakses Mei 2014
- [22] US DEPARTMENT OF ENERGY, "SMR Financing and Economics, The Nuclear Option: Is Small Scale Nuclear Energy an Option for Alaska?", December 2010.
- [23] ONO, K., "Generation IV International Forum Economics Assessment Methodology and Application", GIF-INPRO Interface Meeting, Vienna, March 1, 2013
- [24] KESDM, "Peraturan Menteri ESDM No. 3 Tahun 2015", Jakarta, 2015
- [25] _____, LIBOR yearly, <http://www.moneycafe.com/personal-finance/libor/> LIBOR Source: Fannie Mae, British Bankers' Association
- [26] _____, <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/>
- [27] PLN Litbang & P2EN, "Study Ekonomi, Pendanaan dan Struktur Owner Dalam Rangka Rencana Persiapan Pembangunan PLTN Pertama di Indonesia", Jakarta, 2006.

Penerapan Logika *Fuzzy* Pada Alat Pengering Lada Otomatis Berbasis Mikrokontroler DHT-22

Aprianda^{*}, Atiqah Meutia Hilda, Gunarwan Prayitno

Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof DR. HAMKA, Jakarta
Jl. Tanah Merdeka no.6 Pasar Rebo Jakarta Timur
Telp. +62-21-87782739, Fax. +62-21-87782739, Mobile +6285716494818
Email : apriandagendut@gmail.com, atiqahmeutiahilda@uhamka.ac.id

Abstrak – Seiring dengan berkembangnya teknologi, logika fuzzy mulai digunakan untuk kontrol kecerdasan berbagai macam alat sehari-hari seperti mesin cuci, penanak nasi, penghangat ataupun pendingin ruangan. Dalam hal ini penulis akan mencoba menerapkan konsep logika fuzzy pada alat pengering lada otomatis. Dengan adanya alat pengering lada otomatis diharapkan bisa merubah cara pengeringan lada yang digunakan petani lada Indonesia pada umumnya dan petani lada Belitung khususnya. Dimana pada saat ini petani lada di Belitung masih menggunakan cara pengeringan lada tradisional yaitu dengan dijemur di bawah sinar matahari, pengeringan tradisional dengan sinar matahari ini sangat banyak sekali kekurangannya diantaranya memerlukan waktu yang lama karena sinar matahari tidak konstan dan memerlukan tenaga manusia untuk menjaga lada pada saat pengeringan untuk mengantisipasi hujan tiba-tiba. Dipilihnya logika fuzzy untuk mengontrol alat pengering lada ini adalah karena dengan logika fuzzy dapat mengatur suhu optimal yang digunakan untuk mengeringkan lada dengan kondisi kelembaban tertentu. Dalam penggunaannya alat ini menggunakan sebuah microcontroller Arduino, sensor kelembaban DHT22 dan juga alat pemanas. Metode yang digunakan adalah Research & Development (R & D). Cara kerja alat ini adalah sensor kelembaban membaca kelembaban dan suhu lada yang ada di wadah, jika kelembaban masih tinggi maka mikrokontroler menyalakan alat pemanas sampai kelembaban lada sesuai dengan kelembaban yang diinginkan dan suhu pada saat proses tidak melebihi batas maksimum. Dengan diterapkannya logika fuzzy pada alat pengering lada otomatis ini petani tidak perlu lagi tergantung dengan sinar matahari serta tidak perlu menjaga lada saat proses pengeringan, karena pengeringan lada bisa dilakukan di dalam rumah sehingga bisa menghemat waktu, tenaga, dan juga kualitas lada lebih terkontrol.

Kata kunci: Logika Fuzzy Mamdani, Pengering, Mikrokontroler, Lada

1 Pendahuluan

Lada merupakan salah satu jenis rempah yang sangat penting baik ditinjau dari peranannya sebagai salah satu penyumbang devisa negara maupun manfaat dan kegunaannya yang tidak dapat digantikan dengan jenis rempah lainnya. Indonesia merupakan salah satu produsen lada terbesar di dunia, dan komoditas lada tersebut sebagian besar di ekspor dalam bentuk lada hitam dan lada putih serta dalam jumlah kecil dengan bentuk sudah dilolah berupa lada bubuk dan minyak lada.

Di dunia pertanian, para petani lada yang ada di Indonesia umumnya dan Belitung khususnya, memiliki masalah pada saat proses pengeringan lada. Tahap pengeringan lada bisa dianggap tahap yang paling rawan, karena apabila lada tidak segera dikeringkan akan menyebabkan kualitas lada menjadi kurang baik. Pengeringan lada yang biasa dilakukan para petani lada ialah dengan cara tradisional yaitu dengan dijemur di bawah sinar matahari. Penjemuran dengan sinar matahari seperti ini akan sulit dilakukan pada saat musim penghujan tiba dan juga para petani lada harus menghabiskan waktunya sehari-hari untuk

mengangkat lada tersebut apabila turun hujan secara tiba-tiba, serta menjaga lada dari hama, debu dan hewan-hewan liar yang sering berkeliaran.

Berdasarkan uraian yang telah penulis jabarkan, maka penulis dalam penelitian ini akan merancang sebuah sistem pengeringan lada secara modern dengan menggunakan mikrokontroller, sensor, wadah pengering, alat pemanas. Untuk kontrol pada saat proses pengeringan penulis mencoba memasukkan konsep logika fuzzy ke dalam alat pengering yang dimana logika fuzzy berfungsi untuk mengatur suhu maksimal pada saat proses pengeringan berjalan. Cara kerja alat ini adalah mikrokontroller membaca kelembaban dan suhu pada saat proses pengeringan, setelah itu mikrokontroller menyalakan alat pemanas sampai kelembaban lada sesuai, apabila kelembaban lada belum sesuai tetapi suhu pada saat proses pengeringan telah maksimal maka mikrokontroller mematikan alat pemanas sampai suhu kembali normal mikrokontroller baru menyalakan alat pemanas lagi, proses dilakukan secara terus menerus sampai kelembaban lada sesuai dengan yang diinginkan. Dalam penelitian ini alat yang dibuat hanya untuk menguji apakah logika fuzzy bisa diaplikasikan pada alat pengering dan juga alat yang dibuat hanya berupa prototipe (skala kecil).

2. Dasar Teori

2.1. Lada

Lada disebut juga Merica/Sahang yang mempunyai nama latin *Piper Albi Linn* adalah sebuah tanaman yang kaya akan kandungan kimia, seperti minyak lada, minyak lemak, juga pati. Lada bersifat pahit, hangat, dan antipiritek. Tanaman ini sudah mulai ditemukan dan dikenal sejak beberapa abad yang lalu. Pada umumnya orang-orang hanya mengenal lada putih dan lada hitam yang mana sering dimanfaatkan sebagai bumbu dapur. Lada adalah salah satu tanaman yang berkembang biak dengan biji, namun banyak para petani lebih memilih melakukan penyetekan untuk mengembangkannya.

Tanaman lada tumbuh dengan baik pada daerah dengan ketinggian mulai dari 0-700m diatas permukaan laut (dpl). Penyebaran tanaman lada sangat luas berada di wilayah tropika antara 20 derajat LU dan 20 derajat LS, dengan curah hujan dari 1000-3000mm per tahun, merata sepanjang tahun dan mempunyai hari hujan 110-170 hari pertahun, musim kemarau hanya 2-3 bulan per tahun. Kelembaban udara 63-98% selama musim hujan, dengan suhu maksimum 35 derajat C dan suhu minimum 20 derajat C. Lada dapat tumbuh pada semua jenis tanah, terutama tanah berpasir dan gembur dengan unsur hara yang cukup, drainase (air tanah) baik, dan tingkat keasaman tanah (pH) 5,0-6,5. [6]

2.2. Logika Fuzzy

Logika Fuzzy dikatakan sebagai logika baru yang lama, sebab ilmu tentang logika fuzzy modern dan modelis baru ditemukan beberapa tahun yang lalu, padahal sebenarnya

konsep tentang logika fuzzy itu sendiri sudah sejak lama. Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. [1]

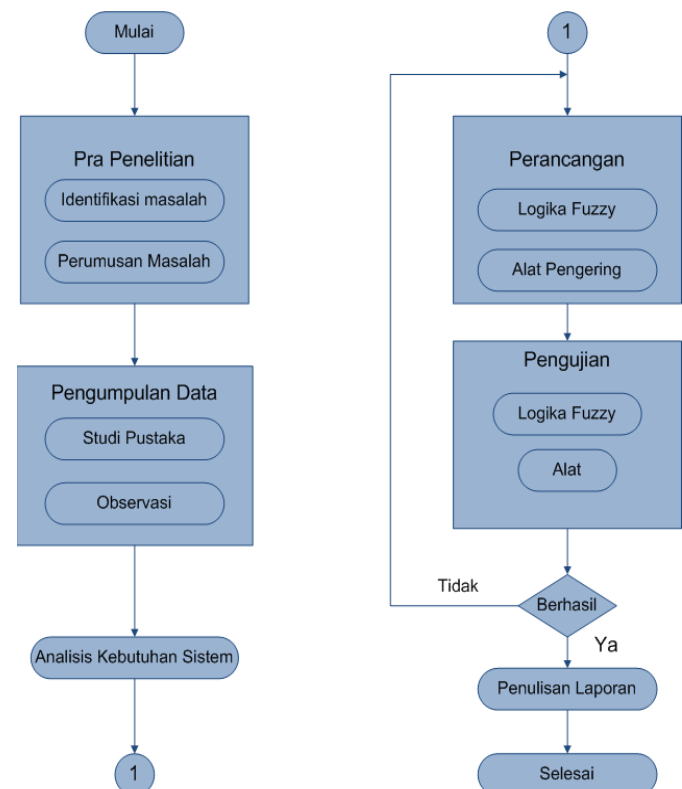
2.3. UML

Unified Modeling Language adalah standar bahasa pemodelan untuk pengembangan perangkat lunak dan sistem. Sebuah model adalah abstraksi dari hal yang sebenarnya. Ketika melakukan pemodelan, abstrak yang dibuat akan jauh dari bagian yang tidak relevan atau mungkin berpotensi menjadi hal yang membingungkan.

Model adalah penyederhanaan dari sistem yang sebenarnya, sehingga memungkinkan untuk dapat memahami, mengevaluasi, dan mencari celah dari sebuah desain dan sistem lebih cepat dari pada menelusuri sistem yang sebenarnya. Bahasa pemodelan dapat berupa Pseudo-code, actual code, gambar, diagram, atau mungkin berupa tulisan berupa deskripsi panjang yang intinya apa saja yang dapat membantu untuk mendeskripsikan sistem yang akan dibuat.[12]

3 Metodologi Penelitian

Dalam metodologi penelitian terdapat beberapa tahapan penelitian yang dilakukan yang dapat dilihat pada Gambar 1



Gambar 1 Alur Penelitian

Masing – masing terdiri dari :

1. Pra Penelitian.

Pada tahap ini penulis melakukan identifikasi masalah dan studi literatur. Pertama penulis melakukan identifikasi masalah yang akan dipecahkan. Kedua penulis akan melakukan studi literatur untuk mengumpulkan berbagai informasi yang berhubungan dengan masalah.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dalam proses perancangan untuk memperkuat dan mempermudah penulis dalam melakukan sebuah implementasi. Adapun metode yang digunakan penulis dalam pengumpulan data yakni :

a. Studi Pustaka

Metode ini adalah melakukan penelitian dengan cara mencari referensi serta data yang digunakan untuk mengumpulkan berbagai informasi.

b. Observasi

Metode observasi penulis lakukan dengan melakukan peninjauan langsung ke Belitung untuk mendapatkan data-data yang berkaitan dengan pengeringan lada

3. Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan untuk merancang sistem pengeringan dengan logika fuzzy yang mengacu pada perumusan masalah.

4. Perancangan

Pada tahap ini penulis melakukan beberapa perancangan, hal ini dilakukan penulis untuk mempermudah dalam hal pengujian dan juga pengimplementasian.

a. Logika Fuzzy

Pada tahap ini penulis melakukan perancangan logika fuzzy, mulai dari penentuan variabel input, variabel output, proses fuzzy inference sistem sampai didapatkannya hasil output yang diinginkan.

b. Alat Pengering

Pada tahap ini penulis melakukan perancangan alat pengering, yaitu perancangan hardware (mikrokontroler, sensor, relay). Hal ini dilakukan untuk memudahkan penulis dalam hasil pengujian dan juga penulisan laporan

5. Pengujian

Setelah melakukan perancangan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap alat yang telah dibuat, apabila alat yang dibuat belum sesuai dengan keinginan kembali ke proses perancangan. Dalam tahapan pengujian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu pengujian logika fuzzy dan juga pengujian alat.

6. Penulisan Laporan

Pada tahap ini dilakukan penulisan laporan hasil dari pengujian dari alat pengering. Tahap ini merupakan tahap akhir dari penelitian penulis.

4. Perancangan

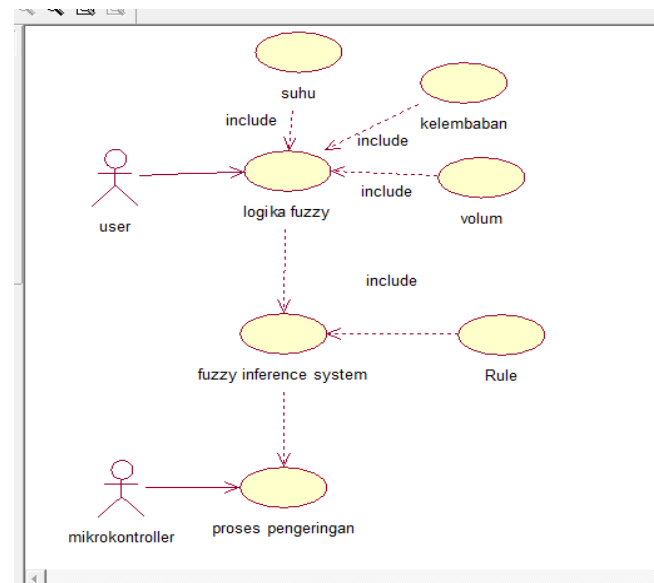
Proses perancangan ini dilakukan untuk mendesain kerangka sistem yang nanti akan dibuat, agar dapat mengetahui jalannya sistem tersebut dengan baik. Perancangan desain sistem pengeringan otomatis ini dibagi menjadi dua tahapan, yaitu perancangan logika fuzzy dan perancangan alat. Perancangan logika fuzzy menggunakan teknik berorientasi objek dengan metodologi UML (*Unified Modeling Language*) dimana perancangan yang dilakukan meliputi empat view yaitu *use case view*, *logical view*, *component view*, dan *development view*.

4.1. Perancangan Logika Fuzzy

Perancangan logika fuzzy diperuntukkan mendapatkan hasil output suhu maksimal yang nantinya akan digunakan untuk mengontrol alat pemanas yang digunakan untuk mengeringkan lada. Dalam perancangan ini penulis melakukan perancangan yang meliputi 4 view yaitu :

a. Use Case Diagram

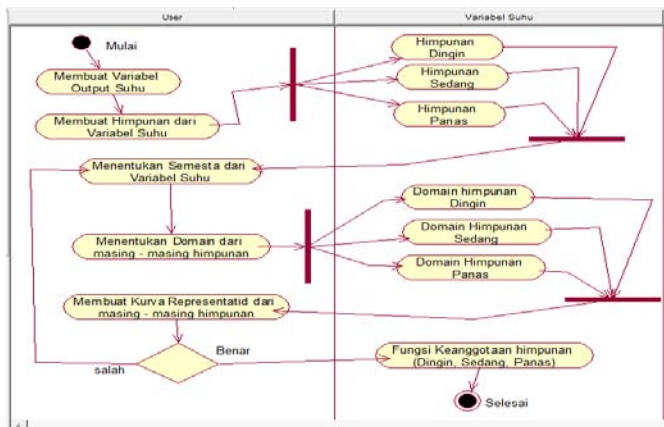
Berikut Use Case Diagram sistem pengeringan lada.



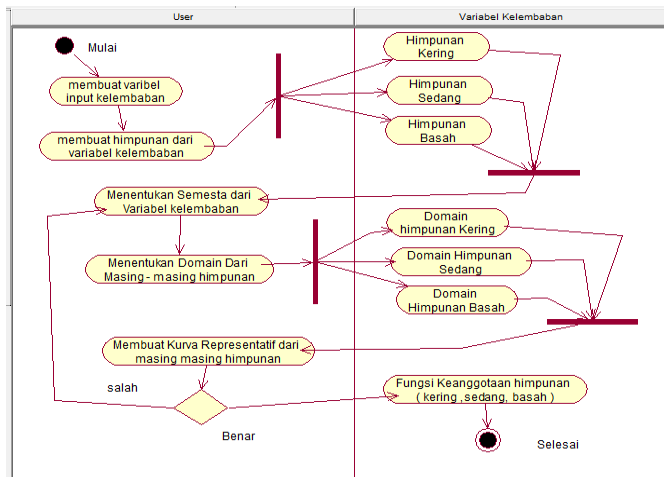
Gambar 2 Use Case Diagram Sistem Pengeringan

b. Activity Diagram

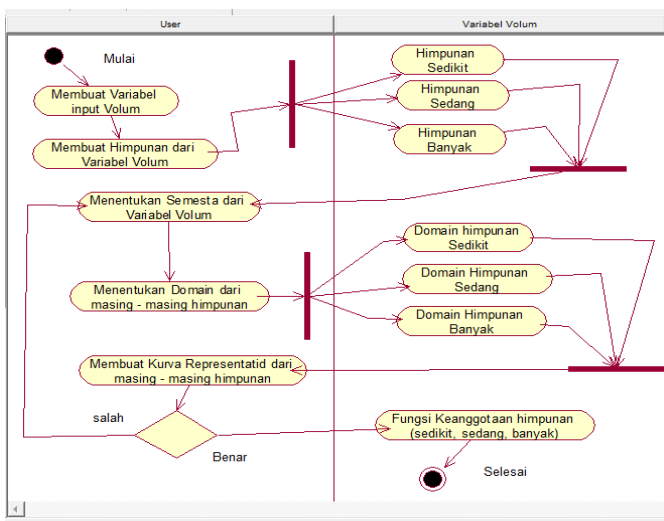
Activity Diagram merupakan penjelasan lebih lanjut dari use case diagram



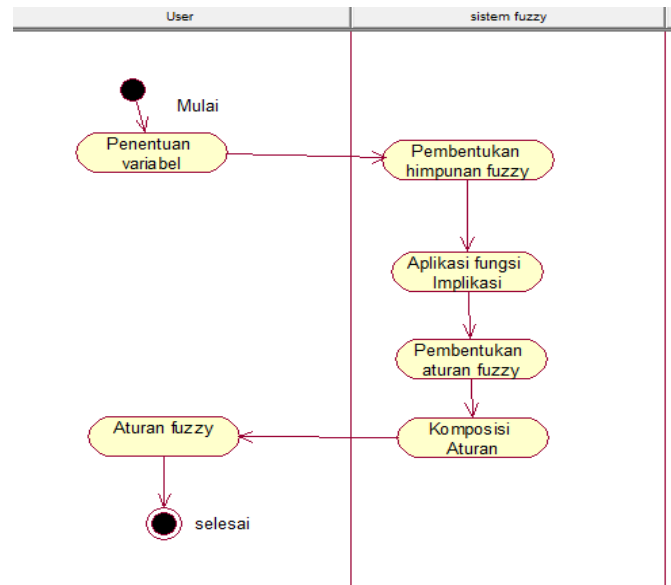
Gambar 3 Activity Diagram Pembuatan Variabel Suhu



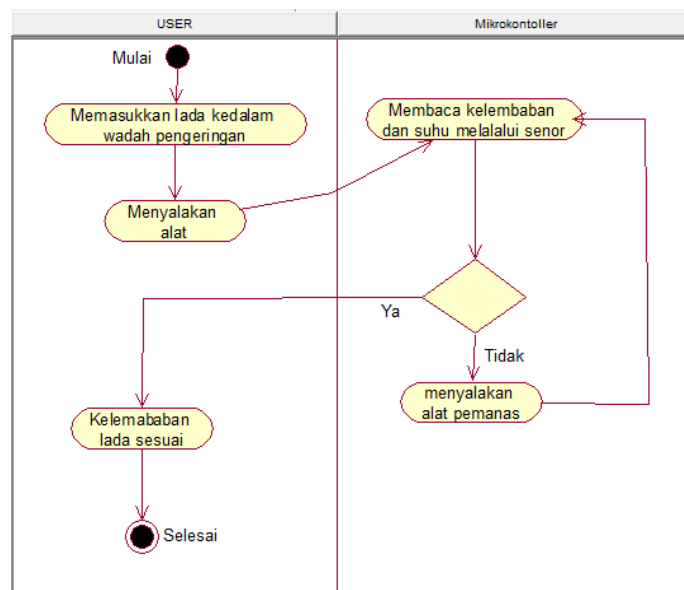
Gambar 4 Activity Diagram Variabel Kelembaban



Gambar 5 Activity Diagram Variabel Volum



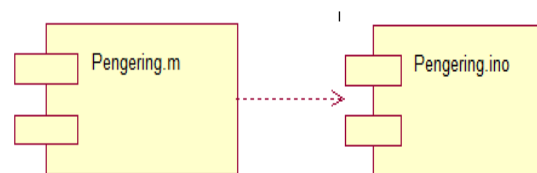
Gambar 6 Activity Diagram Penentuan Rule



Gambar 7 Activity Diagram Proses Pengeringan

c. Component Diagram

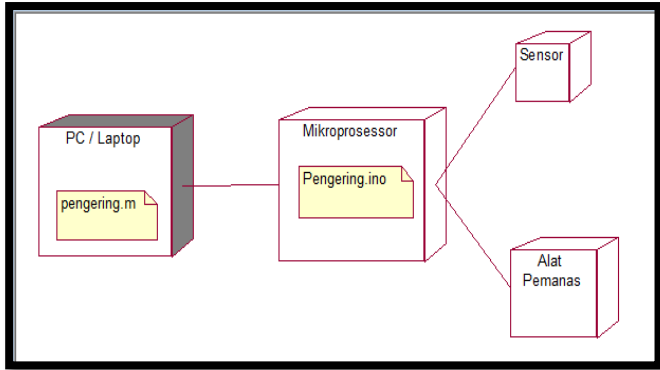
Pada Component Diagram ini penulis akan menjelaskan perancangan perangkat lunak (software) dari penelitian



Gambar 8 Component Diagram

d. Deployment Diagram

Pada proses perancangan alat pengering penulis akan menjelaskan rancangan alat dengan menggunakan deployment view yang berupa deployment diagram yang dijelaskan pada gambar dibawah ini



Gambar 9 Deployment Diagram

5 Hasil dan Pembahasan

5.1 Fuzzy Inference System (FIS)

Dalam penelitian ini aplikasi logika fuzzy melakukan proses merubah input yang berupa kelembaban dan volume sehingga mendapatkan output suhu maksimal. Dalam metode ini, pada setiap aturan yang berbentuk fungsi implikasi (“sebab-akibat”) anteseden yang berbentuk konjungsi(AND) mempunyai nilai keanggotaan minimum (min). Jadi dalam tahapan–tahapan untuk proses FIS Mamdani ini meliputi:

1. Fuzzyfikasi

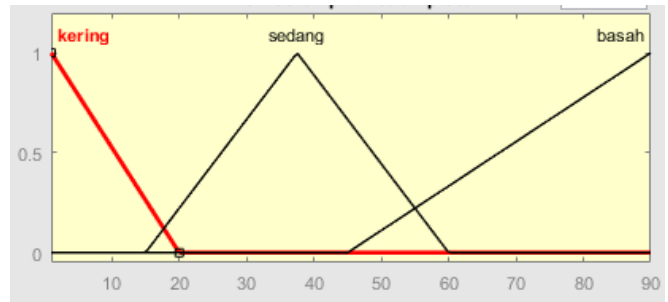
A. Pembuatan Variabel Kelembaban

Pada variabel kelembaban ini penulis memasukkan 3 himpunan fuzzy yaitu kering, sedang, dan basah seperti dijelaskan oleh tabel 5.1.

Tabel 5.1 Variabel Kelembaban

Variabel	Himpunan	Semesta	Domain
Kelembaban	Kering	0-90	1-20
	Sedang		15-60
	Basah		45-90

Dari Tabel 5.1 Variabel Input Kelembaban diatas dapat dibuatkan kurva representatifnya yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Kurva Representatif Variabel Kelembaban

Derajat Keanggotaan Variabel Kelembaban :

$$\mu(Kering) = \begin{cases} \frac{20-x}{20-1} & 1 \leq x \leq 20 \\ 0, & x \geq 20 \end{cases}$$

$$\mu(Sedang) = \begin{cases} 0; & x \leq 15 \text{ atau } x \geq 60 \\ \frac{x-15}{37,5-15}; & 15 \leq x \leq 37,5 \\ \frac{60-x}{60-37,5}; & 37,5 \leq x \leq 60 \end{cases}$$

$$\mu(Basah) = \begin{cases} 0; & x \leq 45 \\ \frac{x-45}{90-45}; & 45 \leq x \leq 90 \\ 1; & x \geq 90 \end{cases}$$

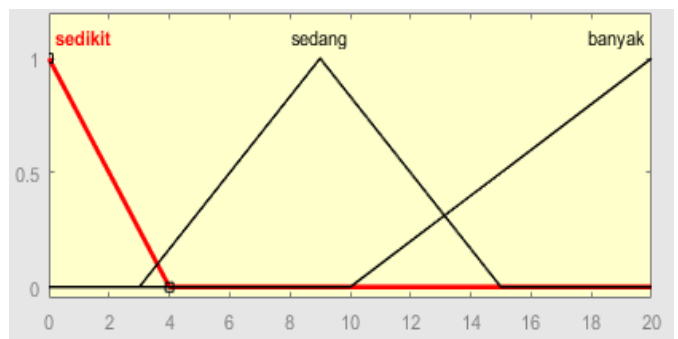
2. Pembuatan Variabel Volume

Pada variabel volume ini penulis memasukkan 3 himpunan fuzzy yaitu Sedikit, sedang, dan banyak seperti dijelaskan oleh Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Variabel Volum

Variabel	Himpunan	Semesta	Domain
Volume	Sedikit	0-20	0 – 4
	Sedang		3 - 15
	Banyak		10 – 20

Dari Tabel 5. 2. Variabel Volume dibuatkan kurva representatifnya yang ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Kurva representatif Variabel Volum

Derajat Keanggotaan variabel Volum:

$$\mu(Sedikit) = \begin{cases} \frac{4-x}{4-0}; & 0 \leq x \leq 4 \\ 0, & x \geq 4 \end{cases}$$

$$\mu(\text{Sedang}) = \begin{cases} 0; & x \leq 3 \text{ atau } x \geq 15 \\ \frac{x-3}{9-3}; & 3 \leq x \leq 9 \\ \frac{15-x}{15-9}; & 9 \leq x \leq 15 \\ 0; & x \leq 10 \\ \frac{x-10}{20-10}; & 10 \leq x \leq 20 \\ 1; & x \geq 20 \end{cases}$$

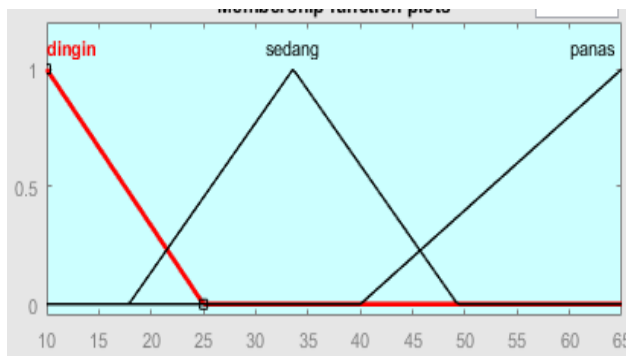
3. Pembuatan Variabel Suhu

Pada variabel suhu ini penulis memasukkan 3 himpunan fuzzy yaitu dingin, sedang, dan panas seperti dijelaskan oleh Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Variabel Suhu

Variabel	Himpunan	Semesta	Domain
Suhu	Dingin	10-65	10-25
	Sedang		18-50
	Panas		40-65

Dari Tabel 5.3 Variabel Output Suhu dibuatkan kurva representatifnya yang ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Kurva Representatif Variabel Suhu

Derajat Keanggotaan variabel Suhu :

$$\mu(\text{Dingin}) = \begin{cases} \frac{25-x}{25-10}; & 10 \leq x \leq 25 \\ 0; & x \geq 25 \end{cases}$$

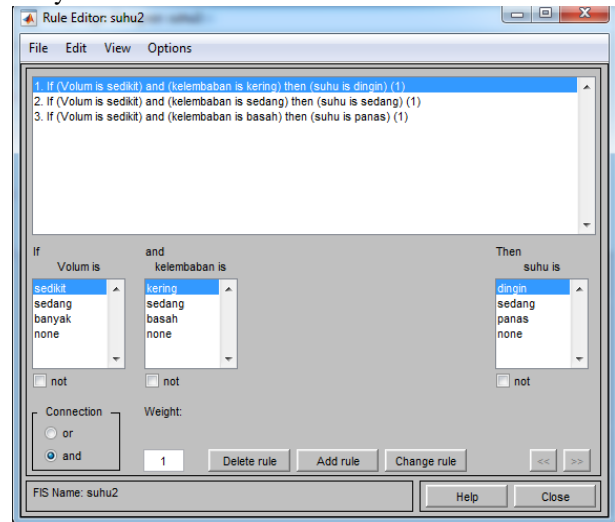
$$\mu(\text{Sedang}) = \begin{cases} 0; & x \leq 18 \text{ atau } x \geq 50 \\ \frac{x-18}{34-18}; & 18 \leq x \leq 34 \\ \frac{50-x}{50-34}; & 34 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

$$\mu(\text{Panas}) = \begin{cases} 0; & x \leq 40 \\ \frac{x-40}{65-40}; & 40 \leq x \leq 65 \\ 1; & x \geq 65 \end{cases}$$

B. Rule Based

Setelah tahap fuzzyfikasi, maka dilakukan pembentukan pengetahuan fuzzy berupa aturan/Rule. Aturan-aturan dibentuk untuk menyatakan relasi antara input dan output. Tiap aturan merupakan satu fungsi implikasi, operator yang

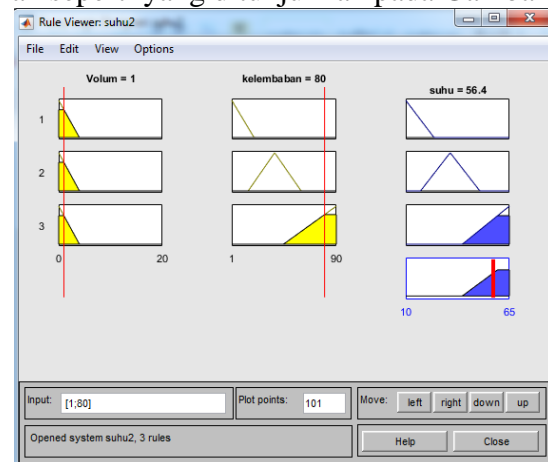
digunakan untuk menghubungkan antara dua input adalah operator AND, dan yang memetakan antara input-output adalah IF-THEN. Dalam penelitian ini dibentuk beberapa aturan yaitu :



Gambar 13 Rule Based Sistem Pengeringan

C. Mesin Inferensi

Setelah aturan dibentuk, maka dilakukan pada mesin inferensi memproses aplikasi fungsi implikasi. Pada penelitian ini fungsi implikasi yang digunakan adalah MIN, yang berarti tingkat keanggotaan yang didapat sebagai konsekuen dari proses ini adalah nilai minimum dari variabel volum dan variabel kelembaban. Sehingga didapatkan daerah fuzzy pada variabel suhu untuk masing-masing aturan. Dilakukan percobaan dengan memberikan input Volum 1 liter dan kelembaban 80%, maka didapatkan hasil dengan rincian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Mesin Inferensi Matlab

$$\begin{aligned}\alpha \text{ predikat} &= \mu_{\text{volumSedikit}} \cap \mu_{\text{kelembabanBasah}} \\ &= \min(\mu_{\text{volumSedikit}}(1) \cap \mu_{\text{kelembabanBasah}}(80)) \\ &= \min(0,75; 0,78) \\ &= 0,75\end{aligned}$$

Dengan demikian, fungsi keanggotaan untuk hasil komposisi adalah :

$$\mu(\text{Panas}) = \begin{cases} 0; & x < 40 \\ \frac{x-40}{65-40}; & 40 \leq x \leq 65 \\ 0,75; & x > 65 \end{cases}$$

D. Defuzzyfikasi

Tahap selanjutnya adalah *defuzzyfikasi* yang merupakan tahap merubah nilai tidak sebenarnya (fuzzy) menjadi nilai sebenarnya (nilai tegas). Berikut ini perhitungan defuzzyfikasi untuk contoh kasus pada tahap yang sebelumnya :

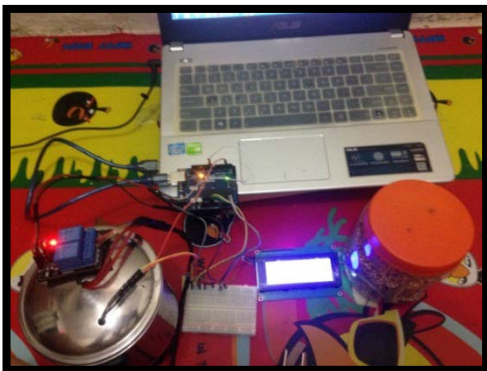
$$X = \frac{\int_{40}^{65} (0,75)zdz}{\int_{40}^{65} 0,75dz} = \frac{984,375}{17,416} = 56,52$$

Dari proses– proses fuzzyfikasi hingga defuzzyfikasi yang sudah dilakukan diatas dengan memberikan sampel yang harus dihitung sehingga didapatkan output suhu, setelah dilakukan penerapan logika fuzzy akhirnya didapatkan nilai suhu 56,52 derajat celcius. Hasilnya masih ada dirange suhu panas walaupun akurasi perhitungannya kurang pas dengan perhitungan manual didapatkan hasil 56,52 derajat celcius sedangkan perhitungan dengan mesin inferensi fuzzy didapatkan hasil 56,4 derajat celcius dan berarti hasil yang didapat sudah sesuai dengan aturannya.

5.2. Kinerja Alat Pengering

Pada Sub bab ini penulis akan menjelaskan hasil dari kinerja alat dimana alat bekerja dengan cukup baik, tetapi masih ada beberapa kekurangan, diantaranya keakuratan sensor yang dipakai kurang baik.

Berdasarkan pengujian mengeringkan lada dengan alat yang dibuat dengan memasukkan lada 1 liter, pada tahap awal tingkat kekeringan lada 80 % RH, setelah itu proses pengeringan berjalan, tingkat kelembaban lada berangsur – angsur turun hingga didapatkan kelembaban 17% sesuai dengan standar kekeringan lada yaitu 15 – 17% [13].



Gambar 15 Proses Pengujian Pengeringan Lada

Selain itu pada saat proses pengujian alat juga dilakukan pengukuran suhu dengan menggunakan termometer air raksa, dimana didapatkan hasil suhu yang diukur dengan menggunakan alat lebih besar dibandingkan suhu yang diukur dengan termometer dengan selisih 2-3 derajat celcius. Selain itu wadah pengering yang digunakan juga kurang baik sehingga menyebabkan panas dari alat pemanas kurang merata secara sempurna. Untuk kontrol alat pemanas berhasil dengan baik dimana pada saat suhu mencapai batas maksimum alat pemanas mati.

6 Simpulan

Dari semua bahasan yang telah penulis buat dalam penelitian ini, dapat penulis simpulkan bahwa :

1. Konsep logika fuzzy dapat diaplikasikan dengan baik pada alat pengering, dimana alat pengering bisa menurunkan kekeringan lada hingga 17%.
2. Dengan menggunakan *tools – tools* yang ada pada aplikasi Matlab perhitungan logika fuzzy menjadi lebih mudah dan hasil yang didapatkan lebih baik.
3. Keakuratan hasil pengukuran suhu dari sensor kurang baik, terdapat selisih 2-3 derajat celcius dari pengukuran suhu dengan menggunakan Termometer Air Raksa.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat keterbatasan dari alat yang dibuat dan peneliti mengusulkan agar alat ini dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat di aplikasikan ke bentuk nyata dengan kapasitas penampungan wadah yang lebih besar. Serta mengganti sensor DHT 22 dengan sensor yang memiliki keakuratan pengukuran lebih baik seperti sensor AM2302.

Kepustakaan

- [1] Hari Purnomo Sri Kusumadewi, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*, 1st ed., Sri Kusumadewi, Ed. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2004.
- [2] ST. Moh. Ibnu Malik, *Aneka Proyek Mikrokontroler PIC16F84A*. Jakarta, Indonesia: Elex Media Komputindo, 2009.
- [3] Sri Kusumadewi, *Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem fuzzy dan jaringan syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.
- [4] Endra Pitowarno, *Robotika Desai, Kontrol, Dan Kecerdasan Buatan*, Pitowarno, Ed. Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Andi, 2006.
- [5] Thomas Sri Widodo, *Sistem Neuro Fuzzy untuk pengolahan Informasi, Pemodelan, dan Kendali*. Yogyakarta, Indonesia: Graha Ilmu, 2008.
- [6] S.P. Feriadi. (2016, April) BPTP Kepulauan Bangka Belitung. [Online]. <http://babel.litbang.pertanian.go.id/index.php/sdm-2/15-info-teknologi/441-lada-putih>
- [7] Immersia Lab. (2014, Juni) Immersia-Labs. [Online]. <http://www.immersia-lab.com/jenis-jenis-mikrokontroler.htm>
- [8] Immersia Lab. (2014, July) Immersia-Labs. [Online]. <http://www.immersia-lab.com/pengenalan-mikrokontroler.htm>
- [9] Zona Elektro. (2014, Oktober) Zona Elektro. [Online].

- <http://zoniaelektro.net/sensor/>
- [10] Kelas Robot. (2014, November) Kelas Robot. [Online].
<http://www.kelasrobot.com/2014/11/macam-macam-jenis-sensor-pada-robot.html>
- [11] Bayu Tehnik. (2015) Best Air Dehumidifier. [Online].
<http://www.bestairdehumd.com/new/apa-itu-kelembaban/>
- [12] Prabowo Pudjo Widodo, *Menggunakan UML, Unified Modelling Language*. Bandung, Indonesia: Penerbit Informatika, 2011.
- [13] Menteri Pertanian Republik Indonesia, 2012 Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 55/Permentan/OT.140/9/2012 tentang Pedoman Penanganan Pascapanen Lada, Jakarta : Kementerian Pertanian RI.

Bidang
Teknik Elektro



FROZEN FOOD

www.uwenake.com

UWENAKE Frozen Food
Makanan Khas Nusantara
yang Lezat, Sehat Siap Saji
Tanpa MSG dan Bahan Pengawet
Dengan bahan dasar HALAL

Kakap Fillet



Ayam Fillet



Daging Sapi



Pedas Hijau



Cabe Merah



Sate Goreng



Pedas Merah



Cabe Ijo



Dendeng Kelem



UWENAKE



Pengaruh Bentuk *Bluff Body* Terhadap Tegangan Listrik yang Dihasilkan Piezoelektrik dengan Sistem Kantilever

Adhes Gamayel

Sekolah Tinggi Teknologi Jakarta
Jl. Jatiwaringin Raya No.278 Pondok Gede, Telp. +62 21 8461155
E-mail : adhesgamayel22@gmail.com

Abstrak – Piezoelektrik adalah salah satu alat pemanen energi. Piezoelektrik dengan mekanisme kantilever menghasilkan getaran dan defleksi secara berulang sehingga menimbulkan tegangan listrik. Penelitian penambahan batang pada ujung piezoelektrik (*galloping system*) telah dilakukan dengan membahas efek gaya drag dan lift terhadap tegangan listrik yang dihasilkan. Namun, Penelitian mengenai bentuk penampang *bluff body* dengan jarak tertentu pada piezoelektrik sistem kantilever belum ada. Metode penelitian yang dilakukan adalah mengukur tegangan maksimal dan tegangan rata-rata yang dihasilkan piezoelektrik dengan variasi: tanpa *bluff body*, *bluff body* penampang segitiga, dan *bluff body* penampang lingkaran. *Bluff body* tersebut dipasang pada jarak 50 dan 100 mm dari piezoelektrik. Penelitian dilakukan dalam terowongan angin mini dengan kecepatan angin 1,4 m/s ; 1,6 m/s ; dan 2 m/s. Hasil terbaik dari penelitian ini didapatkan oleh *bluff body* bentuk penampang segitiga dengan tegangan listrik maksimal 0.34 mV dan tegangan listrik rata-rata 0.038 mV. Aliran udara saat melewati penampang segitiga mengalami peningkatan kecepatan sehingga vorteks yang dihasilkan memiliki kecepatan tinggi. Hal inilah yang mengakibatkan getaran tinggi pada piezoelektrik sehingga tegangan listrik maksimal dan tegangan listrik rata-rata bernilai paling tinggi..

Kata kunci: piezoelektrik, *bluff body*, vorteks.

1 Pendahuluan

Pemanenan energi (*energy harvesting*) adalah cara pengumpulan energi dari sumber energi yang telah dikonversikan menjadi energi listrik. Energi yang dihasilkan kecil sehingga membutuhkan waktu agar dapat dipanen dan dimanfaatkan secara maksimal. Sumber energi angin dapat dipanen secara nyata menggunakan turbin angin. Namun, desain konstruksi tinggi, lahan yang luas, dan kecepatan angin tinggi menjadi syarat agar turbin angin dapat beroperasi dengan baik. Turbin angin tidak bisa ditempatkan di daerah perkotaan, di daerah dengan kecepatan angin rendah, dan di daerah yang padat penduduk.

Di lain hal, Piezoelektrik adalah alat pemanen energi yang dapat mengubah getaran menjadi energi listrik [1]. Pemasangan piezoelektrik dengan mekanisme kantilever menghasilkan getaran dan terjadi defleksi secara berulang sehingga timbul tegangan listrik [2]. Sistem kantilever memiliki kemampuan beresonansi pada frekuensi rendah dan menghasilkan tekanan (*stress*) tinggi pada batang [3]. Penambahan batang silinder pada ujung piezoelektrik

(*galloping cantilever beam*) dilakukan oleh Wang et al, 2014 [4] agar getaran yang dihasilkan lebih baik karena adanya gaya drag dan lift saat udara melewati silinder. Sirohi et al, 2011 [5] meneliti *galloping beam* dengan bentuk penampang seperti huruf D. Getaran terjadi akibat adanya gaya aerodinamika saat udara melewati penampang huruf D. Gaya aerodinamika yang dihasilkan oleh sebuah penghalang (*bluff body*) selain lift dan drag adalah vortex. *Bluff body* dengan bentuk penampang lingkaran memiliki kerugian drag dan tekanan terkecil, namun vortex yang besar ditimbulkan oleh penampang bersudut [6]. Vorteks besar diharapkan mampu menggetarkan piezoelektrik lebih baik, sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh *bluff body* terhadap tegangan listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tegangan maksimal dan rata-rata yang dihasilkan oleh piezoelektrik jika diberi penghalang pada jarak tertentu.

2 Dasar Teori

2.1. Piezoelektrik & Getaran

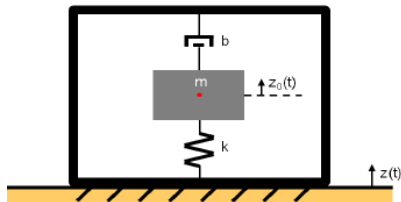
Piezoelektrik didefinisikan sebagai suatu material yang dapat menghasilkan tegangan listrik jika mendapatkan tekanan atau regangan. Saat terjadi tekanan atau regangan di permukaan material piezoelektrik, pergerakan elektron menjadi searah dan terpolarisasi. Hal ini menyebabkan terjadinya muatan positif dan negatif pada permukaan material sehingga timbul tegangan listrik.

Berdasarkan skema pemanenan energi sistem pegas-massa pada gambar 1, peredaman (b), massa (m) dan konstanta pegas (k) memiliki hubungan dalam perubahan gerakan sinusoidal. Getaran frekuensi natural diberikan dengan persamaan $\omega_n = \sqrt{k/m}$ sehingga persamaan sinusoidalnya adalah $z(t) = A \sin(\omega_n t)$.

Daya listrik maksimal dapat dihasilkan pada energi kinetik tinggi, frekuensi resonansi rendah dan tingkat energi redam rendah. Properties getaran untuk sistem kantilever sama dengan sistem pegas-massa sehingga didapatkan persamaan; [7]

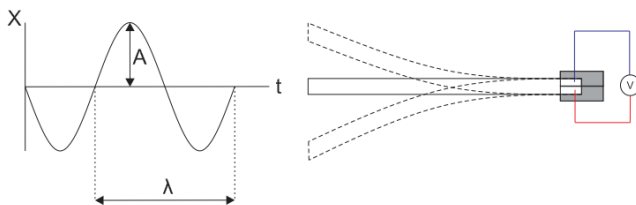
$$m_{eq} = 0.23\rho (W \cdot L \cdot T) + m \quad (1)$$

$$k_{eq} = \frac{3YI}{L^3} = \frac{YWT^3}{4L^3} \quad (2)$$



Gambar 1. Model pemanenan energi sistem pegas-massa [7]

$\rho, W, L, T, Y, I, k_{eq}$ secara berurutan adalah densitas massa, lebar, panjang, ketebalan, modulus Young, momen inersia dan kekakuan. Saat plat ditebuk akan terjadi regangan dan tegangan. Pada kasus dimana regangan bernilai kecil, beberapa material mengabaikan hukum Hooke sehingga tegangan sebanding dengan regangan dimana konstanta proporsionalitas menjadi modulus Young, $Y(\sigma = \delta Y)$.



Gambar 2. Gerak harmonis sederhana piezoelektrik sistem kantilever

Gerak harmonik adalah gerak bolak balik benda melalui suatu titik kesetimbangan tertentu dengan banyaknya getaran benda dalam setiap sekon selalu konstan. Bentuk gerak

periodik yang paling sederhana adalah gerak harmonik. Hal ini dapat diperagakan dengan sebuah massa yang digantung pada sistem kantilever seperti terlihat pada gambar 2. Jika massa tersebut dipindahkan dari posisi diam dan dilepaskan, maka massa tersebut akan berosilasi naik turun.

2.2. Bluff body

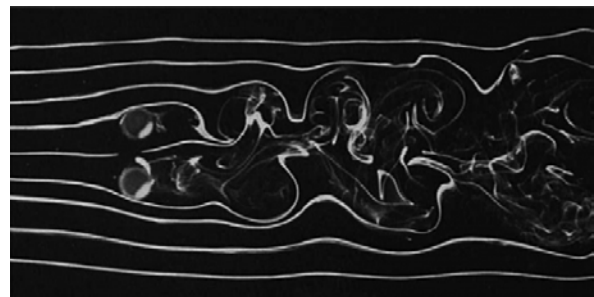
Bluff body adalah suatu bangun geometri yang berfungsi untuk memisahkan aliran yang teratur menjadi tidak teratur. Aliran fluida streamline yang melewati *bluff body* akan menimbulkan olakan dengan nilai vortisitas tinggi sehingga memungkinkan terjadinya vorteks pada aliran tersebut. Vorteks adalah suatu fenomena yang terukur pada streamline yang memiliki nilai rotasional acak yang besar. Rotasi vorteks tersebut akan membuat pergerakan fluida yang terkena efeknya menjadi acak dan cenderung mengarah ke turbulen [8].

Berdasarkan gambar 3, jika vorteks pada aliran udara semakin besar, dapat digunakan sebagai penggerak piezoelektrik sistem kantilever sehingga timbul getaran secara terus menerus. Ilustrasi penggunaan *bluff body* sebagai pemecah aliran udara dan diaplikasikan pada piezoelektrik sistem kantilever dapat dilihat pada gambar 4.

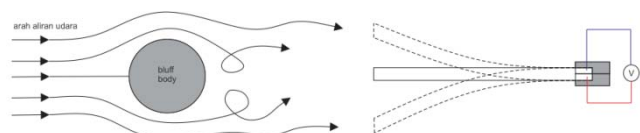
3 Metodologi Penelitian

3.1. Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah penelitian eksperimental sungguhan (*true experimental research*) dengan mengukur tegangan listrik rata-rata dan tegangan listrik maksimal yang dihasilkan oleh piezoelektrik sistem kantilever pada aliran udara tanpa *bluff body*, melewati *bluff body* berbentuk segitiga dan lingkaran. Jarak antara piezoelektrik dan *bluff body* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 50 dan 100 mm.



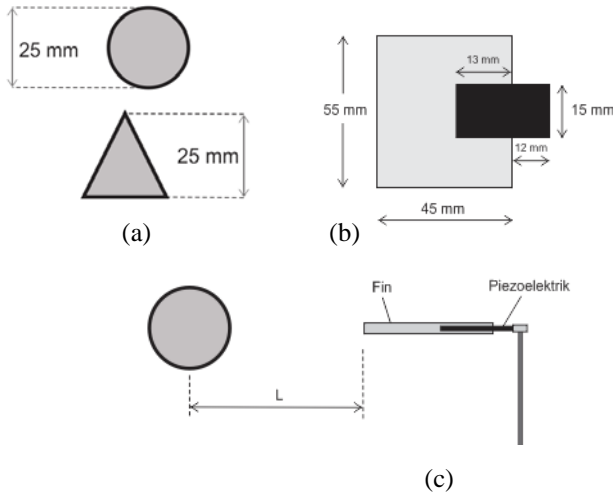
Gambar 3. Fenomena vortex saat udara melewati penampang silinder [9]



Gambar 4. Konsep bluff body sebagai pemecah aliran udara penggerak kantilever

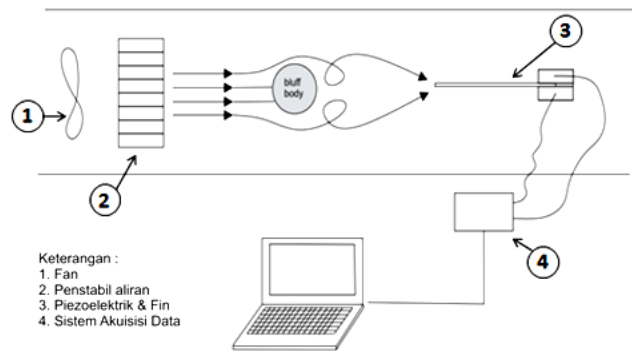
3.2. Alat, Bahan dan Instalasi Penelitian

Diameter dan tinggi *bluff body* adalah 25 mm dipasang sejajar berjarak (L) 50 dan 100 mm dengan piezoelektrik berbahan PVDF tipe LDT0-028K buatan Measurement Specialties dengan dimensi 9.8 x 5.2 mm, ketebalan 28 μm dan dilapisi oleh polyester setebal 0.125 mm sehingga total dimensi menjadi 25 x 15 mm. Piezoelektrik dipasang sirip (*fin*) berdimensi 45 x 55 mm dengan tujuan mendapatkan lendutan maksimal saat udara menumbuk. Detil dimensi *bluff body*, piezoelektrik dan sirip dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. (a) dimensi bluff body, (b) dimensi sirip dan piezoelektrik, (c) Jarak penempatan piezoelektrik- bluff body

Bluff body dan piezoelektrik ditempatkan dalam terowongan angin berbahan akrilik dengan luas penampang 120 x 120 mm. Di dalam terowongan angin, *fan* menghembuskan aliran udara dengan kecepatan yaitu 1.4 ; 1.6 ; dan 2 m/s. Pengukuran tegangan listrik pada piezoelektrik yang bergetar menggunakan mikrokontroler dan sistem akuisisi data berbasis *freeware* yaitu PLX-DAQ dengan pengambilan sebanyak 10 data tiap 1 detik dan tercatat pada tabel excel. Skema penelitian dapat dilihat pada gambar 6.

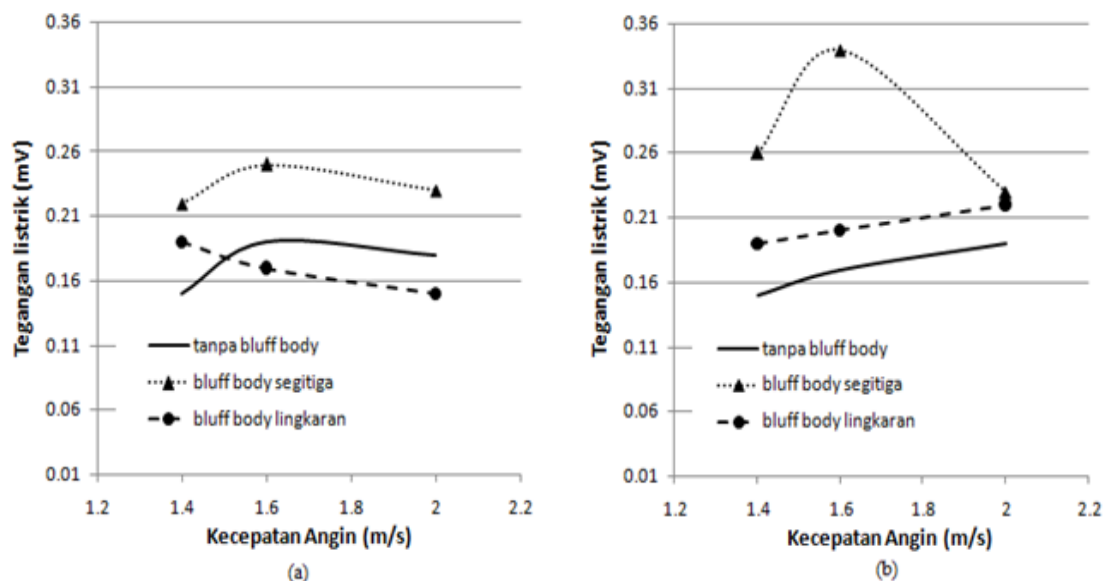


Gambar 6. Skema instalasi penelitian

4 Temuan dan Pembahasan

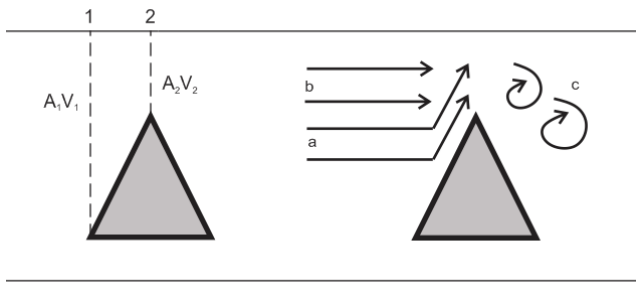
4.1 Hubungan bentuk bluff body dan tegangan listrik maksimal

Tegangan listrik maksimal dalam tulisan ini adalah tegangan tertinggi yang dihasilkan oleh getaran piezoelektrik selama 60 detik. Tegangan maksimal sebesar 0.34 mV didapatkan dari aliran udara 2 m/s yang melewati *bluff body* segitiga pada jarak 100 mm. Hubungan bentuk *bluff body* dan tegangan listrik maksimal yang dihasilkan ditampilkan pada gambar 7. Tegangan listrik maksimal dihasilkan pada aliran udara yang melewati *bluff body* penampang segitiga di jarak 50 mm dan 100 mm. Hal ini karena udara mengalami peningkatan kecepatan saat mengalir di sepanjang penampang segitiga. Jarak penampang segitiga dan dinding terowongan angin semakin ke ujung segitiga semakin pendek, sehingga luasan saluran udara semakin menyempit dan menyebabkan kecepatan udara meningkat. Saat udara telah melewati *bluff body* segitiga dengan kecepatan tinggi, ujung segitiga menjadi



Gambar 7. Tegangan maksimal yang dihasilkan pada jarak (a) 50 mm, (b) 100 mm

penyebab terjadinya vorteks sehingga impuls yang terjadi pada ujung piezoelektrik menjadi besar. Ilustrasi peningkatan kecepatan dan terjadinya vorteks dapat dilihat pada gambar 8. Pada perlakuan tanpa *bluff body*, semakin tinggi kecepatan angin yang diberikan tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap tegangan listrik maksimal yang dihasilkan. Hal ini terjadi karena tidak timbul vorteks yang mampu meningkatkan impuls pada piezoelektrik.



Gambar 8. Penyempitan aliran udara dan profil kecepatan (a) saat menumbuk penampang, (b) tidak menumbuk, (c) olakan akibat pertemuan antara (a) dan (b)

4.2 Hubungan bentuk bluff body dan tegangan listrik rata-rata

Tegangan listrik rata-rata yang dihasilkan piezoelektrik saat melewati *bluff body* penampang segitiga memiliki nilai tertinggi dibandingkan dengan *bluff body* penampang lingkaran dan tanpa *bluff body* (gambar 9). Untuk *bluff body* penampang lingkaran memiliki nilai terendah saat dipasang pada jarak 50 mm dan nilainya berada di atas aliran udara tanpa *bluff body* saat dipasang pada jarak 100 mm. Hal ini terjadi karena saat dipasang pada jarak 50 mm, terjadi vorteks

tetapi tidak banyak mengenai sirip piezoelektrik, sehingga impuls yang dihasilkan kecil dibanding dengan aliran udara tanpa *bluff body*. Pada jarak 100 mm, sirip piezoelektrik lebih banyak bertumbukan dengan vorteks dari *bluff body* penampang lingkaran.

5 Kesimpulan

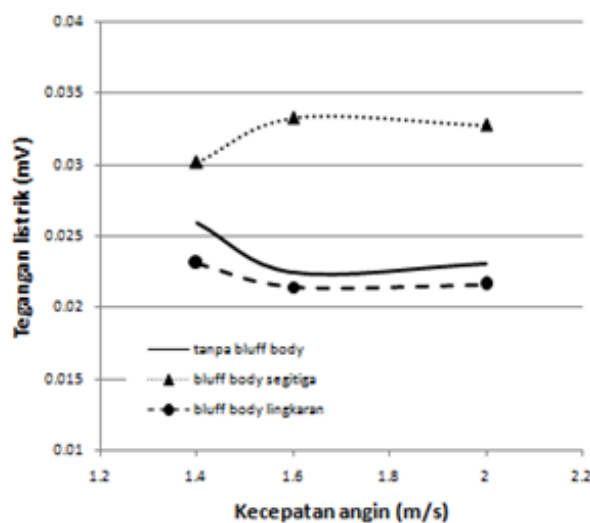
Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan diatas adalah pemasangan *bluff body* menimbulkan vorteks pada aliran udara sehingga mampu meningkatkan getaran dan tegangan listrik pada piezoelektrik. *Bluff body* penampang segitiga memiliki tegangan listrik maksimal dan tegangan rata-rata paling tinggi karena kecepatan aliran dan vorteks yang dihasilkan tinggi.

Penghargaan

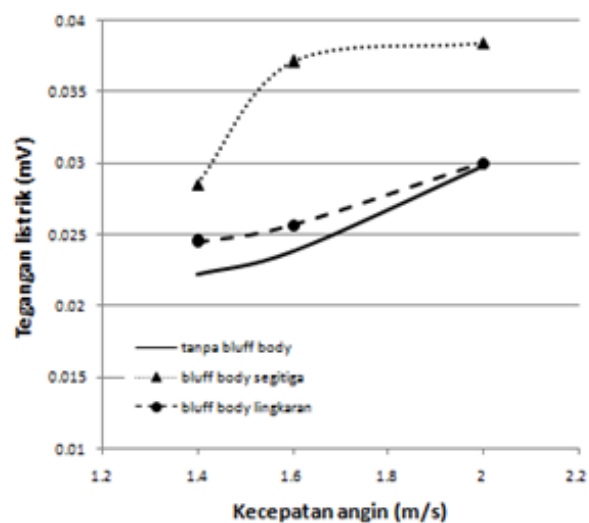
Ucapan terima kasih diberikan kepada M. Ridwan Nurmartha yang telah membantu dalam pengambilan data penelitian ini

Kepustakaan

- [1] Kokkinopoulos A, Vokas G, Papageorgas P. Energy harvesting implementing embedded piezoelectric generators – The potential for the Attiki Odos traffic grid. In The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy, Environment and Sustainability, TMREES14; 2014. p. 1070 – 1085.
- [2] Yulia E, Putra EP, Ekawati ,E, N. Polisi Tidur Piezoelektrik Sebagai Pembangkit Listrik dengan Memanfaatkan Energi Mekanik Kendaraan Bermotor. Jurnal Otomasi, Kontrol, dan Instrumentasi. 2016; 8(1).
- [3] Kundu S, Nemade HB. Modeling and Simulation of a Piezoelectric Vibration Energy Harvester. In 12th International Conference on Vibration Problems, ICOVP 2015; 2016. p. 568 – 575.



(a)



(b)

Gambar 9. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pada jarak (a) 50 mm, (b) 100 mm.

- [4] Wang J, Ran J, Zhang Z. Energy Harvester Based on the Synchronization Phenomenon of a Circular Cylinder. *Mathematical Problems in Engineering*. 2014; 2014.
- [5] Sirohi J, Mahadik R. Piezoelectric wind energy harvester for low-power sensors. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2011; 22(18).
- [6] Gandhi BK, Singh SN, Seshadri V, Singh J. Effect of Bluff Body shape on vortex flow meter performance. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. 2004 October; 11.
- [7] Giuseppe GD, Centuori A, Malvasi A. An improved PZT cantilever SPICE model for practical energy harvesting circuits simulations and measurements. *Measurement*. 2016 September.
- [8] Gamayel A. Pengaruh Pemasangan Bluff Body Terhadap Karakteristik Pembakaran Biobriket. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik*. 2014 Mei; 17(1): p. Vol. 17, No. 1, 53-60.
- [9] Bearman PW, Wadcock AJ. The interaction between a pair of circular cylinder normal to a stream. *Journal of Fluid Mechanics*. 1973; 61.

PERANCANGAN KONTROLER UNTUK TURBIN ANGIN SKALA KECIL

Muhammad Rinaldy Robiansyah

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung
E-mail : robianshah24@gmail.com

Abstrak – Di Indonesia, upaya pengadaan energi listrik di daerah teringgal sudah dilakukan melalui penggunaan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil. Pada sistem yang telah dibangun di beberapa daerah ini, digunakan generator TSD-500 dengan spesifikasi daya keluarannya adalah 500 watt, tegangan 180V AC tiga fasa, dan arus 3A. Sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil terdiri dari beberapa komponen antara lain: turbin angin, generator, kontroler, data logger, sistem penyimpanan energi (baterai, pump storage), dan inverter. Energi keluaran generator TSD-500 berupa gelombang tegangan listrik AC (Alternating Current) tiga fasa dan digunakan baterai sebagai sistem penyimpanan energi listrik. Baterai bekerja pada tegangan listrik DC (Direct Current). Kontroler digunakan untuk mengatur proses penyimpanan energi hasil konversi kedalam baterai. Proses penyimpanan tersebut meliputi: penyearahan tegangan AC tiga fasa menjadi tegangan DC, pemantauan besar energi listrik keluaran generator, pemantauan besar arus dan tegangan keluaran kontroler, penyesuaian besar arus dan tegangan proses pengisian baterai, serta upaya pengamanan sistem dari overvoltage. Perangkat kontroler yang dirancang terdiri dari beberapa subsistem dan telah teruji melalui proses penyimpanan energi listrik dari keluaran generator (tegangan sekitar 90V DC) ke dalam baterai dengan tegangan dan arus sekitar 13V dan 2,5A.

Kata kunci: Generator, Buck Regulator, Three Phase Rectifier.

1 Pendahuluan

Keberlangsungan kehidupan manusia pada saat ini sangat tergantung pada ketersediaan energi, dalam hal ini adalah energi listrik. Energi listrik digunakan untuk menunjang berbagai kegiatan manusia seperti transportasi, operasional industri, pengolahan pangan, panggung hiburan, dan lain sebagainya. Di seluruh dunia terdapat 7 milyar lebih manusia, dan 70% hidup di negara berkembang, namun perlu diketahui bahwa 30% lebih, dari 7 milyar manusia ini masih belum menikmati kemajuan dunia yang bernama peradaban elektrik ini. Oleh karena itu, untuk membantu sebagian manusia yang masih belum merasakan adanya energi listrik ini dibutuhkan sebuah pembangkit listrik skala kecil. Karena yang tertinggal ini sudah jelas tidak akan mampu membeli atau membangun pembangkit listrik dengan skala besar.

Salah satu energi yang termasuk sumber energi terbarukan dan berpotensi sebagai sumber pembangkit listrik skala kecil adalah energi angin. Namun pada sistem pembangkit listrik energi angin terdapat kendala utama yaitu torsi yang dihasilkan dari putaran bilah kincir angin

cenderung kecil. Saat ini telah ditemukan sebuah teknologi generator pada turbin angin, yaitu *coggingless technology* (teknologi tanpa lendutan). *Coggingless technology* memungkinkan generator untuk berputar tanpa adanya *cogging* (lendutan) akibat adanya interaksi medan magnet yang dihasilkan oleh permanent magnet dengan inti dari solenoids (kumparan) sehingga putaran generator lebih ringan dan generator bisa berputar di torsi yang sangat kecil. Energi listrik maksimal yang dihasilkan dari generator skala kecil ini adalah 500 watt, dengan tegangan *line to netral* 160 volt tiga fasa dan arus 3 ampere.

Di Indonesia, terdapat sebuah pusat penelitian tentang pembangkit listrik tenaga angin skala kecil, yaitu PT. Lentera Angin Nusantara. Pada sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil yang terdapat di PT. Lentera Angin Nusantara, energi yang dihasilkan tidak didistribusikan ke beban secara langsung, melainkan disimpan pada sistem penyimpanan energi dengan menggunakan baterai 24V. Sistem penyimpanan yang berupa baterai ini bekerja pada tegangan DC. Bentuk tegangan keluaran generator adalah AC tiga fasa sedangkan tegangan kerja baterai adalah DC sehingga pada

sistem pembangkit listrik tenaga angin skala kecil ini diperlukan sebuah kontroler yang berfungsi sebagai pengatur proses penyimpanan energi listrik keluaran turbin. Proses-proses yang terdapat pada kontroler antara lain adalah: pembacaan level tegangan keluaran generator, penyearahan gelombang AC tiga fasa, penyesuaian level tegangan dari rectifier dan memaksimalkan energi listrik yang dapat diekstrak dari energi angin. Perancangan kontroler untuk turbin angin skala kecil ini dimaksudkan untuk membantu upaya pengadaan energi listrik di daerah tertinggal yang sudah dilakukan oleh PT. Lentera Angin Nusantara dan sebagai generasi Indonesia, ini merupakan salah satu usaha untuk mewujudkan Indonesia mampu swasembada teknologi.

2 Landasan Teori

2.1. Deskripsi Kerja dan Konsep Solusi

Merujuk pada permasalahan yang ada, kerja dari kontroler turbin angin ini adalah sebagai berikut:

Penyesuaian tegangan keluaran generator dengan tegangan kerja baterai. Tegangan keluaran generator adalah tegangan AC tiga fasa, sehingga perlu adanya penyesuaian dengan tegangan kerja baterai yaitu tegangan DC. Pengaturan level tegangan keluaran kontroler, Karena besar tegangan keluaran generator yang fluktuatif (tergantung kecepatan angin) sehingga perlu adanya regulasi terhadap tegangannya untuk dapat disimpan kedalam baterai. Selain itu, pada kontroler juga terdapat sistem pengaman guna melindungi komponen dalam kontroler itu sendiri jika terjadi *overvoltage*.

Jadi, KMS adalah metode pengelolaan pengetahuan yang meningkatkan kualitas SDM organisasi, dengan mengoptimasi jalur komunikasi *knowledge* antar elemennya, sehingga pengetahuan SDM meningkat. KMS merupakan proses kompleks menggabungkan berbagai solusi menjadi satu. Institusi harus komprehensif dalam mengumpulkan, mengatur, menyebarkan, menganalisa pengetahuan untuk kebutuhan institusi kini dan di masa datang.

2.2. Pemilihan Konsep

Berdasarkan deskripsi kerja dan konsep solusi diatas, adapun konsep yang akan dirancang adalah sebagai berikut:

Untuk menyesuaikan tegangan keluaran generator dengan tegangan kerja baterai, diaplikasikan rangkaian penyearah tiga fasa yang merubah tegangan AC tiga fasa menjadi tagangan DC. Keluaran dari rectifier masih memiliki ripple yang sangat tinggi sehingga diperlukan adanya filter untuk mengurangi ripple tersebut. Tegangan DC hasil keluaran filter memiliki level tegangan yang fluktuatif dan cenderung tinggi karena tergantung pada tegangan keuluaran generator, oleh karena itu digunakan Buck Regulator yang akan mengatur level terganngan keluaran kontroler. Selain untuk mengatur level tegangan keluaran kontroler, penggunaan Buck Regulator juga ditujukan untuk mengatur besar arus yang masuk kedalam baterai, karena besar arus yang mengalir dipengaruhi oleh besar beda pontensial listrik antara kontroler dengan

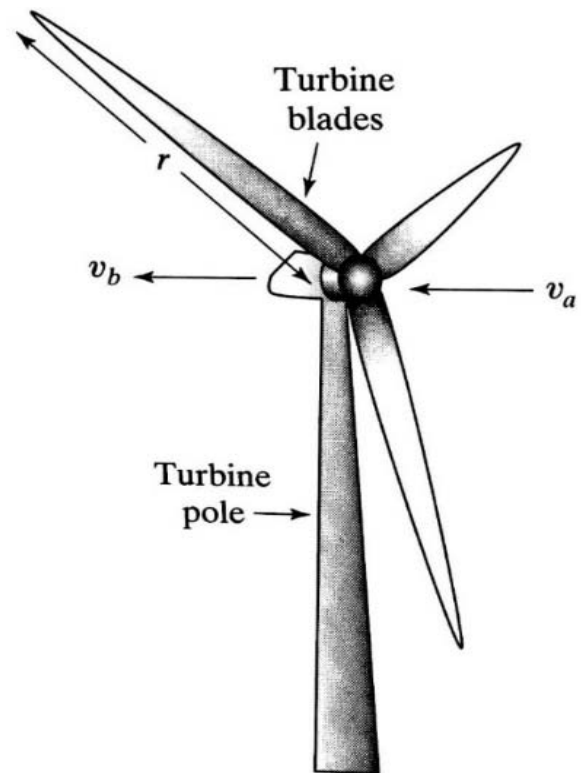
baterai. Pengaturan arus dan tegangan pada kontroler diaplikasikan pada metode MPPT (Maximum Power Point Tracking) guna meningkatkan efisiensi transfer dayanya. Untuk switching pada buck regulator digunakan sinyal PWM dengan frekuensi konstan. Untuk itu digunakan MCU (Micro Controller Unit) untuk mengatur proses switching pada buck regulator dan memonitoring tegangan keluaran kontroler, sehingga level teganganya tetap stabil pada level arus yang berbeda-beda.

2.3. Pemilihan Konsep

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik dengan menggunakan tenaga angin. Perhitungan daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah turbin angin dengan diameter kipas r adalah :

$$P = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \quad (1)$$

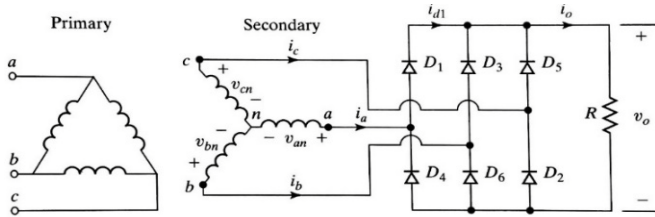
dengan ρ adalah kerapatan angin pada waktu tertentu dan v adalah kecepatan angin pada waktu tertentu. Umumnya daya efektif yang dapat diambil oleh turbin angin hanya sebesar 20%-30% dari daya estimasi diatas.



Gambar 1 Turbin angin[1].

2.4. Rectifier Tiga Fasa

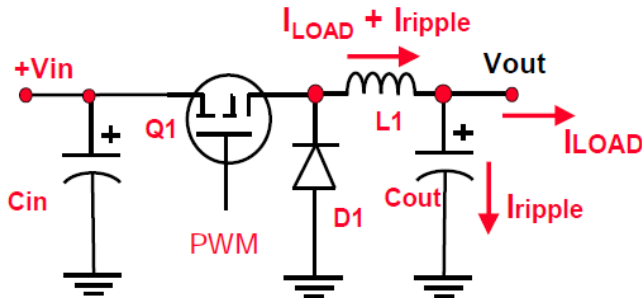
Rectifier atau *AC to DC Converter* berfungsi mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Komponen utama yang digunakan pada proses *rectifier* yaitu dioda. Salah satu jenis *rectifier* yaitu *three phase bridge rectifier*.



Gambar 2 Rangkaian Three Phase Bridge Rectifier[1].

2.5. Buck Converter

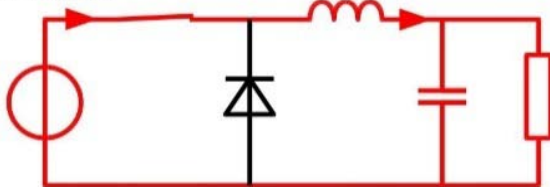
Buck Converter adalah rangkaian yang nilai tegangan keluaran lebih rendah daripada nilai tegangan masukan. Rangkaian *buck converter* terdiri dari induktor, kapasitor dan komponen pensaklaran berupa MOSFET.



Gambar 3. Rangkaian Buck Converter[8]

Prinsip kerja dari rangkaian *buck converter* terbagi atas dua kondisi yaitu kondisi saklar *on* dan kondisi saklar *off*. Ketika pada kondisi saklar *on*, arus mengalir dari sumber menuju induktor sehingga terjadi proses penyimpanan arus pada induktor. Pada waktu yang sama kapasitor akan menyimpan energi dalam bentuk tegangan.

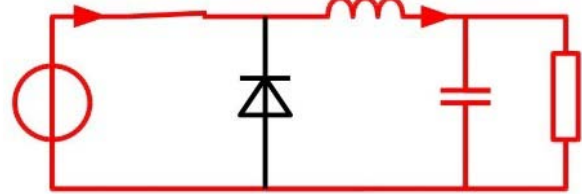
On-State



Gambar 4 Rangkaian Buck Converter Kondisi Saklar On[8]

Kondisi kedua adalah ketika kondisi saklar *off* seperti pada **Gambar 5** dan tidak ada sumber tegangan maka arus yang disimpan pada induktor dikeluarkan menuju ke beban. Pada proses ini, induktor melakukan pengosongan energi yang tersimpan ke seluruh rangkaian. Jika kondisi saklar *on* lagi sebelum induktor habis sepenuhnya, tegangan pada beban akan selalu lebih besar dari nol.^[8]

On-State



Gambar 5 Rangkaian Buck Converter Kondisi Saklar Off[8]

Persamaan antara masukan dan keluaran pada *buck converter* dapat dituliskan seperti:

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (1)$$

dengan :

V_o = tegangan keluaran

V_s = tegangan masukan

D = duty cycle

Penentuan nilai induktor dan kapasitor bergantung pada frekuensi *switching* (F_{sw}) dan $I_{ripple}(\Delta I)$ yang telah ditentukan.

Induktor:

$$L = V \times \frac{\Delta T}{\Delta I} \quad (2)$$

$$L = (V_{in} - V_{out}) \times \frac{\left(\frac{D}{F_{sw}}\right)}{I_{ripple}} \quad (3)$$

Dengan :

L = nilai induktansi

V_{in} = tegangan input

V_{out} = tegangan output

Kapasitor output:

$$\Delta V = \Delta I \times \left(ESR + \frac{\Delta T}{C}\right) \quad (4)$$

$$C_{out} = \frac{(\Delta I \times \Delta T)}{\Delta V - (\Delta I \times ESR)} \quad (5)$$

Dengan :

C = kapasitor

V_{out} = tegangan output

ΔI = I_{ripple}

ΔV = tegangan ripple

ESR = Effective Series Resistance

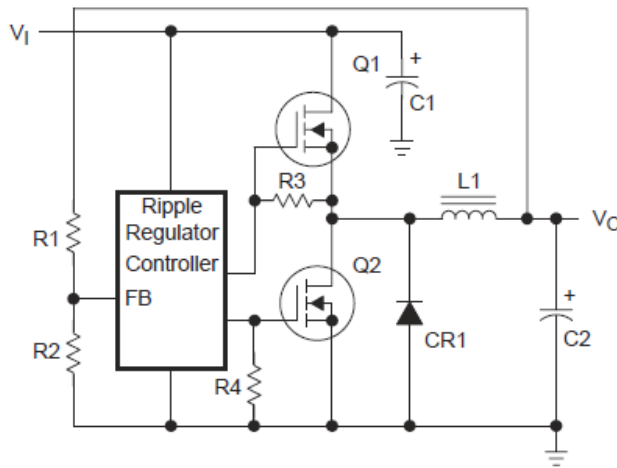
Kapasitor input:

$$C_{input} = \frac{\Delta T}{\frac{V_{ripple}}{I_{ripple}} - ESR} \quad (6)$$

2.6. Synchronous Buck Converter

Pada topologi *synchronous buck converter*, sebuah *power MOSFET* menggantikan *commutating diode output-stage* dari *buck converter* tradisional. Perbaikan ini mengurangi tipikal *drop* dioda 0.5-V-sampai-1-V hingga sekitar 0.3 V atau kurang, menghasilkan perbaikan efisiensi rangkaian sekitar 5% atau lebih besar.

Rangkaian dasar *synchronous buck converter* terdiri dari sepasang *MOSFET*, sebuah filter *output*, and sebuah kontroler yang menghasilkan fungsi *synchronous switching*. Berikut ini merupakan gambar diagram skematik sederhana dari sebuah *synchronous buck converter*.



Gambar 6. Konfigurasi rangkaian synchronous buck converter.[13]

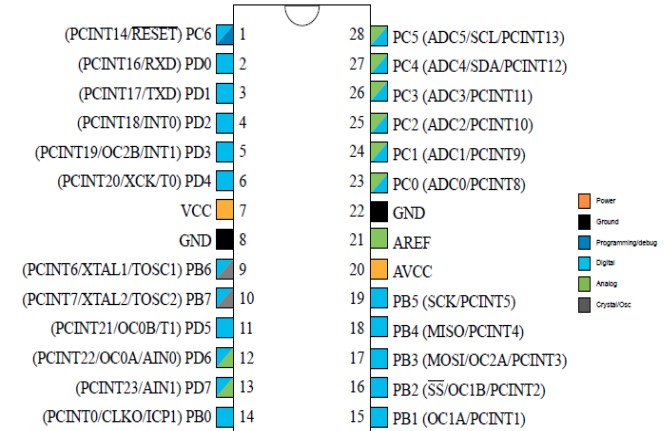
Pada *synchronous buck converter* yang ditunjukkan pada Gambar 6, kontroler *ripple regulator* mengendalikan tegangan *output*. Jika tegangan *output* turun dibawah level regulasi, kontroler menghidupkan MOSFET Q1 dan mematikan Q2; hal ini sekaligus mengisi inductor L1 dan menyuplai *output* beban. Ketika tegangan *output* melebihi level regulasi, kontroler mematikan Q1 dan menghidupkan Q2, dengan begitu menghasilkan sebuah jalur pengganti melewati Q2 untuk menghantarkan arus pada inductor L1 ke beban; hal ini menjaga pengahntaran daya yang kontinu selama kondisi hidup dan mati pada Q1. Kontroler memastikan bahwa power MOSFETs Q1 dan Q2 tidak pernah hidup secara bersamaan, sebuah kondisi yang akan sesaat menempatkan hubungan singkat pada sambungan daya *input*, menghasilkan efisiensi yang sangat rendah dan berpotensi kerusakan pada perangkat *switching*^[13].

2.7. Atmel® ATmega328

Atmel® *picoPower®* ATmega328/P adalah sebuah mikrokontroler *low - power* CMOS 8-bit berbasis AVR® dengan arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) yang sudah ditingkatkan. Dengan mengeksekusi instruksi secara kuat, ATmega328/P mencapai *throughputs* mendekati 1MIPS per MHZ. perbaikan sistem ini bertujuan untuk mengoptimalkan perangkat dari segi konsumsi daya terhadap kecepatan^[9].

Pin-out

Figure 5-1. 28-pin PDIP



Gambar 7 Konfigurasi pin ATmega328/P PDIP. ^[9]

Tabel 1. Spesifikasi ATmega328/P[9].

Features	ATmega328/P
Pin Count	28/32
Flash (Bytes)	32K
SRAM (Bytes)	2K
EEPROM (Bytes)	1K
General Purpose I/O Lines	23
SPI	2
TWI (I ² C)	1
USART	1
ADC	10-bit 15kSPS
ADC Channels	8
8-bit Timer/Counters	2
16-bit Timer/Counters	1

3 Perancangan Sistem

3.1. Desain Sistem

Kontroler pada sistem pembangkit listrik tenaga angin digunakan sebagai pengatur proses penyimpanan energi listrik yang dihasilkan generator kedalam sistem penyimpanan energi (baterai, *pump storage*). Sistem kontroler turbin angin terdiri dari beberapa bagian, antara lain:

A. Rectifier tiga fasa

Penyearah Tiga Fasa digunakan untuk menyearahkan gelombang tegangan *output* generator turbin angin yang berupa gelombang tegangan AC tiga fasa menjadi tegangan DC.

B. Kontak relay

Relay kontak berfungsi sebagai penghubung antara generator dengan system kontroler. Generator akan dihubungkan ke system jika kecepatan angin pada turbin angin lebih dari 3m/s dan jika dibawah itu maka generator tidak dihubungkan dengan sistem. Tegangan keluaran generator ketika kecepatan angin 3 m/s adalah sekitar 30V, tegangan ini disebut *cut-in voltage*.

C. Sensor tegangan tiga fasa

Subsistem ini digunakan untuk memantau tegangan keluaran generator turbin angin. Data hasil pantauan ini digunakan untuk mengatur proses penghubungan sistem melalui kontak relay.

D. Buck regulator

Buck regulator berfungsi untuk menurunkan tegangan keluaran generator berdasarkan sinyal pwm (*pulse width modulation*) sebelum disalurkan ke beban. Melalui subsistem ini sistem kontroler melakukan pengontrolan terhadap besar tegangan dan arus keluaran yang akan disalurkan ke beban. *Buck regulator* yang dirangcang pada sistem kontroler ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 2 spesifikasi buck regulator hasil perancangan.

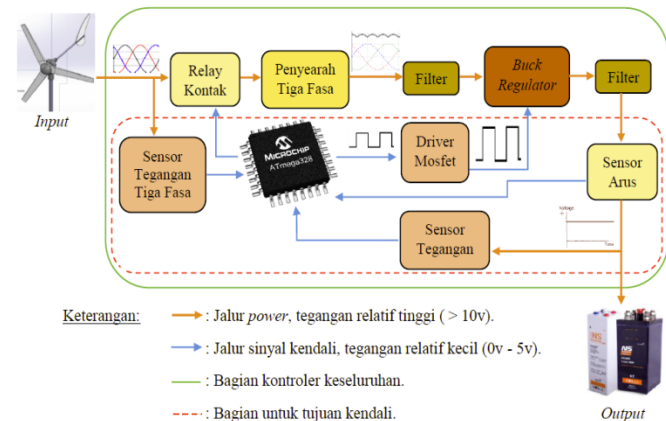
Tegangan <i>input</i> maksimum	200 V
Tegangan <i>output</i> maksimum	45 V
Arus <i>output</i> maksimum	20 A
Frekuensi <i>switching</i> maksimum	25.641 kHz

E. Driver MOSFET

Driver MOSFET digunakan untuk menyesuaikan level tegangan sinyal control dari mikrokontroler dengan level tegangan yang dibutuhkan untuk *switching* (pensaklaran) *power* MOSFET pada *buck regulator*.

F. MCU (Micro Controller Unit)

Mikrokontroler pada sistem kontroler ini berperan sebagai pusat pemrosesan. Proses-proses seperti



Gambar 8 Diagram blok sistem kontroler turbin angin.

konversi sinyal analog hasil pembacaan sensor menjadi sinyal digital, *switching* (pensaklaran) pada buck regulator, pemrosesan sinyal-sinyal kontrol pada kontroler, serta pengamanan sistem dilakukan pada subsistem ini. Karakter dari kontroler juga tergantung pada algoritma program yang ditanamkan pada mikrokontroler. Karena mikrokontroler memiliki peran yang sangat penting dan juga bisa disebut sebagai pusat koordinasi dari perangkat sistem kontroler.

G. Sensor tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk memantau tegangan keluaran kontroler. Sinyal tegangan listrik dari sensor tegangan ini akan diubah menjadi sinyal digital pada mikrokontroler.

H. Sensor arus

Sensor arus digunakan untuk memantau arus keluaran kontroler yang disalurkan ke beban. Melalui subsistem ini, besar arus keluaran kontroler diubah menjadi besar sinyal tegangan listrik yang akan diubah menjadi sinyal digital oleh mikrokontroler.

I. Filter

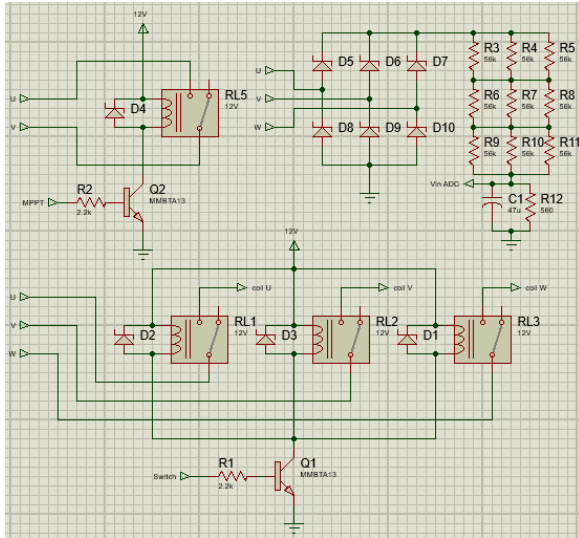
Filter berfungsi untuk mengurangi tingkat ripple tegangan. Filter yang berfungsi untuk mengurangi *ripple* tegangan adalah berupa rangkaian kapasitor dan resistor. Dalam sistem kontroler ini terdapat dua filter yang terpasang pada masukan dan keluaran *buck regulator*. Filter yang terpasang pada masukan *buck regulator* berfungsi untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran generator yang sudah disearahkan menjadi tegangan DC sebelum masuk ke *buck regulator*. Filter yang terpasang pada keluaran *buck regulator* berfungsi untuk mengurangi *ripple* tegangan keluaran sistem kontroler yang akan disalurkan ke beban.

3.2. Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan ini, sistem perangkat kontroler dibagi menjadi beberapa subsistem, hal ini dimaksudkan agar mempermudah *tracing* dan perbaikan jika terjadi *malfunction*

atau kerusakan. Adapun sub-sub sistem tersebut adalah sebagai berikut:

A. Kontak relay dan pendeteksi tegangan generator

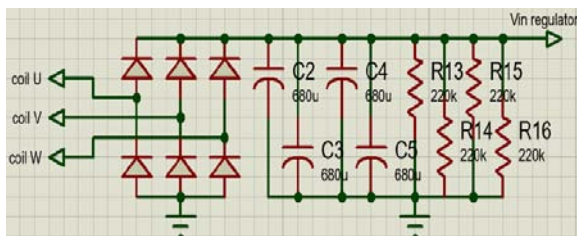


Gambar 9 skematik subsistem kontak relay dan pendeteksi tegangan keluaran generator.

Subsistem ini digunakan sebagai saklar penghubung antara perangkat kontroler dengan generator turbin angin melalui tiga buah relay kontak yang terpasang. Pensaklaran diatur berdasarkan hasil *monitoring* tegangan keluaran generator. Proses *monitoring* dilakukan dengan cara mengkonversi data analog keluaran dari *rectifier* tiga fasa dan *voltage divider* melalui mikrokontroler. Jika tegangan keluaran generator telah melewati batas *cut-in* (30V) maka sistem akan terhubung dengan generator, tetapi jika tegangan keluaran generator terlalu besar dan melewati batas *cut-off* (180V) maka kontak relay akan dibuka sehingga sistem tidak terhubung dengan generator.

B. Rectifier tiga fasa dan RC input filter

Subsistem ini digunakan untuk menyearahkan tagangan listrik tiga fasa keluaran generator menjadi tegangan DC. Tegangan DC hasil penyearahan memiliki ripple yang relatif tinggi sehingga diaplikasikan rangkaian filter RC guna mengurangi tingkat ripple-nya.



Gambar 10 skematik subsistem rectifier tiga fasa dan RC input filter.

C. Buck regulator

Buck regulator digunakan untuk mengatur besar tegangan dan arus keluaran kontroler. Efisiensi *buck regulator* (dari segi rugi daya dan penggunaan ukuran komponen penyusun) dipengaruhi oleh besar frekuensi *switching* yang digunakan. Tingginya frekuensi yang digunakan berbanding lurus dengan efisiensi sistem. Namun besar kecepatan *switching* yang akan digunakan dibatasi oleh kemampuan *respon time* dari tiap komponen penyusunnya. Besar frekuensi *switching* (pensaklaran) yang digunakan pada *buck regulator* didapat dari perhitungan *switching time* MOSFET dan MOSFET *driver*, lalu diambil komponen dengan *switching time* paling lama. *Switching time* merupakan waktu yang dibutuhkan perangkat untuk transisi dari keadaan OFF ke ON atau sebaliknya. Besar *switching time* didapat dari penjumlahan durasi *time delay* (waktu tunda) dan *rise time/fall time*.

Tabel 3 perbandingan switching time.

Komponen	Maximum swtiching time
IRFP250 (power mosfet)	220 nS
IR2101 (mosfet driver)	390 nS

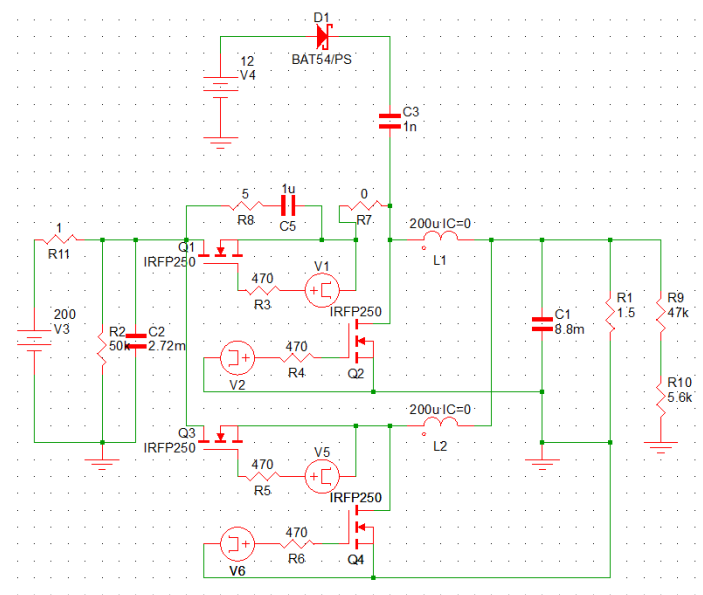
Dari perhitungan *switching time* diatas, dilakukan pengujian melalui simulator untuk melihat kinerja dari sistem yang telah dirancang. Simulasi dilakukan dengan spesifikasi sebagai berikut:

$$V_{in} = 200V$$

$$Hi - side MOSFET Duty Cycle = 22,5 \%$$

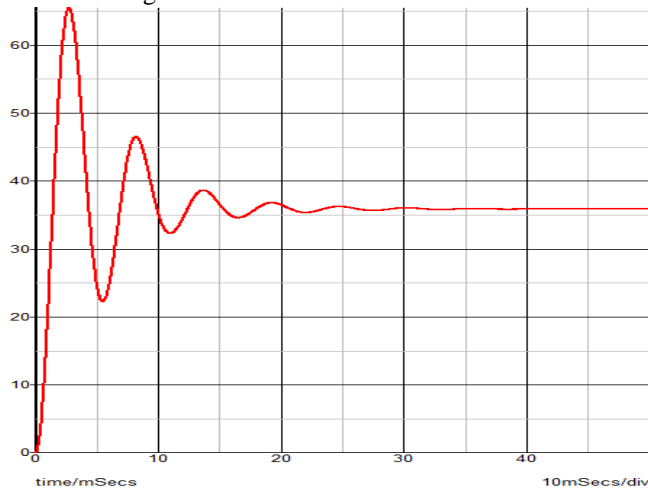
$$Lo - side MOSFET Duty Cycle = 75 \%$$

$$Switching period = 4 \times 10 - 5s$$



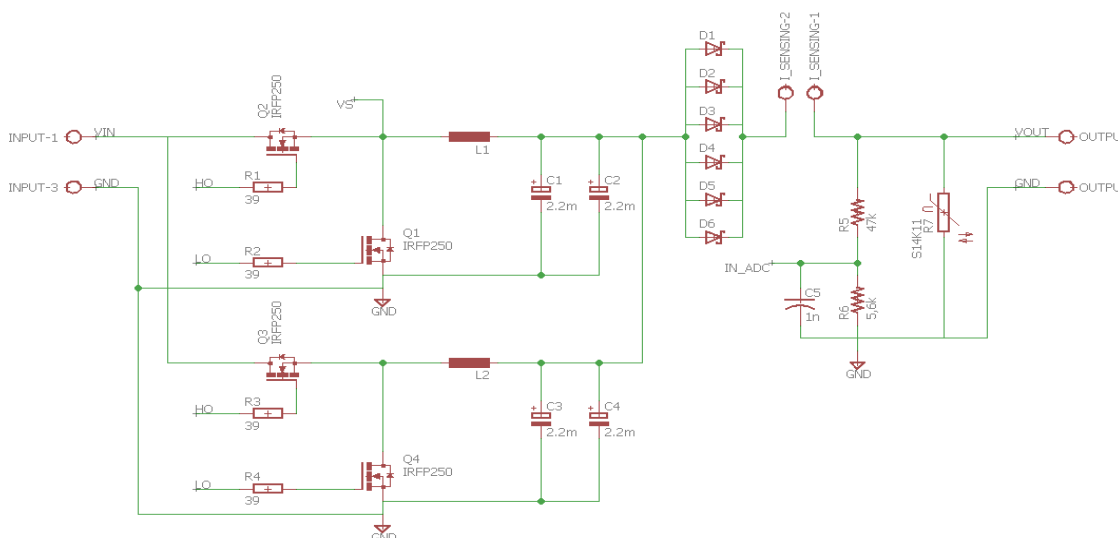
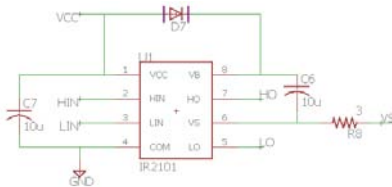
Gambar 11 skematik perancangan buck regulator pada software SIMETRIX.

Pada simulasi ini, digunakan sebuah resistor dengan nilai resistansi 1.5 ohm sebagai beban sistem, dan didapat tegangan keluaran sebagai berikut:



Gambar 12 respon tegangan buck regulator

Pada gambar respon tegangan diatas, terlihat bahwa rancangan skematik sistem telah bekerja dengan baik pada simulasi nilai.



Gambar 13 Skematik hasil perancangan buck regulator.

Nilai *duty cycle* (D), *inductor continuous current mode* (L) dan *output capacitor* (C_{out}) yang digunakan pada *synchronous buck converter* didapat melalui perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Duty cycle } (D) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{24}{180} = 0.1333 \quad (8)$$

$$L = \frac{V_{out} (V_{in} - V_{out})}{f \times \Delta I \times V_{in}} \quad (9)$$

Dengan nilai $V_{out} = 24V$, $V_{in} = 180V$, $f = 25,8 \text{ kHz}$ = 4,031 A, maka didapat nilai induktansi sebesar 200uH.

$$C_{out} = \frac{1 - D}{16 \times L \times f^2} \quad (10)$$

Dari persamaan (10) didapat nilai kapasitansi dari kapasitor *output* adalah sebesar 1,302 mF, tetapi pada perancangan ini digunakan kapasitor dengan kapasitansi sebesar 8,8 mF.

Dari perhitungan di atas didapat nilai perancangan awal untuk nilai komponen *synchronous buck converter* pada perangkat kontroler. Nilai induktor sebesar 200 uH/ 20A dan kapasitor output sebesar 8800 uF/50 Volt.

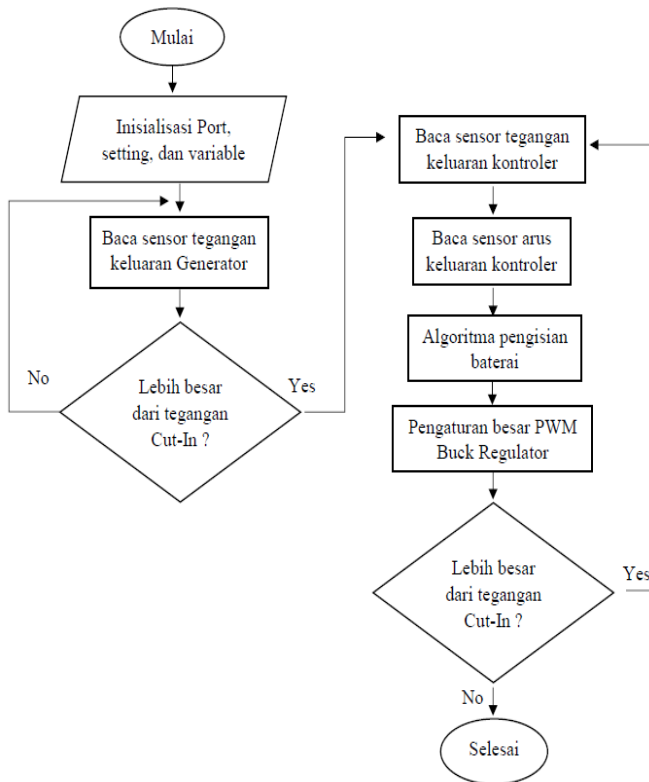
D. Power supply

Subsistem ini berperan sebagai penyedia daya untuk beberapa komponen seperti: relay kontak, sensor arus, *MCU (Micro Controller Unit)*, dan driver MOSFET. *Power supply* yang telah dirancang mempunyai dua level tegangan teregulasi yaitu 12V dan 5V. tegangan tersebut dihasilkan melalui penggunaan dua buah regulator, untuk menghasilkan tegangan 12v teregulasi digunakan regulator tegangan tipe *switching* dengan kode LM2576 fix 12v, sedangkan untuk menghasilkan tegangan 5V teregulasi digunakan regulator tegangan tipe *linear* dengan kode LM7805.

E. Mikrokontroler

Pada sistem kontroler yang telah dirancang, digunakan mikrokontroler Atmel® picoPower® ATmega328/P dengan Frekuensi *clock* mikrokontroler sebesar 16MHz.

3.3. Diagram Alir



Gambar 12. Desain diagram alir program.

4 Implementasi dan Pengujian

Implementasi dan pengujian dari sistem kontroler yang sudah dibuat, dilakukan melalui tahap-tahap sebagai berikut:

4.1. Pengujian terhadap kinerja dari subsistem relay kontak dan pendeteksi tegangan generator

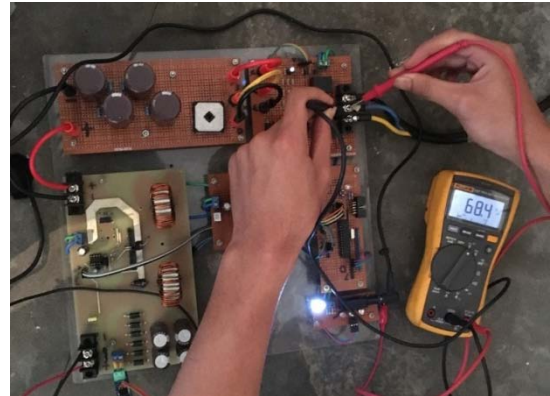
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah proses pembacaan tegangan keluaran generator dan switching pada relay kontak dapat berjalan sesuai dengan yang dirancang.

Alat-alat Pengujian:

- Subsistem relay kontak dan pendeteksi tegangan generator.
- System minimum mikrokontroler Atmega 328
- Subsistem *power supply*
- Multimeter dan adaptor 19,3V
- Generator TSD-500 dan kincinr angin.

Hasil dan analisis:

Pengujian subsistem relay kontak dan pendeteksi tegangan generator dilakukan dengan memasang kabel keluaran generator pada terminal input subsistem dan dilakukan pengukuran besar tegangan keluaran generator secara *line to line*. Dari hasil pengukuran tersebut, didapat tegangan sebesar 68,4V AC.



Gambar 13 Pengukuran tegangan line-to-line keluaran generator.

Berikutnya dilakukan percobaan pada rangkaian pendeteksi tegangan (*voltage detector*). Percobaan dilakukan dengan mengukur besar tegangan titik positif rangkaian *rectifier* tiga fasa pada rangkaian pendeteksi tegangan dan diukur terhadap ground.

Tabel 4. Hasil pengukuran tegangan keluaran *rectifier* tiga fasa pada pendeteksi tegangan.

Pengukuran ke	Tegangan keluaran pendeteksi tegangan (V)
1	75,6
2	85,5
3	79,2
4	80,8

Dari hasil pengujian terlihat bahwa subsistem subsistem relay kontak dan pendeteksi tegangan generator mampu bekerja sesuai rancangan. Rangkaian pedeteksi tegangan mampu mengkonversi tegangan AC tiga fasa keluaran generator menjadi tegangan DC dan membagi teganganya melalui *voltage divider* untuk dikonversi menjadi data digital pada mikrokontroler.

4.2. Pengujian terhadap kinerja dari subsistem *rectifier* tiga fasa dan RC input filter.

Pengujian subsistem ini dilakukan untuk melihat bagaimana performa subsistem *rectifier* tiga fasa dan *RC input filter*,

apakah tegangan keluaran generator mampu dikonversi menjadi tegangan DC.

Alat-alat Pengujian:

- Subsistem relay kontak dan pendeteksi tegangan generator.
- Subsistem *rectifier* tiga fasa dan *input RC filter*
- Subsistem *power supply*
- Sistem minimum mikrokontroler Atmega328
- Multimeter digital dan adaptor 19,3V
- Generator TSD-500 dan kincir angin.

Hasil dan analisis:

Percobaan dilakukan dengan mengukur besar tegangan keluaran subsistem *three phase rectifier and input RC filter* dengan menggunakan multimeter pada mode DC.

Tabel 5. Hasil pengukuran tegangan keluaran Subsistem *rectifier* tiga fasa dan *input RC filter*.

Pengukuran ke	Tegangan keluaran (V)
1	82,1
2	85,1
3	87
4	88,7
5	88,1
6	90,4

Dari data diatas, dapat dilihat bahwa tegangan keluaran subsistem merupakan tegangan DC yang merupakan hasil penyearahan gelombang AC tiga fasa yang sudah dikurangi ripple nya melalui rangkaian filter RC. Besar tegangan yang dihasilkan cenderung berubah-ubah mengikuti besar tegangan keluaran generator.

4.3. Pengujian sistem kontroler secara keseluruhan melalui proses pengisian baterai.



Gambar 14 Perangkat baterai 12V 100Ah yang digunakan dalam pengujian.

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bagaimana kinerja dari perangkat kontroler secara keseluruhan yang disusun dari beberapa subsistem.

Alat-alat Pengujian:

- Perangkat kontroler turbin angin
- Multimeter digital
- Generator TSD-500 dan kincir angin.
- NS accelerate, Baterai 12V 100Ah.

Hasil dan analisis:

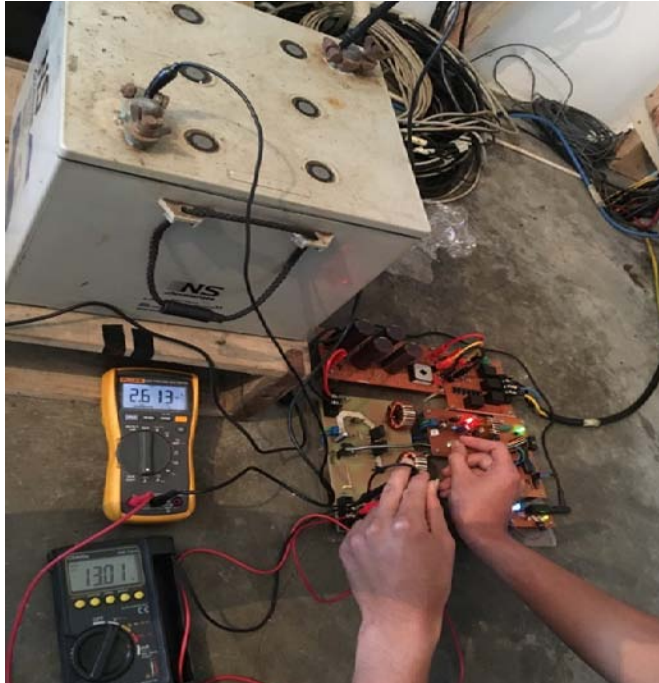
Percobaan dilakukan dengan melakukan proses penyimpanan energi listrik keluaran generator kedalam baterai. Karena menggunakan baterai dengan kapasitas 12V 100Ah, maka secara program besar arus dan besar tegangan keluaran dibatasi masing-masing sebesar 13,5V dan 3A. Pembatasan arus dan tegangan ini dilakukan dengan pengaturan besar *duty cycle* gelombang PWM pada *buck regulator*.

Pada percobaan pertama dilakukan tanpa pemasangan beban baterai, hal ini bertujuan untuk memastikan bahwa tegangan keluaran kontroler sudah sesuai dengan perancangan dan keseluruhan sistem dalam kondisi aman. Pada percobaan ini didapat tegangan yang sesuai yaitu sebesar 12.90V, tetapi pada Hi-side mosfet timbul panas mosfet. Mosfet yang timbul panas ini adalah mosfet yang terpasang dengan kondisi terminal source-nya tidak tersambung dengan *High side floating supply offset voltage* pada driver mosfet sehingga kemungkinan tegangan Vgs pada mosfet tersebut melebihi batas maksimumnya. Setelah dibiarkan beberapa saat, Hi-side mosfet tersebut terbakar, sehingga pengujian selanjutnya hanya dilakukan dengan hanya terdapat satu mosfet pada bagian Hi-side. Dari pengujian tersebut didapat tegangan keluaran kontroler sekitar 13V, dan tidak timbul panas pada hi-side mosfet seperti pengujian pertama.

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan memasang beban baterai pada perangkat kontroler dan dilakukan pengukuran terhadap keluaran kontroler. Data percobaan didapat melalui pengukuran besar tegangan dan arus pada proses penyimpanan yang diukur melalui multimeter, dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 6 Tegangan keluaran perangkat kontroler dengan kondisi tanpa beban.

Pengukuran ke	Tegangan keluaran (V)
1	13,50
2	13,51
3	13,51
4	13,49



Gambar 15 pengujian perangkat kontroler dalam proses penyimpanan energi hasil konversi kedalam baterai.

Tabel 7 besar tegangan dan arus pengisian baterai oleh perangkat kontroler.

Pengukuran ke	Tegangan keluaran (V)	Arus keluaran (A)
1	13,54	0
2	13,53	0
3	13,53	0
4	13,11	2,395
5	13,03	2,404
6	13,01	2,613
7	13,01	2,597
8	13,02	2,601
9	13,01	2,620
10	12,98	2,365
11	12,91	2,199
12	12,85	2,152
13	12,85	2,209

Pada percobaan yang sudah dilakukan, pada pengisian baterai melalui perangkat kontroler memerlukan beberapa saat setelah tegangan keluaran kontroler melebihi tegangan baterai ($\pm 13V$) sehingga terdapat arus yang masuk kedalam baterai. Besar arus yang mengalir tergantung pada besar tegangan

keluaran kontroler dan sesuai batas yang terpasang di program yaitu 3A dengan tegangan maksimal 13,5V.

5 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan Analisa yang sudah dilakukan pada perancangan kontroler untuk turbin angin skala kecil didapat beberapa kesimpulan, antara lain; masing-masing subsistem mampu bekerja sesuai dengan perancangan. Besar arus keluaran kontroler sangat tergantung pada besar tegangan keluaran kontroler, seperti ditunjukkan pada table IV – 4.

Pada penggunaan driver mosfet tipe *bootstrap operation*, setiap terminal *source* dari komponen *hi-side* mosfet harus terhubung dengan terminal *High side floating supply offset voltage* pada driver mosfet, hal ini untuk mencegah kerusakan pada mosfet akibat tegangan *gating* yang terlalu besar. Besar arus keluaran kontroler dapat diatur dengan pengaturan besar tegangan keluaran kontroler melalui pengaturan besar *duty cycle*. Besar tegangan keluaran berbanding lurus dengan besar *duty cycle* yang diaplikasikan. Kontroler hasil perancangan telah teruji mampu beroperasi hingga tegangan masukan 100V AC tiga fasa.

6 Kepustakaan

- [1] Rashid, M.H., “ Power Electronics : Circuits, Devices, and Applications, Fourth Edition”, Pearson, 2014. Edinburgh Gate, Harlow.
- [2] Rashid, M.H., “ Alternative Energy in Power Electronics”, Elsevier, 2015. Waltham, MA.
- [3] Robert L. Boylestad., dan Louis Nashelsky, “Electronic Devices and Circuit Theory, Eleventh edition”, Pearson, 2013. New Jersey.
- [4] John J. Grainger, William D. Stevenson dan Gary W. Chang, “Power System Analysis”, McGraw-Hill, 2016. New York.

Desain Dan Implementasi Lengan Robot Berbasis Electromyogram Untuk Orang Berkebutuhan Khusus

Ardhan Dwi Meirika Surachman^{1*}, Mohammad Ramdhani², Ramdhan Nugraha³

Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung
E-mail: meitrika.ardhan@gmail.com; mohamadramdhani@telkomuniversity.ac.id
ramdhan@telkomuniversity.ac.id

Abstrak – *Electromyography* merupakan teknik untuk merekam aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot rangka. *EMG* dilakukan dengan menggunakan instrumen yang disebut *electromyograph* untuk menghasilkan rekaman sinyal yang disebut *electromyogram (EMG)*. Teknik ini, dapat dimanfaatkan untuk membantu orang yang berkebutuhan khusus. Sehingga kualitas hidupnya dapat lebih baik. Pada tugas akhir ini, dirancang alat bantu pergerakan tangan untuk membantu orang yang berkebutuhan khusus pada bagian tangan khususnya, dengan memanfaatkan *EMG*. Sinyal otot tangan (*biceps*) direkam oleh elektroda kemudian diamplifikasi dan difilter pada modul *EMG*. Hasil sinyal tersebut menjadi masukan untuk mikrokontroler. Kemudian mikrokontroler menggerakkan motor servo sesuai kondisi input yang diberikan. Ketika kondisi tangan fleksor (membengkok) dan berkontraksi, maka lengan robot mengikuti gerakan mengangkat. Sedangkan ketika kondisi tangan ekstensor (meluruskan), maka lengan robot juga bergerak lurus sesuai keadaan tangan. Dengan sistem yang telah dijelaskan diatas, alat ini dapat bekerja sesuai masukan yang diberikan dan dapat memberikan keluaran berupa gerakan lengan robot yang sesuai dengan tangan pengguna. Ditunjukkan dengan nilai penguatan rata-rata yang dihasilkan oleh modul *EMG* sebesar 825 kali dan nilai keberhasilan alat ini sebesar 83,33 % (ketika kondisi tangan fleksor) dan 76,67 % (ketika kondisi tangan ekstensor).

Kata kunci: *Lengan Robot, Electromyogram, Amplifikasi, Filter, Mikrokontroler.*

1 Pendahuluan

Robot adalah sistem atau alat yang dapat berperilaku atau meniru perilaku manusia dengan tujuan untuk menggantikan dan mempermudah kerja atau aktifitas manusia [1]. Robot dibuat untuk membantu meringankan pekerjaan atau aktivitas manusia. Sebagai contoh robot yang digunakan dalam bidang kedokteran, robot tersebut dapat membantu dokter melakukan proses pembedahan pasien dan membantu orang penyandang cacat kaki atau tangan.

Jumlah penderita kelumpuhan berdasarkan hasil pendataan jumlah penyandang cacat pada 9 provinsi sebanyak 299.203 jiwa dan 10,5% (31.327 jiwa) merupakan penyandang cacat berat yang mengalami hambatan dalam kegiatan sehari-hari. Jumlah penyandang cacat laki-laki lebih banyak dari perempuan sebesar 57,96% [2].

Electromyography merupakan teknik untuk merekam aktivitas listrik yang dihasilkan oleh otot rangka. Perekaman aktivitas listrik tersebut dilakukan dengan menggunakan instrumen yang disebut *electromyograph* untuk menghasilkan

rekaman sinyal yang disebut *electromyogram (EMG)*. *EMG* terjadi pada saat kontraksi otot. Dengan mengukur *EMG* dapat diukur aktivitas otot. *EMG* dapat direkam secara *intramuscular* (di dalam otot) menggunakan elektroda jarum. *EMG* juga dapat direkam di permukaan kulit (*non-invasive*) menggunakan elektroda permukaan [3]. Dengan berkembangnya dunia biomedis, *EMG* dapat dimanfaatkan untuk membantu orang berkebutuhan khusus pada bagian tangan dalam melakukan kegiatan sehari-hari.

Dari data di atas, dibuat sebuah lengan robot (*robotic arm*) untuk membantu pergerakan tangan orang berkebutuhan khusus dengan memanfaatkan *EMG* yang diintegrasikan dengan mikrokontroler sebagai pemroses dan motor servo sebagai actuator.

2 Dasar Teori

2. 1. Electromyogram (EMG)

Electromyogram adalah sinyal yang dihasilkan dari pengukuran potensial dari kontraksi otot rangka yang pada umumnya digunakan sebagai input kontroler. *Electromyograph* merupakan metode yang digunakan untuk merekam dan menganalisis sinyal *myoelectric*. Selain untuk input kontroler, EMG juga dapat digunakan untuk mengetahui kelainan otot, misalnya lengan buatan dan kaki buatan [3].

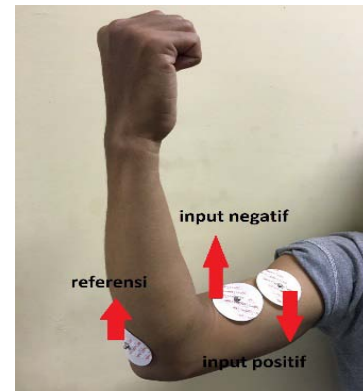
Sinyal EMG yang dihasilkan oleh tubuh kita memiliki *amplitude* yang sangat rendah dan muncul dengan durasi yang singkat. Sinyal ini juga mengandung *noise* yang disebabkan oleh elektroda *surface*, komponen elektronik, dan radiasi elektromagnetik yang ditimbulkan oleh jala-jala listrik. Karena itu, sinyal EMG harus masuk ke proses penguatan dan filter sebelum digunakan untuk input kontroler [4].

2. 2. Karakteristik EMG

Sinyal EMG didapat dari sinyal listrik hasil kontraksi otot yang dikendalikan oleh sistem otot saraf. Kontraksi otot tersebut dilakukan secara sadar maupun tidak sadar. Sinyal EMG pada umumnya memiliki jangkauan frekuensi dari 0 – 500 Hz dan memiliki rentang *amplitude* dari 0.1 – 5 mV [3].

2. 3. Perekam Sinyal EMG

Proses perekaman sinyal EMG umumnya dilakukan menggunakan bantuan elektroda. Ada dua tipe utama elektroda yang ada dipasaran, yaitu *non-invasive* elektroda *surface* dan *invasive* elektroda jarum yang dimasukkan ke bawah kulit tubuh[5]. Elektroda yang sering digunakan adalah elektroda jarum dan elektroda *surface*. Elektroda jarum merupakan elektroda yang dimasukkan langsung ke bawah kulit dengan menusuk kulit dengan sudut tertentu. Masalah yang sering timbul adalah infeksi. Maka dari itu, penggunaan elektroda jenis ini jarang sekali ditemui[3]. Sedangkan elektroda *surface* adalah elektroda yang ditempelkan di atas permukaan kulit dan terbuat dari material yang memiliki konduktifitas tinggi sehingga dapat merekam sinyal EMG yang memiliki *amplitude* yang kecil. Ada dua kategori utama elektroda ini, yaitu elektroda *active* dan *passive*. Elektroda *active* adalah elektroda yang sudah memiliki *pre-amplifier*. *Pre-amplifier* ini berfungsi untuk menguatkan sinyal EMG yang terekam sebelum masuk ke proses selanjutnya. Sedangkan elektroda *passive* adalah elektroda yang tidak memiliki *pre-amplifier* dan elektroda ini *reusable* dan *disposable*. Material dasar pembentuk elektroda *surface* ini terbuat dari *silver-silver chloride* (Ag-AgCl) [4]. Elektroda *surface* juga memiliki harga yang lebih terjangkau dibandingkan dengan elektroda yang lain. Perekaman sinyal EMG pada tangan ditunjukkan oleh gambar 1 di bawah ini.

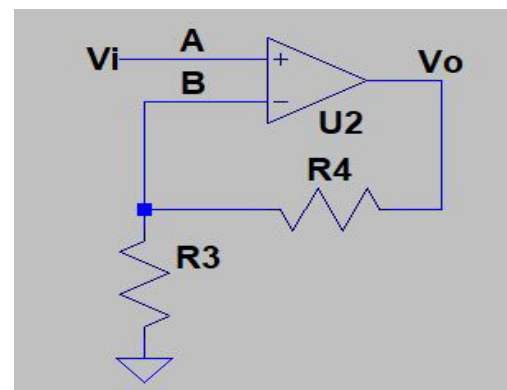


Gambar 1 Pemasangan Elektroda

2. 4. Non-Inverting Amplifier

Penguat Tak-Membalik (*Non-Inverting Amplifier*) merupakan penguat sinyal dengan karakteristik dasar sinyal output yang dikuatkan memiliki fasa yang sama dengan sinyal input. Penguat tak-membalik (*non-inverting amplifier*) dapat dibangun menggunakan penguat operasional, karena penguat operasional memang didesain untuk penguat sinyal baik membalik ataupun tak membalik. Rangkaian penguat tak-membalik ini dapat digunakan untuk memperkuat isyarat AC maupun DC dengan keluaran yang tetap sefase dengan sinyal masukannya. Impedansi masukan dari rangkaian penguat tak-membalik (*non-inverting amplifier*) berharga sangat tinggi dengan nilai impedansi sekitar 100 MOhm. Di bawah ini merupakan rumus dan gambar rangkaian penguat *non-inverting*:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_4 + R_3}{R_3} = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (1)$$



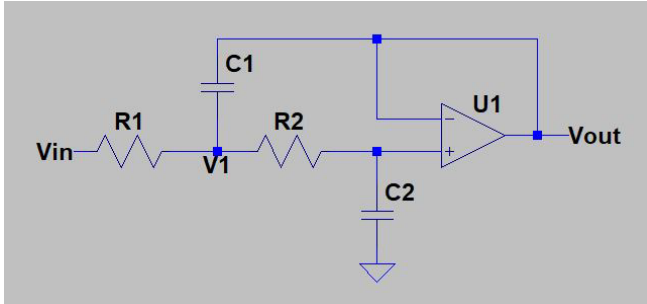
Gambar 2. Rangkaian Non-Inverting Amplifier

2. 5. Sallen Key Low Pass Filter

Rangkaian Sallen-Key merupakan rangkaian yang dirancang untuk menyatakan bahwa sebuah rangkaian filter merupakan rangkaian orde ke-2. Pada rangkaian Sallen-Key untuk *low pass filter* hanya menggunakan 1 *operational amplifier*, 2 resistor dan 2 kapasitor. Di bawah ini merupakan rumus

frekuensi *cut off* orde dua dan rangkaian *Sallen-Key Low Pass Filter*:

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2)$$

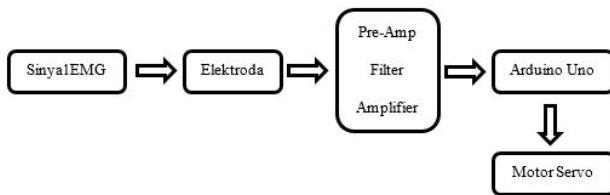


Gambar 3. Rangkaian *Sallen Key Low Pass Filter*

3 Perancangan Sistem

3. 1. Diagram Blok Sistem

Diagram blok dibawah ini menjelaskan keseluruhan sistem yang telah dibuat. Berikut ini adalah fungsi dan fitur pada setiap blok.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem

Gambar 4 merupakan diagram blok sistem keseluruhan alat yang telah dirancang. Sinyal EMG yang dihasilkan oleh kontraksi otot bicep direkam oleh elektroda. Sinyal EMG tersebut dikuatkan pada rangkaian *pre-amplifier* untuk memperoleh beda tegangan pada setiap kontraksi. Kemudian sinyal EMG diproses pada rangkaian filter untuk diperoleh data yang diinginkan dan menghilangkan artefak pada sinyal. Rangkaian filter ini terdiri dari filter HPF dengan frekuensi *cut off* 0,5 Hz, filter aktif LPF dengan frekuensi *cut off* 40 Hz, dan *Sallen-Key Low Pass Filter* dengan frekuensi *cut off* 40 Hz. Setelah itu, hasil sinyal EMG tersebut dikuatkan kembali pada rangkaian *amplifier* agar dapat terbaca oleh ADC mikrokontroler. *Input* sinyal tersebut diproses pada mikrokontroler sehingga dapat menggerakkan motor servo sesuai yang diinginkan.

3. 2. Simulasi Rangkaian Menggunakan LTspice

Sebelum merancang perangkat keras yang digunakan untuk pembuatan modul EMG, dilakukan simulasi rangkaian menggunakan LTspice. Simulasi dilakukan pada frekuensi *cut off* 0,5 Hz untuk HPF dan pada

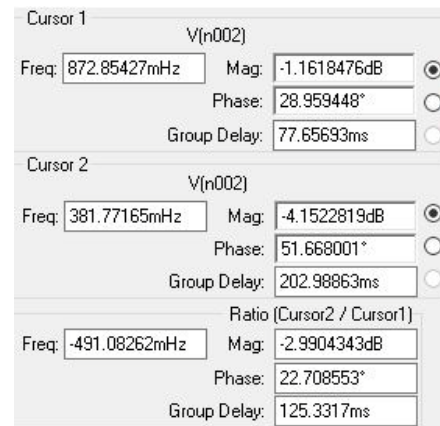
frekuensi *cut off* 40 Hz untuk LPF. Di bawah ini merupakan hasil simulasi rangkaian:

3. 2. 1. Simulasi Rangkaian High Pass Filter (HPF)

Simulasi rangkaian HPF menggunakan LTspice dilakukan untuk mengetahui respon frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian yang sudah dirancang. Di bawah ini adalah hasil dari simulasi:



Gambar 5. Sinyal HPF Pada Simulasi

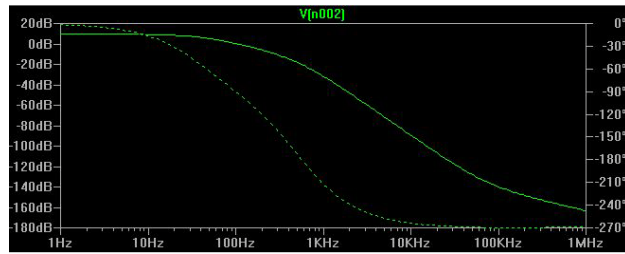


Gambar 6. Hasil Nilai Frekuensi *Cut Off* Pada Simulasi

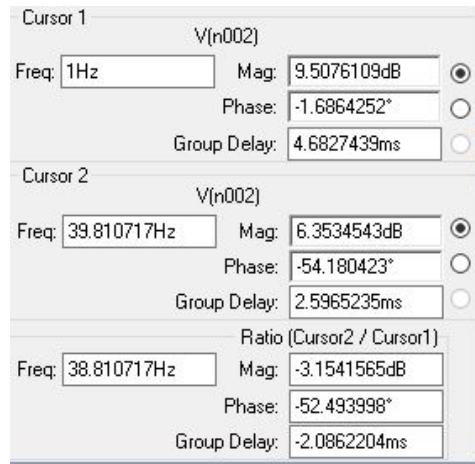
Pada gambar 5 dan 6 menunjukkan kondisi sinyal dan nilai yang dihasilkan oleh rangkaian HPF saat simulasi. Frekuensi *cut off* yang dihasilkan pada simulasi adalah sebesar 491,08262 mHz. Nilai tersebut sudah bagus Karena sudah mendekati frekuensi *cut off* yang diharapkan. Dengan hasil frekuensi *cut off* simulasi tersebut, HPF sudah dapat meredam sinyal yang berada di bawah frekuensi *cut off* dan meloloskan sinyal yang berada di atas frekuensi *cut off*. Ini berarti menurut hasil simulasi dengan nilai komponen yang telah ditentukan, HPF sudah dapat bekerja dengan baik.

3. 2. 2. Simulasi Rangkaian Gabungan Low Pass Filter Aktif dan Sallen Key Low Pass Filter

Simulasi rangkaian LPF menggunakan LTspice dilakukan untuk mengetahui respon frekuensi yang dihasilkan oleh rangkaian yang sudah dirancang. Di bawah ini adalah hasil dari simulasi:



Gambar 7. Sinyal LPF Pada Simulasi

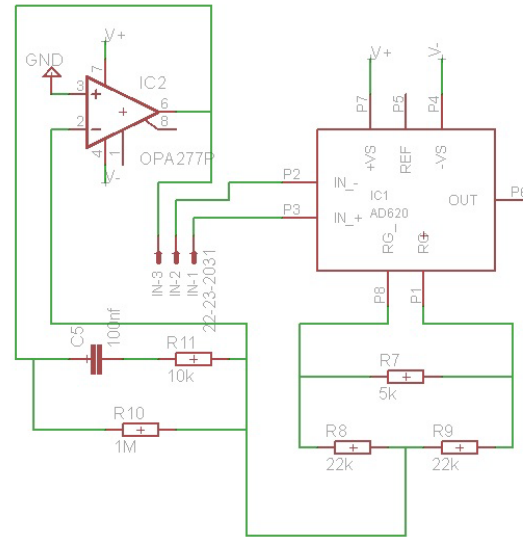


Gambar 8. Hasil Nilai Frekuensi Cut Off Pada Simulasi

Pada gambar 7 dan 8 menunjukkan kondisi sinyal dan nilai yang dihasilkan oleh rangkaian LPF saat simulasi. Frekuensi *cut off* yang dihasilkan pada simulasi adalah sebesar 38,810717 Hz. Nilai tersebut sudah bagus karena sudah mendekati frekuensi *cut off* yang diharapkan. Dengan besar frekuensi *cut off* tersebut, LPF sudah dapat meredam sinyal yang berada di atas frekuensi *cut off* dan meloloskan sinyal yang berada di bawah frekuensi *cut off*. Ini berarti menurut hasil simulasi dengan nilai komponen yang telah ditentukan, LPF sudah dapat bekerja dengan baik.

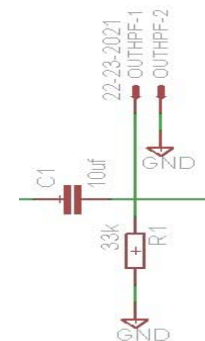
3. 3. Perancangan Sistem

Kondisi sinyal EMG yang dihasilkan oleh otot tangan memiliki *amplitude* berkisar 0.1 - 5 mV dan memiliki frekuensi 0 – 500 Hz. Oleh Karena itu, dibutuhkan perancangan rangkaian elektronika agar sinyal tersebut dapat diproses oleh mikrokontroler. Perancangan rangkaian elektronika meliputi rangkaian *pre-amplifier*, rangkaian filter HPF, rangkaian filter LPF, dan rangkaian *amplifier*. Di bawah ini merupakan hasil perancangannya:



Gambar 9. Rangkaian Pre-Amplifier

Pada gambar 9 menunjukkan rangkaian *pre-amplifier* menggunakan IC AD 620 AN, memiliki harga yang terjangkau dan cocok untuk menaikkan *amplitude* yang rendah. IC AD 620 AN merupakan instrumentasi *amplifier* yang memiliki akurasi tinggi. Pada rangkaian ini, IC AD 620 AN berfungsi untuk menaikkan *amplitude* sinyal EMG yang sudah terekam oleh elektroda.

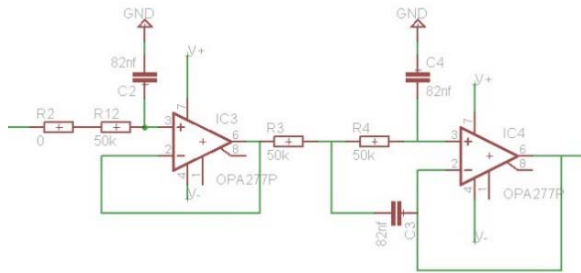


Gambar 10. Rangkaian High Pass Filter

Pada gambar 10 merupakan rangkaian filter HPF menggunakan komponen resistor dan kapasitor. Rangkaian filter HPF berfungsi untuk meredam sinyal di bawah frekuensi *cut off* dan meloloskan sinyal di atas frekuensi *cut off*. Frekuensi *cut off* yang digunakan adalah sebesar 0,5 Hz.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3)$$

Rumus 3 digunakan untuk menghitung nilai kapasitor untuk frekuensi *cut off* 0,5 Hz. Resistor yang digunakan sebesar 33KΩ. Dan nilai kapasitor yang terpasang pada rangkaian filter HPF sebesar 10μF untuk memenuhi frekuensi *cut off* 0,5 Hz.



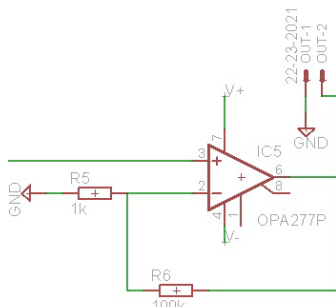
Gambar 11. Rangkaian Low Pass Filter

Pada gambar 11 merupakan rangkaian LPF terdiri dari rangkaian aktif LPF dan rangkaian LPF Sallen-Key. Rangkaian LPF berfungsi untuk meredam sinyal di atas frekuensi *cut off* dan meloloskan sinyal di bawah frekuensi *cut off*. Frekuensi *cut off* yang dipakai pada rangkaian LPF ini adalah sebesar 40 Hz. Rangkaian aktif LPF selain memiliki fungsi untuk meredam noise, rangkaian tersebut juga berfungsi sebagai gain sebesar $A_v(G) = 1$, satu kali penguatan. Sedangkan rangkaian LPF Sallen Key merupakan filter aktif orde dua yang memiliki fungsi untuk menyaring kembali dengan nilai desibel lebih tinggi dan juga menguatkan *output*. Di bawah ini merupakan rumus frekuensi *cut off* rangkaian LPF orde 1 dan rangkaian LPF orde 2 secara berurutan.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (4)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (5)$$

Dari rumus 4 dan 5 akan diperoleh nilai resistor dan kapasitor yang digunakan untuk filter LPF. Nilai resistor yang diperoleh adalah sebesar 50K Ω dan nilai kapasitor adalah sebesar 82 nF. Filter LPF ini juga menggunakan IC OP 007.



Gambar 12. Rangkaian Amplifier

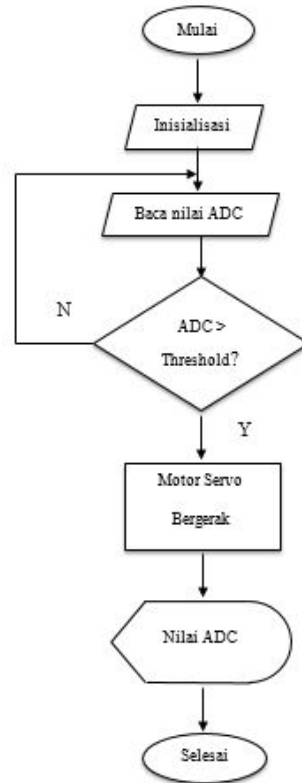
Pada gambar 12 menunjukkan rangkaian *amplifier* yang digunakan. Rangkaian tersebut terdiri dari R_{in} sebesar 1K Ω , R_f sebesar 100K Ω dan IC OP 007. Rangkaian *amplifier* ini berfungsi untuk menguatkan kembali sinyal yang sudah disaring agar dapat terbaca oleh ADC mikrokontroler.

$$Gain(A_v) = \frac{R_f}{R_{in}} + 1 \quad (6)$$

Dari rumus 6 dapat dihitung penguatan yang diinginkan. Apabila nilai $R_{in} = 1K\Omega$ dan $R_f = 100K\Omega$, maka penguatan yang terjadi sebesar 101 kali.

3. 4. Cara Kerja Sistem

Tahapan ini diperlukan untuk menentukan pergerakan *output* yang diinginkan sesuai sinyal *input* yang diterima. Mikrokontroler memproses sinyal *input* sehingga menghasilkan *output* pergerakan yang diinginkan. Di bawah ini adalah *flow chart* sistem.



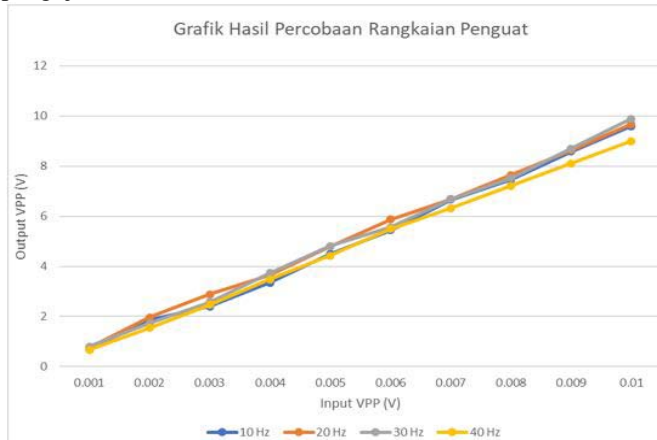
Gambar 13. Flow Chart Sistem

Ketika sistem dimulai, Pertama menginisialisasi variabel yang digunakan. Kemudian mikrokontroler mengecek ada atau tidak nilai ADC yang terbaca oleh mikrokontroler tersebut. Jika ada nilai ADC yang terbaca oleh mikrokontroler, maka dibandingkan dengan nilai *threshold*. Apabila nilai tersebut melebihi nilai *threshold* yang telah ditentukan, maka mikrokontroler menggerakkan motor servo, selanjutnya nilai ADC terbaca ditampilkan di LCD dan sistem selesai. Sedangkan untuk nilai ADC yang kurang dari *threshold*, maka sistem langsung berbalik membaca nilai ADC sampai nilai ADC tersebut melebihi nilai *threshold* yang telah ditentukan.

4 Implementasi dan Pengujian

4.1 Pengujian Rangkaian Amplifier

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai penguatan yang dapat dihasilkan oleh modul EMG. Pengujian dilakukan dengan cara menyambungkan tiga *input* modul EMG ke *function generator*. *Input V+* modul EMG disambungkan dengan *V+* *function generator*, *input V-* dan *Vreferensi* disambungkan dengan *V-* *function generator*. Sedangkan *output* dari rangkaian *amplifier* modul EMG disambungkan ke osiloskop. Berikut adalah grafik hasil pengujian:

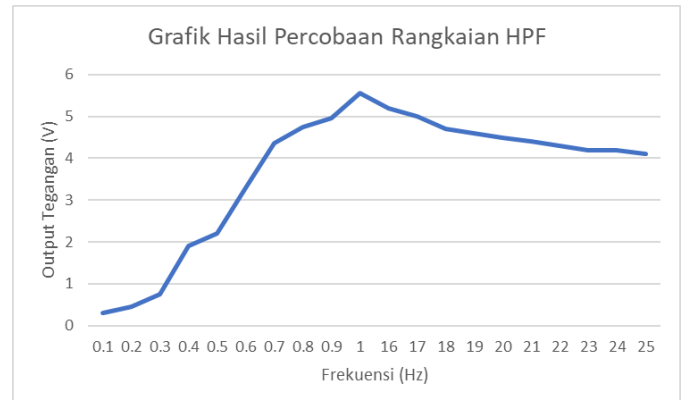


Gambar 14 Grafik Hasil Pengujian Rangkaian Penguat

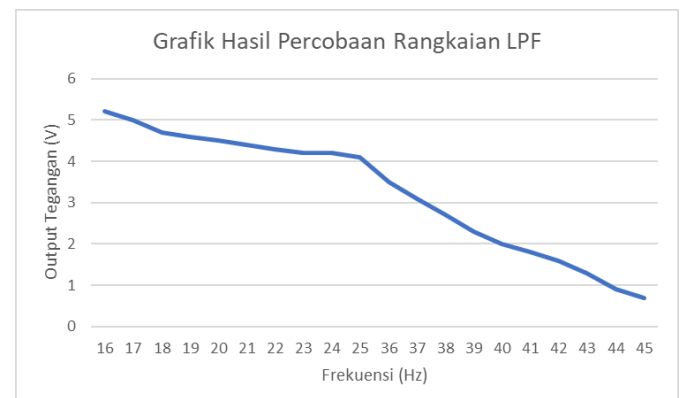
Pada gambar 14 menunjukkan grafik besar penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian *amplifier*. Percobaan ini dilakukan ketika kondisi tangan fleksor dan berkontraksi. Dari keluaran *Vpp* pada frekuensi 10 Hz diperoleh nilai penguatan rata-rata yang dihasilkan oleh rangkaian *amplifier* sebesar 887 kali, pada frekuensi 20 Hz diperoleh nilai penguatan rata-rata yang dihasilkan oleh rangkaian *amplifier* sebesar 938 kali, pada frekuensi 30 Hz diperoleh nilai penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian *amplifier* sebesar 919 kali, pada frekuensi 40 Hz diperoleh nilai penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian *amplifier* sebesar 854 kali. Rata-rata penguatan keempat pengujian tersebut adalah 900 kali. Hasil ini kurang sesuai dengan penguatan yang sudah dirancang sebesar 1000 kali. Perbedaan ini terjadi dikarenakan oleh komponen yang ada di pasaran kurang ideal.

4.2. Pengujian Rangkaian HPF dan LPF

Pengujian ini dilakukan dengan cara menyambungkan *input V+* modul EMG dengan *V+* *function generator*. Sedangkan *input V-* dan *Vreferensi* disambungkan dengan *V-* *function generator*. *Output* dari rangkaian LPF modul EMG disambungkan dengan osiloskop untuk mengetahui respon frekuensi yang dihasilkan oleh HPF dan LPF. Frekuensi *cut off* berada pada 0,5 Hz dan 40 Hz. Dibawah ini adalah grafik hasil pengujian:



Gambar 15. Grafik Hasil Pengujian Rangkaian HPF



Gambar 16. Grafik Hasil Pengujian Rangkaian LPF

Pada gambar 15 dan 16 menunjukkan hasil pengujian rangkaian HPF dan LPF. Frekuensi *cut off* yang berada pada 0,5 Hz, menyebabkan terjadi peredaman sinyal ketika *input* berada di bawah frekuensi *cut off*. Ini terbukti pada percobaan dengan frekuensi 0,1 – 1 Hz, ketika frekuensi 0,1 - 0,4 Hz nilai tegangan keluaran mendekati 0 V. Sedangkan ketika *input* berada diatas frekuensi *cut off*, sinyal input berhasil diloloskan. Pada frekuensi 0,6 – 1 Hz cenderung mengalami kenaikan nilai tegangan keluaran. Dengan nilai tegangan keluaran tertinggi berada pada frekuensi 1 Hz sebesar 5,5 V.

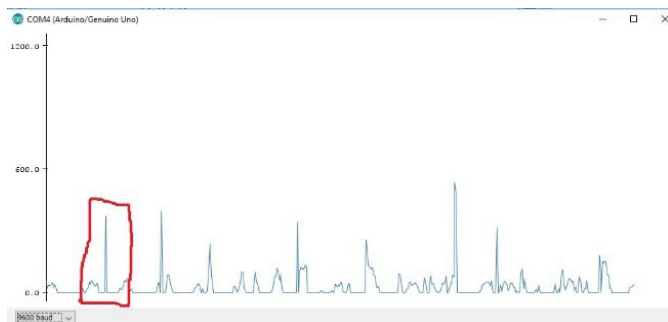
Pengujian pada frekuensi 16 – 25 Hz. Ketika *input* berada diatas frekuensi *cut off* 0,5 Hz dan dibawah frekuensi *cut off* 40 Hz, sinyal *input* berhasil diloloskan. Pada frekuensi 16 – 25 Hz, nilai tegangan keluaran cenderung semakin turun sesuai pertambahan frekuensi. Tetapi tidak mengalami penurunan yang sangat drastis atau mendekati 0 V. Dengan nilai tegangan keluaran terkecil berada pada frekuensi 25 Hz sebesar 4,41 V.

Pengujian pada frekuensi 36 – 45 Hz. Ketika *input* berada di bawah frekuensi *cut off* 40 Hz, sinyal *input* berhasil diloloskan. Sedangkan sinyal input yang berada di atas frekuensi *cut off* 40 Hz, sinyal tersebut akan diredam. Ini terbukti ketika frekuensi 41 – 45 Hz, nilai tegangan keluaran cenderung semakin turun mendekati nilai 0 V.

Pengujian ini tidak dilakukan untuk semua frekuensi yang ada pada filter. Hanya menggunakan sampel frekuensi yang ada pada tabel percobaan di atas. Ini dikarenakan kondisi modul EMG memiliki ketahanan yang kurang ketika digunakan untuk proses pengukuran yang sangat lama.

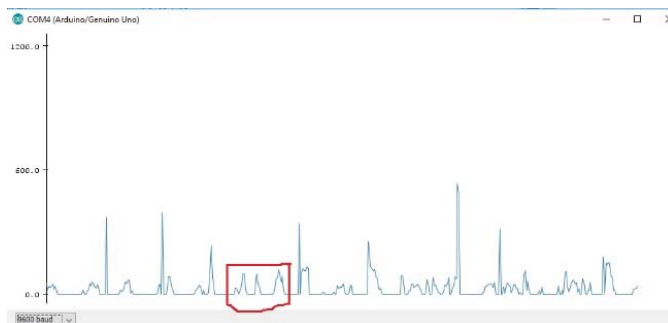
4. 3. Pengujian Modul EMG Menggunakan Serial Plotter Arduino.

Pengujian ini dilakukan dengan cara menyambungkan *output* dan *ground* dari modul EMG ke ADC dan *ground* Arduino. *Input* modul EMG diperoleh dari elektroda yang dipasang pada tangan pengguna. Kemudian hasil sinyal dilihat pada *Serial Plotter* Arduino. Dibawah ini adalah gambar hasil pengujian:



Gambar 17 Sinyal Hasil Kontraksi Otot Bisep pada Serial Plotter

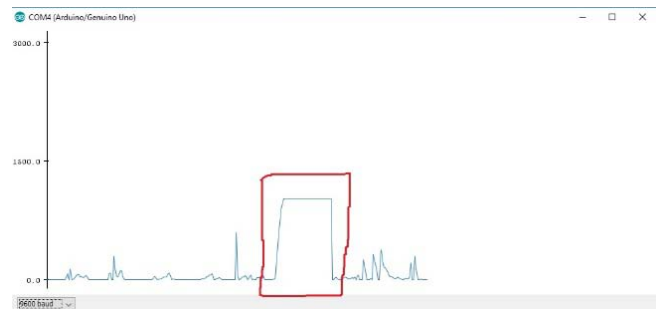
Gambar 17 merupakan gambar sinyal dari hasil kontraksi otot bisep. Sinyal tersebut berupa *impuls* dan muncul pada saat kondisi kontraksi saja. Besar nilai ADC sinyal *impuls* yang dihasilkan berkisar antara 300-600. Dan nilai tersebut akan menjadi *threshold* program pada Arduino. Sedangkan ketika otot bisep sudah tidak mengalami kontraksi atau otot bisep dalam kondisi ekstensor, maka sinyal yang terekam akan bernilai mendekati nol.



Gambar 18. Noise yang Terjadi Saat Tangan Ekstensor

Gambar 18 merupakan gambar *noise* yang terekam. Noise muncul ketika otot bisep dalam kondisi ekstensor. Penyebab munculnya *noise* tersebut karena karakteristik jaringan, *muscle crosstalk*, *noise* eksternal, elektroda, *amplifier* dan EKG artifak sesuai yang sudah dijelaskan dalam tinjauan pustaka. *Noise* yang terekam bernilai lebih kecil dari

nilai sinyal kontraksi otot bisep. Jadi *noise* tersebut tidak akan mengganggu proses pengambilan nilai ADC yang digunakan sebagai input pada program Arduino.



Gambar 19. Noise akibat Saluran Listrik

Gambar 19 merupakan *noise* yang disebabkan oleh saluran listrik. *Noise* ini muncul ketika merekam sinyal kontraksi otot bisep menggunakan laptop yang sedang disambungkan dengan saluran listrik melalui *charger*. Besar nilai ADC yang ditimbulkan oleh *noise* akibat saluran listrik adalah 1023 (nilai maksimal dari ADC Arduino). Dengan kondisi seperti itu, maka *noise* tersebut sangat mengganggu proses perekaman sinyal kontraksi otot bisep. Sehingga pada saat proses perekaman berlangsung, kondisi laptop harus tidak disambungkan dengan saluran listrik.

3.1 Pengujian Nilai ADC

Pengujian ini dilakukan dengan cara memasang alat pada otot bisep orang yang berbeda, sehingga dapat diketahui nilai ADC yang dihasilkan oleh setiap orang dan dapat diketahui faktor yang mempengaruhi besar atau kecilnya nilai ADC. Pengujian ini dilakukan pada empat orang yang berbeda, yaitu orang pertama dengan tinggi badan 164 cm dan berat badan 60 kg, orang kedua dengan tinggi badan 175 cm dan berat badan 55 kg, orang ketiga dengan tinggi badan 165 cm dan berat badan 65 kg, orang keempat dengan tinggi badan 170 cm dan berat badan 55 kg. Hasil percobaan tertera pada tabel berikut:

Tabel 1 Pengujian Nilai ADC

No.	Nilai ADC			
	Orang Pertama	Orang Kedua	Orang Ketiga	Orang Keempat
1.	205	308	213	367
2.	230	413	323	264
3.	460	314	229	357
4.	465	253	150	352
5.	352	309	161	220
6.	412	340	340	409
7.	279	236	174	722
8.	480	871	153	433
9.	229	303	177	197
10.	533	578	285	462
11.	677	250	272	516
12.	893	251	175	511
13.	762	779	457	488
14.	406	293	192	176
15.	311	215	349	242
16.	254	322	196	273
17.	560	473	246	166
18.	368	256	242	847
19.	246	333	241	614
20.	211	300	278	297
21.	473	256	212	240
22.	229	207	358	250
23.	446	224	238	193
24.	232	549	321	186
25.	300	378	194	271
26.	377	255	302	237
27.	784	290	293	178
28.	242	242	416	168
29.	255	229	335	486
30.	516	280	235	285
Rata-rata	400	344	259	347

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa nilai ADC setiap orang berbeda-beda. Pengujian ini mengambil sampel empat orang untuk diukur nilai ADC saat kondisi tangan fleksor dan otot bicep berkontraksi. Orang pertama dengan berat badan 60 kg memperoleh rata-rata sebesar 400 dari tiga puluh kali pengujian, Orang kedua dengan berat badan 55 kg memperoleh rata-rata sebesar 344 dari tiga puluh kali pengujian, Orang ketiga dengan berat badan 65 kg memperoleh rata-rata sebesar 259 dari tiga puluh kali pengujian, dan sedangkan Orang keempat dengan berat badan 55 kg memperoleh rata-rata sebesar 347 dari tiga puluh kali pengujian. Jadi besar nilai ADC yang terekam oleh Arduino dipengaruhi dari oleh kondisi berat badan dan bentuk otot bicep masing-masing individu.

5 Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang telah dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penguatan yang dihasilkan oleh modul EMG sebesar 825 kali. hasil penguatan tersebut memang tidak sesuai dengan penguatan yang telah dirancang. Tetapi dengan penguatan sebesar 825 kali tersebut, sudah mampu menguatkan nilai sinyal input otot tangan sebesar 0 – 5 mV. Sehingga dapat terbaca oleh ADC Arduino dan dapat dijadikan input untuk mengolah program.
2. Proses filtering yang dihasilkan oleh modul EMG sudah mampu meredam sinyal yang berada di bawah 0,5 Hz dan di atas 40 Hz. Dan sudah mampu meloloskan sinyal yang berada di antara 0,5 dan 40 Hz. Dengan hasil tersebut, modul EMG sudah dapat bekerja dengan baik.
3. Perbedaan hasil simulasi rangkaian dengan percobaan rangkaian yang sebenarnya terjadi dikarenakan nilai komponen yang digunakan menyesuaikan komponen yang ada dipasaran. Jadi tidak sesuai atau mendekati nilai yang telah dihitung.
4. Tingkat keberhasilan yang dihasilkan oleh lengan robot sebesar 83,33 % ketika kondisi tangan fleksor dan 76,67 % ketika kondisi tangan ekstensor.

Kepustakaan

- [1] S. Raden, Hustinawati, N. Rigathi Widya, K. Ary Bima, P. Yogi, and S. Abdurachman, "Robotika", Jakarta: Universitas Gunadarma, 2010.
- [2] "Data Kementerian Sosial 2009", 2009. [Online]. Available: <http://www.kemsos.go.id>. [Accessed 5 Februari 2017].
- [3] R. Ahmad, Instrumentasi Biomedis, Yogyakarta, Graha Ilmu, 2014.
- [4] S. Mrinal Jyoti and P. Richa, "Data Acquisition and Monitoring of EMG (Electromyogram) Signals", ELK Asia Pasific Journals – Special Issue, ISBN: 978-81-930411-4-7.

Reduksi Harmonisa Arus Sumber Tiga-Fasa Dengan Transformator Penggeser Fasa

I. M. Wiwit Kastawan

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Bandung Barat, Jawa Barat, Indonesia
E-mail: wiwit.kastawan@polban.ac.id

Abstrak – Tulisan ini membahas tentang harmonisa arus sumber yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa dan tiga buah konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor serta upaya reduksinya menggunakan transformator penggeser fasa. Konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa membangkitkan arus sumber non-sinusoidal yang mengandung harmonisa orde ganjil selain kelipatan tiga. Sementara itu, konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor sebagai beban per-fasa dari sebuah sistem beban tiga-fasa seimbang akan membangkitkan arus sumber non-sinusoidal yang mengandung seluruh harmonisa orde ganjil yang mengalir pada setiap penghantar fasa serta arus pada penghantar netral yang merupakan jumlah dari seluruh komponen harmonisa kelipatan tiganya. Harmonisa arus sumber yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa dapat direduksi dengan transformator tiga-fasa delta-delta dan delta-ye. Simulasi dengan perangkat lunak PSIM menunjukkan bahwa penggunaan transformator delta-delta dan delta-ye dapat mengeliminasi harmonisa arus sumber orde ke-5, ke-7, ke-17, ke-19, dan seterusnya. Adapun reduksi harmonisa arus netral yang dibangkitkan oleh tiga buah konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor dapat dilakukan dengan transformator tiga-fasa zig-zag. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan transformator tiga-fasa zig-zag dapat mengeliminasi harmonisa arus kelipatan tiga pada penghantar netral. Namun, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa harmonisa arus sumber dan arus netral tidaklah tereliminasi melainkan tereduksi secara signifikan saja. Hal ini terjadi karena ketidakidealan rasio belitan transformator tiga-fasa sebagai akibat dari faktor pembagi $\sqrt{3}$.

Kata kunci: netral, arus sumber, harmonisa, konverter ac/dc, transformator penggeser fasa

1 Pendahuluan

Konverter ac/dc, lazim dikenal sebagai penyearah (*rectifier*), banyak digunakan pada berbagai peralatan listrik rumah tangga, komersial ataupun industri. Konverter ac/dc digunakan pada unit SMPS (*switch mode power supply*) untuk catu daya komputer atau peralatan elektronik lainnya, VSD (*variable speed drive*) untuk kendali putaran motor arus bolak-balik, *balast* elektronik untuk lampu penerangan, *battery charger unit*, sistem eksitasi motor listrik dan generator, AVR (*automatic voltage regulator*) untuk generator dan lain-lain [3], [4]. Umumnya, struktur atau topologi konverter ac/dc yang digunakan adalah gelombang penuh satu-fasa untuk kapasitas daya kecil dan gelombang penuh tiga-fasa untuk kapasitas daya yang lebih besar. Proses konversi daya listrik ac ke dc terjadi melalui penyaklaran

konverter. Namun patut dicermati bahwa proses penyaklaran ini akan mengakibatkan munculnya arus sumber non-sinusoidal yang banyak mengandung harmonisa [1]. Kandungan harmonisa yang tinggi akan berdampak buruk terhadap jaringan daya listrik karena mengakibatkan turunnya faktor daya, bertambahnya arus beban, meningkatnya rugi-rugi atau menurunnya efisiensi penyaluran daya listrik, meningkatnya arus netral pada sistem suplai daya listrik tiga-fasa serta kegagalan fungsi dari berbagai alat ukur dan alat-alat listrik lainnya yang terhubung pada jaringan daya listrik tersebut [1], [5].

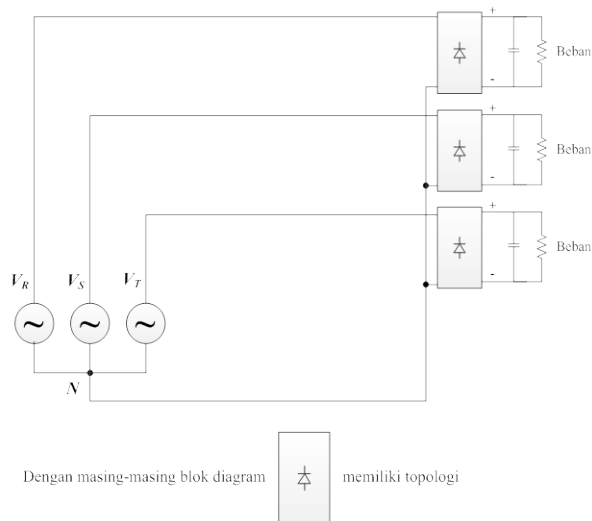
Memperhatikan berbagai dampak buruk harmonisa arus tersebut di atas maka upaya-upaya reduksi perlu dilakukan. Upaya reduksi untuk harmonisa arus sumber yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa dapat dilakukan melalui penggunaan transformator tiga-fasa

delta-delta (Δ - Δ) dan delta-ye (Δ -Y). Sementara itu, upaya reduksi terhadap harmonisa arus penghantar netral yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor sebagai beban per-fasa dari sebuah sistem tiga-fasa dapat dilakukan dengan pemasangan transformator tiga-fasa zig-zag. Kedua upaya reduksi harmonisa arus sumber ini secara prinsip berbasis pada pergeseran fasa dari tegangan tiga-fasa yang akan dikenakan pada sisi masukan konverter ac/dc. Tegangan sumber akan dipisahkan menjadi beberapa gelombang tegangan dengan beda sudut fasa tertentu sesuai orde dari harmonisa arus sumber yang hendak dieliminasi [6],[7].

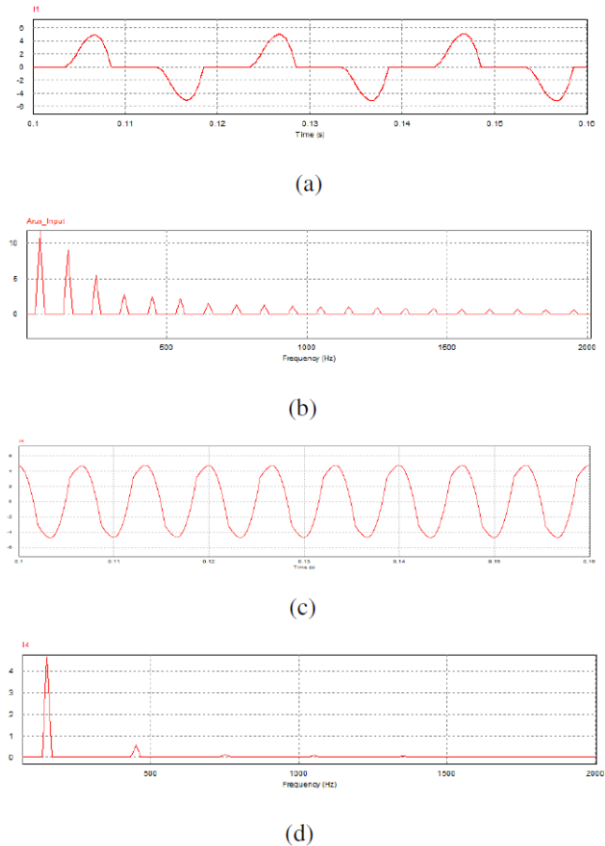
2 Landasan Teori

2.1. Harmonisa Arus Sumber Tiga-Fasa Yang Dibangkitkan Oleh Beban Konverter AC/DC

Konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor sering digunakan sebagai beban per-fasa dari sebuah sistem tiga-fasa seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Simulasi terhadap rangkaian konverter ini menghasilkan gelombang arus non-sinusoidal yang mengalir pada salah satu penghantar fasa, yaitu fasa *R*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2 (a). Gelombang arus yang sama namun berbeda fasa 120° dan 240° akan mengalir pada penghantar fasa *S* dan *T*. Gelombang arus fasa ini mengandung harmonisa orde ganjil ke-3, ke-5, ke-7,... seperti ditunjukkan oleh Gambar 2 (b). Lebih lanjut, arus pada penghantar netral sebagai penjumlahan dari ketiga arus fasa ini tidak sama dengan nol namun merupakan arus periodik non-sinusoidal yang memiliki frekuensi tiga kali frekuensi arus fasa dan mengandung harmonisa orde ganjil kelipatan tiga (ke-3, ke-9, ke-15, ...) seperti ditunjukkan oleh Gambar 2 (c) dan 2 (d).

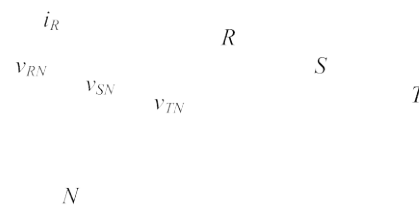


Gambar 1. Konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor sebagai beban per-fasa dari sebuah sistem tiga-fasa.



Gambar 2. Arus sumber dan netral yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor sebagai beban per-fasa dari sebuah sistem tiga-fasa berdasarkan hasil simulasi.

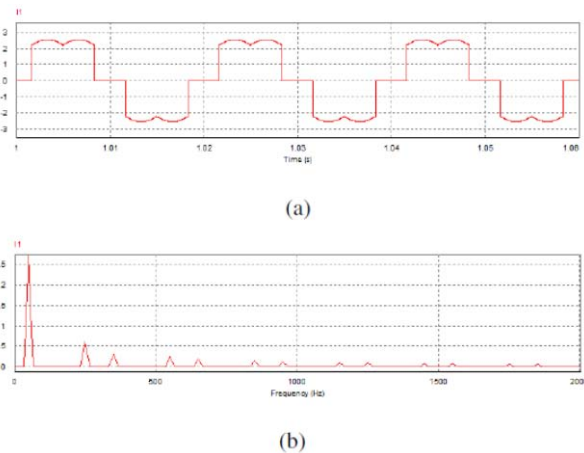
Topologi lain yang banyak dijumpai dalam sistem daya listrik tiga-fasa adalah konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa seperti ditunjukkan oleh Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa [1].

Simulasi terhadap rangkaian konverter ini menghasilkan gelombang arus periodik non-sinusoidal yang mengalir pada salah satu penghantar fasa, yaitu fasa *R*, seperti ditunjukkan oleh Gambar 4 (a). Gelombang arus yang sama namun berbeda fasa 120° dan 240° mengalir pada penghantar fasa yang lain *S* dan *T*. Gelombang arus fasa ini mengandung harmonisa orde ganjil selain kelipatan tiga yaitu ke-5, ke-7,

ke-11, ke-13, dan seterusnya seperti ditunjukkan oleh Gambar 4 (b).

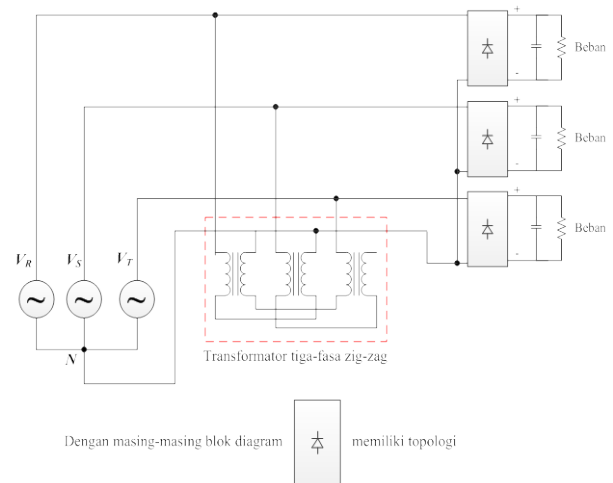


Gambar 4. Arus sumber yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa berdasarkan hasil simulasi.

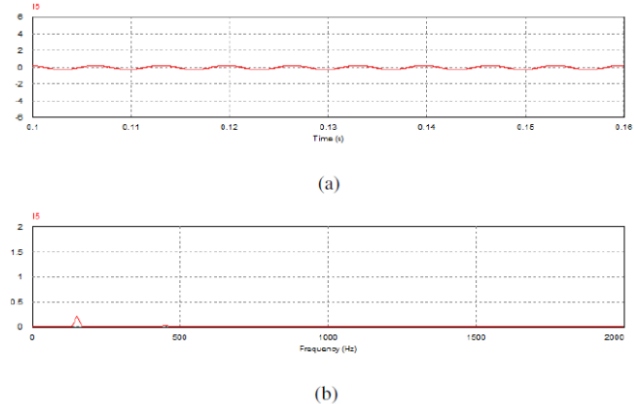
2.2. Reduksi Harmonisa Arus Sumber Tiga-Fasa Dengan Transformator Penggeser Fasa

Harmonisa arus sumber dapat direduksi dengan berbagai cara. Salah satunya adalah dengan transformator tiga-fasa penggeser fasa. Prinsipnya adalah membangkitkan sumber tiga-fasa yang sudut fasa tegangannya bergeser dengan nilai tertentu terhadap sumber tiga-fasa semula. Pergeseran sudut fasa ini mengakibatkan harmonisa arus orde tertentu dari sumber tiga-fasa yang sudut fasanya tergeser berbeda 180° dengan harmonisa arus dari sumber tiga-fasa semula sehingga saling meniadakan. Pergeseran sudut fasa 60° akan mengakibatkan tereliminasi harmonisa arus sumber orde ganjil kelipatan tiga. Sementara itu, pergeseran sudut fasa 30° akan mengakibatkan tereliminasi harmonisa arus sumber orde ganjil ke-5 dan ke-7. Untuk mengeliminasi harmonisa arus orde ganjil ke-11 dan ke-13 diperlukan pergeseran sudut fasa 15° [2], [6].

Telah diuraikan sebelumnya bahwa konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor sebagai beban per-fasa dari sebuah sistem daya listrik tiga-fasa akan menghasilkan arus netral yang mengandung harmonisa orde ganjil kelipatan tiga. Oleh karenanya transformator tiga-fasa zig-zag yang memiliki pergeseran sudut fasa 60° dapat digunakan untuk mengeliminasi harmonisa arus netral tersebut. Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan penggunaan transformator tiga-fasa zig-zag untuk reduksi harmonisa arus netral dan hasil simulasinya. Jika kita bandingkan dengan gelombang arus netral yang ditunjukkan oleh Gambar 2 (c) dan (d) maka akan terlihat bahwa pemasangan transformator tiga-fasa zig-zag dapat mereduksi magnitudo arus netral secara signifikan hingga mendekati nol dan hanya harmonisa ganjil orde ke-3 yang masih terlihat muncul dengan nilai mendekati nol seperti ditunjukkan oleh Gambar 6 (a) dan (b).

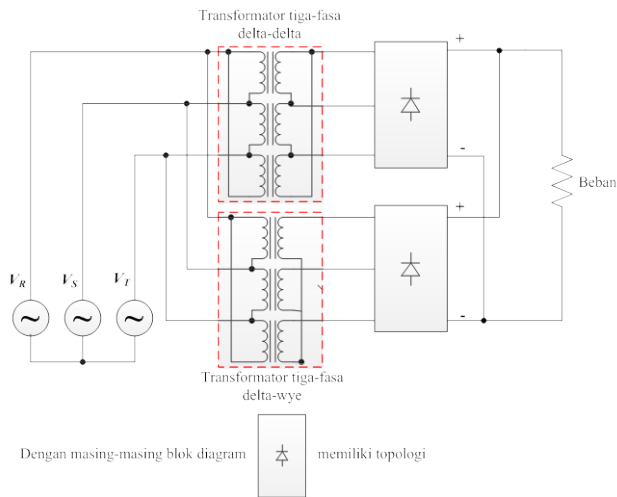


Gambar 5. Penggunaan transformator tiga-fasa zig-zag untuk reduksi harmonisa arus netral.

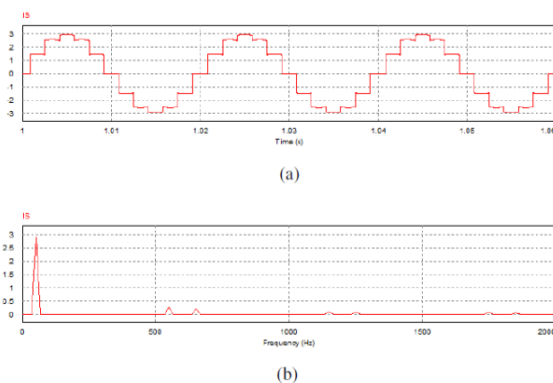


Gambar 6. Arus netral setelah pemasangan transformator tiga-fasa zig-zag berdasarkan hasil simulasi.

Telah diuraikan pula bahwa penggunaan konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa akan mengakibatkan munculnya harmonisa arus sumber orde ganjil selain kelipatan tiga. Oleh karenanya penggunaan transformator tiga-fasa (Δ - Δ) dan (Δ -Y) yang menghasilkan pergeseran sudut fasa 30° akan dapat mengeliminasi kandungan harmonisa arus sumber orde ke-5 dan ke-7 yang merupakan dua orde harmonisa arus sumber paling dominan. Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan penggunaan transformator tiga-fasa dengan hubungan belitan (Δ - Δ) dan (Δ -Y) untuk reduksi harmonisa arus sumber tersebut dan hasil simulasinya.



Gambar 7. Penggunaan transformator tiga-fasa (Δ - Δ) dan (Δ -Y) untuk reduksi harmonisa arus sumber.



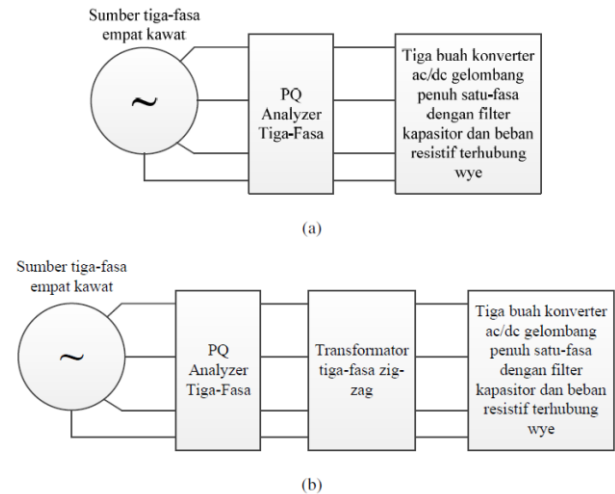
Gambar 8. Arus sumber setelah pemasangan transformator tiga-fasa (Δ - Δ) dan (Δ -Y) berdasarkan hasil simulasi.

Jika dibandingkan dengan arus sumber yang ditunjukkan oleh Gambar 4 (a) dan (b) maka akan jelas terlihat bahwa pemasangan transformator tiga-fasa (Δ - Δ) dan (Δ -Y) dapat menghasilkan bentuk gelombang arus sumber yang lebih mendekati sinusoidal murni, seperti ditunjukkan oleh Gambar 8 (a), dengan kandungan harmonisa yang lebih rendah. Hal ini dikonfirmasi oleh spektrum harmonisa pada Gambar 8 (b) yang memperlihatkan bahwa komponen harmonisa arus yang muncul adalah orde ganjil ke-11, ke-13, ke-23, ke-25,... dengan orde ganjil ke-5, ke-7, ke-17, ke-19,... tereliminasi sepenuhnya.

3 Pengujian Laboraturium dan Pembahasan

Untuk menelaah lebih lanjut upaya reduksi harmonisa arus sumber dengan transformator tiga-fasa ini maka dilakukan langkah pengujian laboratorium. Uji laboratorium pertama bertujuan untuk menelaah

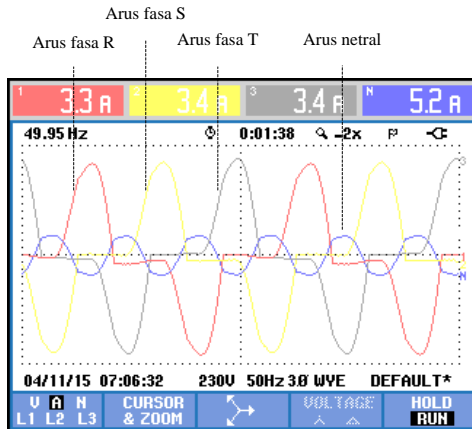
harmonisa arus sumber yang dibangkitkan oleh tiga buah konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor yang dipasang sebagai beban tiga-fasa serta upaya reduksinya dengan transformator tiga-fasa zig-zag. Blok diagram rangkaian pengujianya ditunjukkan oleh Gambar 9 (a) dan (b) di bawah ini.



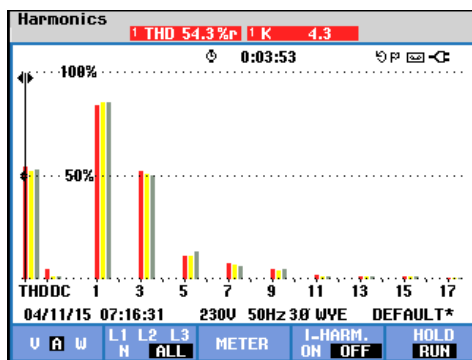
Gambar 9. Blok diagram pengujian harmonisa arus sumber tiga-fasa yang dibangkitkan oleh tiga buah konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor dan upaya reduksinya dengan transformator tiga-fasa zig-zag.

Pengujian ini menghasilkan gelombang arus sumber ac, gelombang arus netral dan spektrum harmonisa yang ditunjukkan oleh Gambar 10. Dapat dilihat bahwa dihasilkan tiga buah gelombang arus sumber ac non-sinusoidal yaitu fasa R, S dan T dengan magnitudo sekitar 3,4 A dan beda fasa 120° serta arus netral non-sinusoidal dengan magnitudo sekitar 5,2 A dan frekuensi tiga kali frekuensi arus sumber ac seperti ditunjukkan oleh Gambar 10 (a). Masing-masing arus sumber ac non-sinusoidal ini mengandung harmonisa orde ganjil ke-3, ke-5, ke-7,... seperti ditunjukkan oleh spektrum harmonisa Gambar 10 (b). Sementara itu, arus non-sinusoidal yang mengalir pada kawat penghantar netral mengandung harmonisa orde ganjil kelipatan tiga yaitu ke-3, ke-9, ke-15,... seperti ditunjukkan oleh spektrum harmonisa Gambar 10 (c). Jika Gambar 10 ini kita bandingkan dengan Gambar 2 maka dapat dinyatakan bahwa hasil uji laboratorium adalah sesuai dengan hasil simulasi. Sementara itu, hasil uji laboratorium untuk upaya reduksi harmonisa arus netral dengan transformator tiga-fasa zig-zag menghasilkan gelombang arus netral dan spektrum harmonisa yang ditunjukkan oleh Gambar 11. Terlihat bahwa pada kawat netral sumber (antara suplai tiga-fasa sumber dan netral transformator tiga-fasa zig-zag) mengalir arus sebesar 2,5 A dengan frekuensi tiga-kali frekuensi arus sumber ac. Hasil uji laboratorium ini sedikit berbeda dengan hasil simulasi pada Gambar 6 dimana arus netral sumber bernilai sangat kecil (dianggap sama dengan

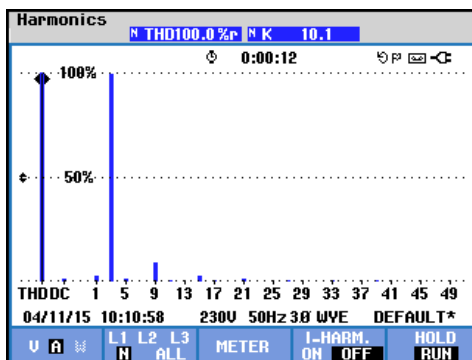
nol). Tidak tereliminasi arus netral sumber dalam uji laboratorium ini disebabkan oleh ketidakidealan dari transformator tiga-fasa zig-zag yang digunakan. Rating tegangan setiap belitan fasanya sebesar $220/\sqrt{3}$ V (*rms*) didekati dengan nilai 127 V (*rms*). Namun secara umum dapat dinyatakan bahwa transformator tiga-fasa zig-zag dapat digunakan untuk reduksi harmonisa arus netral.



(a)

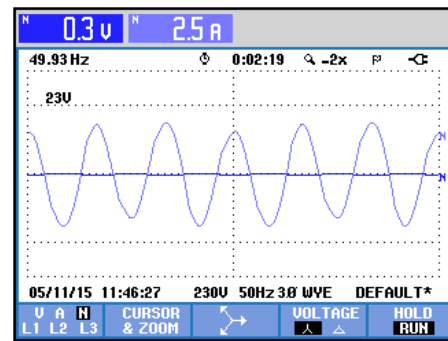


(b)

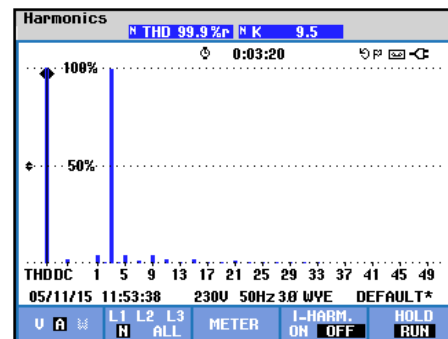


(c)

Gambar 10. Arus sumber dan netral yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor sebagai beban per-fasa dari sebuah sistem tiga-fasa berdasarkan hasil uji laboratorium.



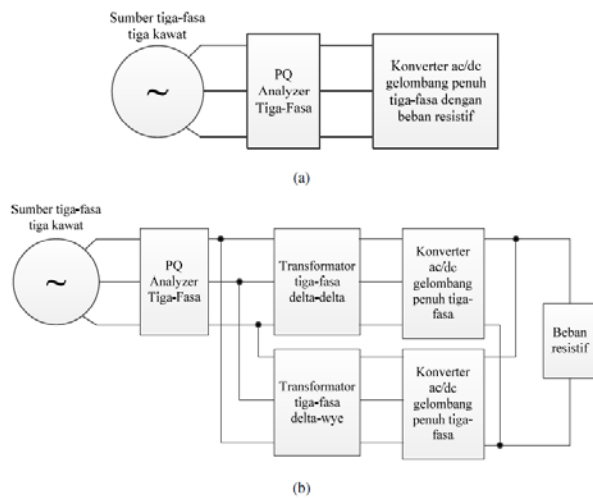
(a)



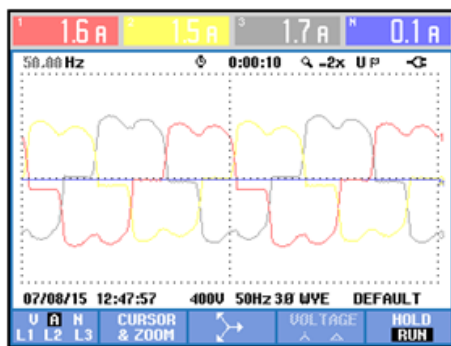
(b)

Gambar 11. Arus netral setelah pemasangan transformator tiga-fasa zig-zag berdasarkan hasil uji laboratorium.

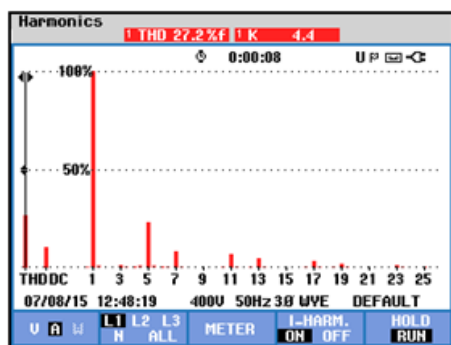
Uji laboratorium yang kedua bertujuan untuk menelaah harmonisa arus sumber yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa serta upaya reduksinya dengan transformator tiga-fasa hubungan belitan (Δ - Δ) dan (Δ -Y). Blok diagram rangkaian pengujianya ditunjukkan oleh Gambar 12 (a) dan (b). Hasil uji untuk beberapa kondisi pembebanan menghasilkan tiga buah arus sumber ac non-sinusoidal dengan beda fasa 120° dan magnitudo berkisar antara 0,4 – 1,6 A per-fasa seperti ditunjukkan oleh Gambar 13 (a). Masing-masing fasa arus sumber ac non-sinusoidal ini memiliki spektrum harmonisa yang ditunjukkan oleh Gambar 13 (b). Dapat dilihat bahwa arus sumber ac non-sinusoidal ini mengandung harmonisa orde ganjil selain kelipatan tiga yaitu ke-5, ke-7, ke-11, ke-13, dan seterusnya. Jika Gambar 13 ini kita bandingkan dengan Gambar 4 maka dapat dinyatakan bahwa hasil uji laboratorium adalah sesuai dengan hasil simulasi. Telaah lebih jauh menunjukkan bahwa arus sumber ac non-sinusoidal ini memiliki nilai *total harmonic distortion* (THD) rata-rata sebesar 28,6%. Persentase terhadap arus fundamental dari harmonisa orde ke-5, ke-7, ke-11 dan ke-13 masing-masing mencapai kisaran 24%, 9,3%, 8,1% dan 5,4%. Sementara itu, harmonisa orde ke-17, ke-19, dan seterusnya memiliki persentase sangat kecil sehingga dapat diabaikan.



Gambar 12. Blok diagram pengujian harmonisa arus sumber yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa dan upaya reduksinya menggunakan transformator tiga-fasa (Δ - Δ) dan (Δ -Y).



(a)

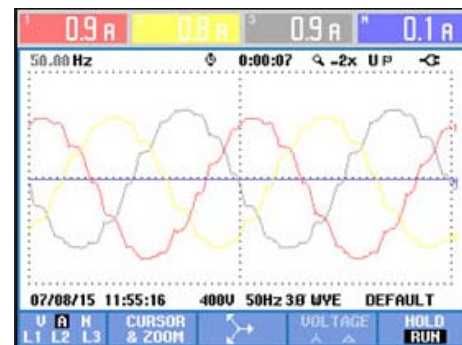


(b)

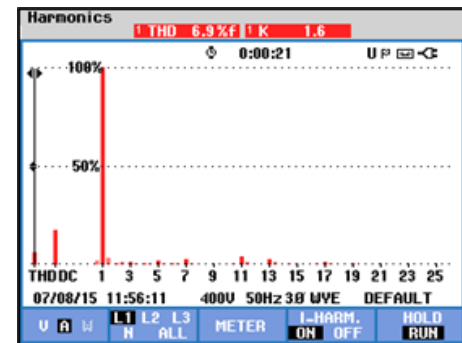
Gambar 13. Arus sumber yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh tiga-fasa berdasarkan hasil uji laboratorium

Hasil uji laboratorium untuk upaya reduksi harmonisa melalui penggunaan transformator tiga-fasa (Δ - Δ) dan (Δ -Y) menghasilkan gelombang arus sumber ac dan spektrum harmonisa yang ditunjukkan oleh Gambar 14. Terlihat bahwa

dihasilkan tiga buah arus sumber ac dengan beda fasa 120° dan memiliki bentuk gelombang yang lebih mendekati sinusoidal. Spektrumnya menunjukkan bahwa terjadi reduksi sangat signifikan terhadap harmonisa arus orde ke-5 dan ke-7 sehingga menurunkan nilai THD rata-rata dengan sangat tajam dari 28,6% menjadi 8,1%. Telaah lebih dalam menunjukkan bahwa harmonisa orde ke-5 dan ke-7 masing-masing direduksi signifikan dari 24% dan 9,3% menjadi 5,7% dan 2%. Meskipun tidak terlalu signifikan, harmonisa arus orde ke-11 dan ke-13 juga tereduksi dari 8,1% dan 5,4% menjadi 3,3% dan 2,2%. Hasil uji laboratorium ini sedikit berbeda dengan hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Gambar 8 dimana harmonisa arus orde ke-5 dan ke-7 tereliminasi atau tereduksi sepenuhnya. Kondisi ini terjadi terutama karena perbandingan tegangan primer dan sekunder transformator delta-woye yang bernilai 220 V/127 V tidak sama persis dengan perbandingan belitan yang bernilai $1/(1/\sqrt{3})$.



(a)



(b)

Gambar 14. Arus sumber setelah pemasangan transformator tiga-fasa (Δ - Δ) dan (Δ -Y) berdasarkan hasil uji laboratorium.

3 Simpulan

Penggunaan tranfsmator penggeser fasa dapat mereduksi harmonisa arus netral dan arus sumber ac yang dibangkitkan oleh konverter ac/dc gelombang penuh satu-fasa dengan filter kapasitor sebagai beban per-fasa dari sebuah sistem tiga-fasa serta konverter

ac/dc gelombang penuh tiga-fasa. Meskipun tidak mengeliminasi, transformator tiga-fasa zig-zag dapat secara signifikan mereduksi harmonisa arus netral lebih dari 50%. Penggunaan transformator tiga-fasa (Δ - Δ) dan (Δ -Y) juga dapat mereduksi harmonisa arus sumber ac secara sangat signifikan. THD arus sumber ac tereduksi lebih dari 70%. Komponen harmonisa arus yang tereduksi sangat signifikan adalah orde ke-5 (tereduksi lebih dari 80%) dan ke-7 (tereduksi lebih dari 75%). Namun, ketidakidealan rasio tegangan/belitan transformator tiga-fasa sebagai akibat faktor pembagi $\sqrt{3}$ yang tidak bulat mengakibatkan tidak terjadinya eliminasi harmonisa arus netral dan arus sumber ac.

Kepustakaan

1. M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook and Applications*, Elsevier-BH, 2011.
2. B. L. Theraja, A. K. Theraja, *A Textbook of Electrical Technology Volume I Basic Electrical Engineering*, S. Chand and Company Ltd., 2005.
3. D. Salomonsson, *Low-Voltage DC Distribution System for Commercial Power Systems With Sensitive Electronics Loads*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 22, No. 3, July 2007.
4. F. M. Wildan, E. A. Hakim, D. Suhardi, Sistem Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler PID Berbasis Genetic Algorithm, Jurnal Kinetik, Vol.1, No.1, 2016
5. Mahesh A. Patel, Ankit R. Patel, Dhaval R. Vyas, Ketul M. Patel, *Use of PWM Techniques for Power Quality Improvement*, International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, No. 4, May 2009.
6. *Transformer, Harmonic Currents and Phase Shifting*, Literature Code: HPS-TA2, Hammond Power Solutions, 2014.
7. R. Omar, A. Ahmad, M. Sulaiman, *Triplen Harmonics Mitigation 3 Phase Four-Wire Electrical Distribution System Using Wye-Zig-Zag Transformers*, Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS) 1 (1), 2010.

Transfer Daya Nirkabel dengan Kopling Induksi

Supriyadi*, Edi Rakhman, Suyanto, Arif Rahman, & Noor Cholis Basjaruddin

Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Bandung,
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
*E-mail: cs_ppm@yahoo.com

Abstrak – Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini. Pengiriman energi listrik komersial tegangan rendah 220 volt masih menggunakan kabel listrik untuk menghantarkan listrik ke beban. Salah satu cara pengiriman atau transfer daya listrik yang terus dikembangkan sampai saat ini adalah transfer daya listrik secara nirkabel. Transfer daya listrik secara nirkabel memiliki kelebihan dibandingkan menggunakan kabel yaitu dapat meningkatkan kenyamanan dalam penggunaan peralatan listrik. Pada penelitian ini dikembangkan sistem transfer daya listrik secara nirkabel (wireless power transfer) dengan kopling induktif. Percobaan dilakukan dengan mengubah jumlah lilitan dan diameter kawat email yang bertujuan untuk mencari daya paling maksimum dan jarak paling jauh. Sumber listrik dihubungkan dengan rangkaian elektronika yang dilengkapi dengan tembaga yang telah dibentuk sebagai kumparan primer untuk transmitter dan kumparan sekunder untuk receiver yang kemudian disalurkan energi listriknya ke beban. Pada rangkaian dengan kawat email yang berdiameter 0,5 mm, jumlah lilitan $26 \times$ putaran, dan frekuensi yang digunakan 470KHz diperoleh efisiensi daya yang ditransfer pada jarak 1 cm sekitar 1,51%. Hasil dari percobaan tersebut dapat menyalakan lampu LED 1 Watt.

Kata kunci: transfer daya nirkabel, kopling induksi, rangkaian transmitter, rangkaian receiver

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi dewasa ini telah mengalami kemajuan yang sangat pesat. Seiring dengan kebutuhan manusia yang semakin hari semakin meningkat maka diperlukannya suatu teknologi yang dapat mendukung kebutuhan manusia tersebut. Dalam kehidupan sehari-hari manusia sekarang tidak dapat lepas dari kebutuhan akan peralatan listrik. Hampir di segala aspek manusia membutuhkan daya listrik.

Pada umumnya transfer daya listrik yang kita gunakan adalah menggunakan media perantara berupa kabel tembaga. Tembaga tersebut digunakan sebagai media transfer listrik karena bahannya yang terdiri atas banyak elektron yang bisa bergerak bebas. Pada saat tembaga dihubungkan dengan sumber listrik aliran elektron dapat bergerak dengan bebas pada bahan tersebut. Namun seiring dengan perkembangan teknologi saat ini telah dikembangkan transfer daya listrik nirkabel. Selain meningkatkan kepraktisan hal ini juga dapat menjadi penghematan terhadap bahan untuk pembuatan kabel sebagai media penyaluran daya.

Wireless power transfer (WPT) adalah cara mentransmisikan energi listrik tanpa menggunakan kabel. Saat ini ada beberapa teknologi transfer daya nirkabel yaitu ada yang menggunakan medan listrik, magnet, dan medan elektromagnetik. Transmisi daya nirkabel ini berguna untuk menyalakan perangkat listrik dimana kabel yang digunakan tidak nyaman, berbahaya, atau tidak memungkinkan. Teknik transfer daya nirkabel terbagi dalam dua kategori yaitu non-radiatif dan radiatif. [1] Pada teknik medan dekat atau non-radiasi, daya dipindahkan oleh medan magnet menggunakan kopling induktif antara gulungan kawat, atau medan listrik yang menggunakan kopling kapasitif antara elektroda logam. [2]

Kopling induktif adalah teknologi nirkabel yang paling banyak digunakan; Aplikasinya meliputi pengisian perangkat genggam seperti telepon dan sikat gigi elektrik, tag RFID, dan pengisi daya untuk peralatan medis *implant* seperti alat pacu jantung buatan, ataupun kendaraan listrik. [1] dan [3] Dalam teknik medan jauh atau radiasi, atau juga disebut *power beam*, daya dipindahkan oleh sinar radiasi elektromagnetik seperti gelombang mikro atau sinar laser. Teknik ini bisa mentransfer energi jarak jauh akan tetapi harus diarahkan ke penerima.

Usulan aplikasi untuk teknik ini adalah satelit tenaga surya. dan pesawat tak berawak nirkabel (drone). [4] dan [5].

Pengiriman daya listrik tanpa melewati suatu kabel akan sangat membantu dalam penggunaan peralatan elektronik karena akan lebih efektif dan efisien, namun dalam sistem pengiriman daya nirkabel perlu juga memperhatikan pemaparan medan elektromagnetik yang berpotensi membahayakan makhluk hidup itu sendiri.

Pada penelitian ini dikembangkan rangkaian transfer daya nirkabel dengan kopling induksi. Transfer daya nirkabel dengan kopling induksi telah dikembangkan antara lain pada [6], [7], dan [8].

2 Landasan Teori

Pembahasan berikut merupakan dasar teori yang berkaitan dengan prinsip tranfer daya secara nirkabel menggunakan kopling induksi.

2. 1. Definisi Transfer Daya Nirkabel

Transfer daya nirkabel adalah suatu sistem yang dapat mentransmisikan energi listrik dari sumber listrik menuju beban listrik tanpa menggunakan konduktor seperti kabel.

Transfer daya nirkabel mempunyai kegunaan dalam kehidupan sehari-hari, yaitu :

- Memberikan kemudahan dalam memberikan energi listrik kepada alat elektronik yang membutuhkan sumber listrik.
- Pengisian daya secara otomatis untuk alat elektronik yang menggunakan baterai saat alat tersebut masuk dalam jangkauan sistem.

2. 2. Induksi Elektromagnetik

Prinsip induksi elektromagnetik dibuktikan oleh Michael Faraday, seorang ilmuwan yang tertarik setelah melihat percobaan dari H.C Oersted yang menjelaskan bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet. [9]

Percobaan Michael Faraday pada tahun 1831 dalam membuktikan prinsip induksi elektromagnetik ini cukup sederhana yaitu menggunakan 2 buah kabel yang digulung pada kedua sisi cincin besi lalu kabel pada satu sisi dialiri dengan arus listrik dan kabel pada sisi yang lain dihubungkan dengan galvanometer.

Melalui percobaan ini Faraday menyimpulkan bahwa medan magnet pada kabel yang dialiri arus listrik dapat menghantarkan arus kepada kabel lainnya yang berada pada jangkauan medan magnet kabel tersebut.

2. 3. Prinsip Kerja Induksi Elektromagnetik

Prinsip kerja induksi elektromagnetik adalah dengan bertambahnya garis gaya magnet akan menimbulkan GGL induksi pada ujung kawat dan terjadi beda potensial yang diakibatkan oleh arus yang mengalir akibat garis gaya magnet.

Arah arus induksi yang mengalir dalam kawat dapat ditentukan dengan cara memperhatikan arah medan magnet yang ditimbulkan. Hal ini mengakibatkan terjadinya beda

potensial pada ujung-ujung kawat lilitan. Pada saat medan magnet keluar dari lilitan kawat, beda potensial yang terjadi akan berkurang hingga akhirnya hilang dikarenakan tidak adanya medan magnet pada lilitan kawat.

2. 4. Karakteristik Induksi Elektromagnetik

Besar kecilnya induksi elektromagnetik yang terjadi dapat diperhatikan dari penyimpangan jarum galvanometer. Jika sudut penyimpangan jarum besar, maka arus yang terinduksi juga besar. Adapun beberapa faktor yang dapat mempengaruhi besarnya induksi elektromagnetik yang terjadi pada lilitan adalah sebagai berikut:

- a. Jumlah lilitan
- b. Besarnya fluks magnetik
- c. Kekuatan medan magnetik

Besarnya induksi yang dihasilkan sebanding dengan ketiga faktor diatas. Semakin besar ketiga faktor tersebut, maka hasil induksi elektromagnetik akan semakin besar.

2. 5. Fluks Magnetik

Fluks magnetik adalah ukuran atau jumlah medan magnet B yang melewati luas penampang tertentu. Fluks magnetik yang dihasilkan oleh medan magnet B pada permukaan yang memiliki luas A adalah:

$$\phi = BA \cos \theta \quad (1)$$

Percobaan yang dilakukan oleh Faraday menunjukkan bahwa perubahan fluks magnet pada pada suatu permukaan tertutup oleh lintasan tertutup mengakibatkan adanya Gerak Gaya Listrik (GGL) induksi. Besarnya GGL induksi yang terjadi adalah:

$$E = -N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \quad (2)$$

Hukum Lenz

Hukum Lenz menyatakan bahwa arah arus induksi yang dihasilkan sedemikian rupa sehingga menimbulkan medan magnetik induksi yang menentang perubahan medan magnetik.

Arah arus induksi yang berada di kumparan mengakibatkan kumparan memiliki arah medan magnet yang berlawanan dengan medan magnet yang masuk ke dalam kumparan. Medan induksi ini akan menghasilkan GGL induksi pada kumparan dengan arah yang sesuai dengan kaidah tangan kanan.

Induktansi Diri

Berdasarkan hukum Bios-Savart, jika terdapat arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar akan menyebabkan timbulnya medan magnet disekitar penghantar tersebut.

Besarnya medan magnet yang timbul disekitar penghantar sebanding dengan besarnya arus listrik yang mengalir seperti yang dijelaskan rumus berikut:

- Medan magnet pada kawat panjang

$$B = \left(\frac{\mu_o}{2\pi a} \right) I \quad (3)$$

- Medan magnet pada kawat melingkar

$$B = \left(\frac{\mu_o r}{2a^2} \right) I \sin \theta \quad (4)$$

- Medan magnet pada solenoida

$$B = \left(\frac{\mu_o N}{S} \right) I \quad (5)$$

Dari persamaan (3) sampai dengan (5), dapat dilihat bahwa B sebanding dengan I, dan karena dari persamaan (1) diketahui bahwa B sebanding dengan ϕ , maka fluks magnet juga sebanding dengan I. Berdasarkan hal tersebut diperoleh tetapan kesebandingan sebagai berikut :

$$\phi = LI \quad (6)$$

Dimana L adalah tetapan kesebandingan antara dengan I yang dinamakan induktansi diri dari suatu sistem. Untuk mengetahui nilai L pada suatu lilitan dapat menggunakan persamaan berikut :

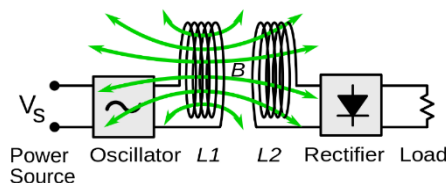
$$L = \frac{\mu_o N^2 A}{\ell} \quad (7)$$

Dari persamaan (7) dapat diketahui bahwa L sebanding dengan N. Karena pada hukum Faraday perubahan fluks listrik dapat menimbulkan GGL, maka dengan memasukkan (6) dan (7) kedalam persamaan (2) didapatkan :

$$E = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (8)$$

Induktansi Bersama

Induktansi bersama terjadi apabila terdapat dua lilitan yang saling berdekatan seperti Gambar 1. Arus i_1 pada lilitan 1 akan menghasilkan medan magnet yang fluks magnetnya akan mempengaruhi lilitan 2. Jika i_1 berubah, maka medan magnet pada lilitan 1 juga akan berubah. Hal ini akan menyebabkan terjadinya GGL induksi pada lilitan 2. Ketika timbul GGL induksi pada lilitan 2, maka arus akan mengalir di lilitan 2 dan akan menghasilkan medan magnet yang akan mempengaruhi lilitan 1. [6]



Gambar 1. Diagram Blok Transfer Daya Nirkabel Kopling Induktif

Menurut Faraday, besarnya induktansi bersama adalah

$$M = \frac{N_2 \phi_{B2}}{i_1} = \frac{N_1 \phi_{B1}}{i_2} \quad (9)$$

Kopling Induksi

Dalam Kopling induktif (induksi elektromagnetik atau *inductive power transfer* IPT), daya ditransfer antara gulungan kawat oleh medan magnet. Kumparan pengirim dan penerima bersama membentuk seperti sebuah transformator.

Arus bolak-balik (AC) melalui koil pengirim (L1) menciptakan medan magnet yang berosilasi (B) berdasarkan hukum Ampere. Medan magnet melewati koil penerima (L2), dimana ia menginduksi tegangan EMF bolak-balik berdasarkan hukum induksi Faraday, yang menciptakan arus AC pada rangkaian penerima. Arus bolak-balik yang diinduksi dapat menggerakkan beban secara langsung, atau bisa juga diubah ke arus searah (DC) menggunakan rangkaian penyearah pada bagian rangkaian penerima yang nantinya bisa dipakai oleh beban yang menggunakan tegangan DC. Beberapa system seperti pengisian sikat gigi listrik bekerja pada 50/60 Hz sehingga arus utama AC langsung ke koil pengirim.

Kopling induktif adalah teknologi pengiriman daya nirkabel tertua dan paling banyak digunakan serta hampir satu-satunya digunakan pada produk komersial. Teknologi ini umum digunakan dalam pengisian baterai secara nirkabel pada lingkungan basah seperti sikat gigi elektrik dan alat cukur dengan tujuan untuk mengurangi risiko tersetrum listrik. [10] Area aplikasi lainnya adalah pengisian ulang perangkat prostetik biomedis yang ditanamkan ditubuh manusia seperti alat pacu jantung dan pompa insulin, untuk menghindari adanya kabel yang melewati kulit. [8] Teknologi kopling induktif juga digunakan untuk mengisi kendaraan listrik seperti mobil, bus, dan kereta api. Lihat Gambar 2. [11]

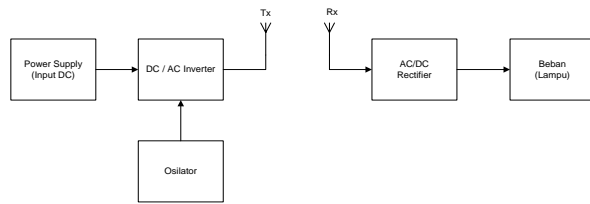


Gambar 2 Prototype inductive electric car charging system di Tokyo Auto Show 2011

3 Metodologi Penelitian

Diagram Blok Sistem

Sistem yang dikembangkan dapat digambarkan dalam diagram blok seperti dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Blok Diagram Sistem

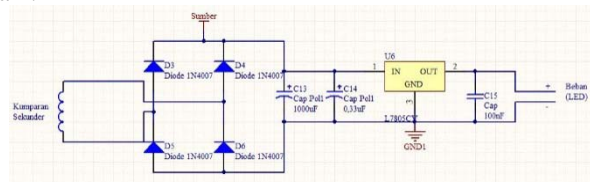
Sistem ini terdiri dari *power supply* dengan keluaran 12V, osilator, kumparan primer atau kumparan pengirim, kumparan sekunder atau kumparan penerima, dan penyearah. Transfer daya nirkabel ini bekerja menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Untuk menghasilkan medan elektromagnetik diperlukan 2 buah kumparan yang berfungsi sebagai penghasil medan magnet yaitu kumparan primer dan penangkap medan magnet yaitu kumparan sekunder. Medan magnet hanya akan muncul apabila diberikan sumber bolak-balik oleh karena itu diperlukan rangkaian osilator yang bekerja sebagai pengubah arus searah yang dihasilkan oleh *power supply* menjadi arus bolak-balik. Setelah proses itu arus bolak-balik diteruskan ke kumparan primer yang berupa komponen induktor (L) dan menghasilkan medan magnet yang akan ditransfer ke kumparan sekunder yang berupa komponen yang sama yaitu induktor.

Setelah medan magnet ditangkap oleh kumparan sekunder selanjutnya dari medan magnet itu berubah menjadi arus bolak-balik sesuai hukum Faraday. Selanjutnya arus bolak-balik tersebut masuk ke rangkaian penyearah agar arus nya menjadi arus searah. hasil dari penyearahan tersebut digunakan untuk memberikan catu daya kepada beban yang akan digunakan yaitu lampu.

Perancangan Elektronik

Rangkaian elektronik yang harus dirancang terdiri atas rangkaian *full-bridge inverter*, antenna Tx dan Rx, serta rangkaian penyearah.

Komponen utama rangkaian penyearah adalah 4 buah dioda FR204 sebagai penyearah dan regulator 7805 sebagai peregulasi tegangan keluaran. Rangkaian penyearah yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah :

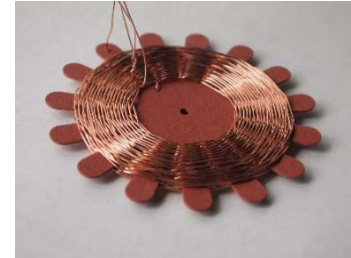


Gambar 4 Rangkaian Penyearah

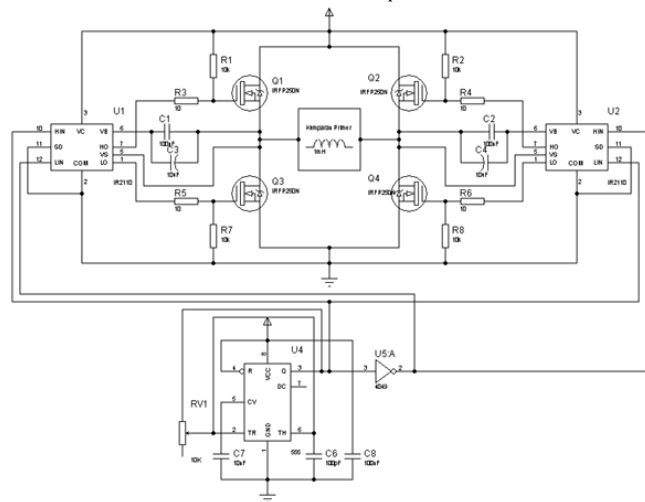
Untuk antenna Tx dan Rx dibuat menggunakan kawat email. Kawat email tersebut dililit dengan menggunakan disain bentuk lilitan *spiderweb coil*. Disain ini digunakan untuk meminimalisir kerugian yang diakibatkan oleh *proximity*

effect dan *skin effect*. Disain acuan *spiderweb coil* dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada rangkaian *full-bridge inverter* digunakan 2 buah driver MOSFET IR2110, 4 buah MOSFET IRFP250N, dan osilator IC 555. [12] Lihat Gambar 6.



Gambar 5 Acuan Spiderweb Coil



Gambar 6. Rangkaian Full-bridge Inverter

4 Hasil dan Pembahasan

4. 1. Pengujian pengaruh diameter kawat kumparan

Pada pengujian ini bagian penting dari rangkaian pengirim dan rangkaian penerima berupa kumparan yang berukuran 0,5mm untuk pengujian pertama dan 0,75mm untuk pengujian kedua.

Tabel 1. Pengukuran Transfer Daya dengan Diameter Kawat 0,5mm

AWG 0,5mm				
Beban 100 ohm				
Jarak (cm)	Vunregulator (Volt)	Vregulator (Volt)	Daya	Lampu
1	5,8	2,1	44,1 mW	Terang
1,5	4,4	1,8	32,4 mW	Terang
2	3,4	1	10 mW	Redup
2,5	2,8	0,07	49 uW	Mati
3	2,6	0,01	1 uW	Mati
3,5	2,4	0	0	Mati
4	2	0	0	Mati
4,5	1,6	0	0	Mati
5	1,2	0	0	Mati

Tabel 2. Pengukuran Transfer Daya dengan Diameter Kawat 0,75mm

AWG 0,75mm				
Beban 100 ohm				
Jarak (cm)	Vunregula-tor (Volt)	Vregulator (Volt)	Daya	Lampu
1	6,2	2,6	67,6 mW	Terang
1,5	4,8	2	40,5 mW	Terang
2	4	1,2	14,4 mW	Terang
2,5	3,4	0,4	1,6 mW	Redup
3	2,9	0,07	49 uW	Mati
3,5	2,4	0,01	1 u	Mati
4	2	0	0	Mati
4,5	1,5	0	0	Mati
5	1,2	0	0	Mati

Berdasarkan dari pada Tabel 1 dan 2 terlihat bahwa untuk diameter kawat 0,75 mm dan jarak 1 cm didapatkan tegangan 2,6 volt pada titik Vregulator. sedangkan untuk diameter kawat 0,5 mm didapatkan tegangan 2,1 volt. Untuk kondisi lampu, diameter kawat 0,5 mm dan jarak 2 cm lampu sudah mulai meredup sedangkan untuk diameter kawat 0,75 mm lampu mulai meredup pada jarak 2,5 cm. Transfer daya maksimal yang dihasilkan sebesar 67,6 mW yaitu menggunakan diameter kawat 0,75 mm. sedangkan untuk diameter kawat 0,5 mm daya maksimum yang bisa dihasilkan sebesar 44,1 mW. Untuk transfer daya lebih optimal menggunakan diameter kawat 0,75 mm karena pada jarak 1 cm s.d. 2 cm kondisi lampu terang dan tegangan yang dihasilkan cukup besar apabila dibandingkan dengan diameter kawat 0,5 mm.

4. 2. Pengujian pengaruh frekuensi

Hasil percobaan dengan frekuensi berbeda-beda dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengukuran tegangan terhadap Perubahan Frekuensi

Jarak 1 cm		
AWG 0,75mm		
Frekuensi (KHz)	V _{unregulator} (Volt)	V _{regulator} (Volt)
470	6	5
480	6	5
490	5,6	4,7
500	5,5	4,6
510	5,4	4,5
520	5,5	4,6
530	5,4	4,5
540	5,3	4,4
550	5,4	4,5
560	5,5	4,6
570	5,5	4,6
580	5,3	4,4
590	5,4	4,5
600	5,2	4,3

Terlihat pada Tabel 3 tegangan berbanding terbalik dengan perubahan frekuensi. Semakin besar frekuensi yang dihasilkan maka semakin kecil tegangan yang dihasilkan. Pada frekuensi 490KHz sudah mengalami penurunan nilai tegangan dan

untuk pengujian frekuensi berikutnya 500KHz hingga 600KHz terlihat hasil tegangan yang didapatkan tidak terlalu berpengaruh antara nilai tegangan yang lainnya. Tegangan terkecil yang didapatkan sebesar 4,3V itu pada frekuensi 600KHz. Untuk pengaturan frekuensi dengan hasil tegangan maksimal itu didapatkan pada frekuensi 470KHz dan 480KHz. Lihat Tabel 3.

4. 3. Pengujian pengaruh jumlah lilitan kawat kumparan

Hasil pengujian dengan jumlah lilitan berbeda dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Transfer Daya dengan jumlah lilitan 13x

AWG 0,5mm				
Jumlah Lilitan 13 ×				
Jarak (cm)	Vunregulat or (Volt)	Vregulator (Volt)	Daya	Lampu
1	5,8	2,1	44,1 mW	Terang
1,5	4,4	1,8	32,4 mW	Terang
2	3,4	1	10 mW	Redup
2,5	2,8	0,07	49 uW	Mati
3	2,6	0,01	1 uW	Mati
3,5	2,4	0	0	Mati
4	2	0	0	Mati
4,5	1,6	0	0	Mati
5	1,2	0	0	Mati

Tabel 4. Hasil Pengukuran Transfer Daya dengan jumlah lilitan 26x

AWG 0,5mm				
Jumlah Lilitan 26×				
Jarak (cm)	V _{unregulator} (Volt)	V _{regulator} (volt)	Daya	Lampu
1	7,3	2,7	72,9 mW	Terang
1,5	6,2	2	40 mW	Terang
2	4,7	1,5	22,5 mW	Terang
2,5	3,4	0,4	1,6 mW	Redup
3	2,9	0,05	25 uW	Mati
3,5	2,5	0	0	Mati
4	2	0	0	Mati
4,5	1,6	0	0	Mati
5	1,2	0	0	Mati

Dari kedua hasil percobaan pada Tabel 4 dan 5 didapatkan hasil tegangan maksimal sebesar 2,7 V dan daya yang didapatkan sebesar 72,9 mW dengan menggunakan jumlah lilitan 26× pada jarak 1 cm. Untuk percobaan pertama (jumlah lilitan 13×) kondisi lampu pada saat 2 cm sudah mulai meredup sedangkan pada percobaan kedua (jumlah lilitan 26×) kondisi lampu mulai meredup pada jarak 2,5 cm. Jadi semakin banyak jumlah lilitan maka semakin optimal transfer daya yang dihasilkan.

Selanjutnya dengan menggunakan lilitan 26x diukur efisiensi rangkaian dalam mentransfer daya. Hasil pengukuran dan perhitungan efisiensi dapat dilihat pada Tabel 5.

Simulasi Perubahan Frekuensi Akibat Perubahan Beban Untuk Prediksi Waktu Kestabilan pada Sistem Tenaga Listrik Dua Area

Arief Goeritno^{1*}, Wishnu Kurniawan Soekarna²

1. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jalan K.H. Sholeh Iskandar km.2, Kedung Badak, Tanah Sareal, Kota Bogor 16164, Indonesia.
Email: arief.goeritno@ft.uika-bogor.ac.id

2. CV. ARAFAH

Jalan Sidomulyo RT03/RW21, Cemani Grogol, Sukoharjo, Jawa Tengah 57552
Telepon/Faksimili: +622518380993; Mobilephone: +6281808630130
Email: nuks1980@gmail.com

Abstrak – Telah dilakukan simulasi untuk prediksi waktu kestabilan pada sistem tenaga listrik dua area, melalui penentuan sejumlah parameter dan pemberian nilai-nilai asumsi. Sejumlah parameter meliputi pengaturan kecepatan, koefisien beban karena sensitivitas terhadap frekuensi, konstanta inersia, tetapan waktu governor, tetapan waktu turbin, daya dasar bersama (common base) untuk masing-masing area dengan nilai-nilai asumsi dipilih, dan perubahan beban (load change) dengan nilai 187,5 MW, 180 MW, dan 160 MW. Nilai perubahan beban dan parameter disubstitusikan terhadap sejumlah persamaan untuk perolehan hasil penghitungan dengan cara manual. Berdasarkan hasil penghitungan, dibuat pemrograman berbantuan Simulink berupa algoritma bentuk grafis dengan dua pilihan, tanpa area control error (ACE) atau dengan ACE. Sejumlah persamaan dan hasil algoritma secara grafis berdasarkan Simulink, dibuat algoritma dan penulisan sintaks berbasis aplikasi MATLAB. Pilihan algoritma dalam bentuk diagram alir (flowchart) dengan metode iterasi. Penentuan sintaks didasarkan kepada penggunaan aplikasi MATLAB. Tampilan sebelum dilakukan perhitungan dengan bantuan program dan simulasi berupa (1) hasil perhitungan, (2) simulasi berbantuan diagram blok dalam Simulink tanpa ACE, dan (3) simulasi diagram blok dalam Simulink dengan ACE. Pengeksekusian program untuk perolehan hasil simulasi berupa teks dan bentuk kurva. Penggunaan ACE (berupa kompensator integral dan gain) berpengaruh terhadap kecepatan peniadaan nilai deviasi frekuensi terhadap nilai frekuensi sistem untuk kedua area, yaitu sebesar tiga kali lebih cepat, jika dibandingkan dengan tanpa penggunaan ACE. Pengontrol integral berfungsi sebagai penghasil respon (tanggapan) sistem dengan kesalahan keadaan tunak sama dengan nol (error saat Steady State = 0).

Kata kunci: perubahan frekuensi akibat perubahan beban, prediksi sonal computer, automation, future trends, smart systems

1 Pendahuluan

Kondisi sistem tenaga listrik yang benar-benar mantap sebenarnya tidak pernah ada, karena perubahan beban selalu terjadi setiap saat dalam sistem tenaga listrik. Perubahan beban bermakna penambahan atau pengurangan beban [1]. Perubahan beban yang berakibat kepada perubahan frekuensi

pada sistem tenaga listrik dikategorikan dalam stabilitas keadaan tunak (*steady state*) atau kestabilan sinyal kecil (*small signal stability*) [2], sehingga dapat dilakukan dengan pendekatan model linear [2-6]. Stabilitas *steady state* merupakan sebuah fungsi dari kondisi operasi, sehingga dapat didefinisikan sebagai sebuah keterjagaan untuk kondisi sinkronisasi sesuai kemampuan sistem tenaga listrik yang

terjadi diantara mesin-mesin dalam sistem dan saluran eksternal, apabila terjadi perubahan beban baik secara normal atau lambat [1,4,5].

Pengamatan secara langsung terhadap fenomena perubahan beban, hanya dapat dilakukan pada pusat-pusat pembangkitan atau pengendali beban [7]. Penggunaan model matematis, penentuan algoritma, penyusunan sintaks, dan penggunaan aplikasi komputer dapat digunakan untuk simulasi fenomena perubahan beban [4,5]. Aplikasi *Matrix Laboratory* atau lebih dikenal dengan *MATLAB* [8,9] dapat digunakan untuk keperluan simulasi dengan pendekatan model linear. Aplikasi berbasis *MATLAB* untuk simulasi fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan beban yang diimplementasikan terhadap sistem tenaga listrik 2 area [5]. Sistem tenaga listrik dua area merupakan bentuk analogi multi area yang disederhanakan, karena keberadaan saluran ikat (*tie line*) sebagai penghubung antar area [5].

Berdasarkan latar belakang tersebut, dibuat algoritma, struktur sintaks, dan pengekskusi terhadap hasil pembuatan program dengan bantuan *Simulink* [10] dan aplikasi berbasis *MATLAB* [8,9] sesuai tujuan penelitian yang meliputi: (1) memperoleh hasil penghitungan secara manual berbantuan sejumlah persamaan; (2) memperoleh pemrograman yang meliputi (a) pemrograman berbantuan *Simulink* untuk keberadaan fenomena secara grafik pada perubahan frekuensi akibat perubahan beban tanpa dan dengan *area control error (ACE)*, (b) pemrograman berbasis aplikasi *MATLAB*, melalui pembauatan algoritma dan susunan sintaks, dan (c) hasil perhitungan berdasarkan program berbasis aplikasi *MATLAB*; (3) memperoleh perbandingan antara hasil penghitungan secara manual dan perhitungan dengan program berbasis aplikasi *MATLAB*; dan (4) memperoleh hasil fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan beban melalui dua pilihan (tanpa dan dengan *ACE*) dengan simulasi kondisi perubahan beban.

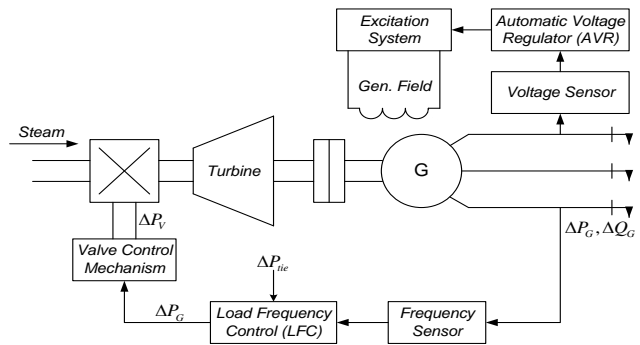
2 Dasar Teori

2.1. Pengontrolan Sistem Satu Area

Sejumlah model digunakan sebagai permodelan matematis untuk implementasi pengontrolan frekuensi maupun tegangan pada generator sinkron. Model-model pada pengontrolan frekuensi [5], meliputi model generator (*generator model*), model beban (*load model*), model penggerak mula (*prime mover model*), dan model governor (*governor model*). Semua model yang ada dijadikan suatu model pengontrolan terhadap frekuensi beban atau *Load Frequency Control (LFC)*. Model-model pada pengontrolan tegangan [5], meliputi model amplifier (*amplifier model*), model eksiter (*exciter model*), model generator (*generator model*), dan model sensor (*sensor model*). Semua model yang ada dijadikan suatu model pengontrolan terhadap tegangan atau *Automatic Voltage Regulator (AVR)*. Untuk penghitungan

keluaran (*output*) dalam bentuk nilai frekuensi dan tegangan akibat perubahan beban dapat dilakukan melalui perhitungan analitik secara manual, sehingga perolehan hasil dapat dibandingkan terhadap hasil penghitungan dengan bantuan komputer, melalui penggunaan bahasa pemrograman.

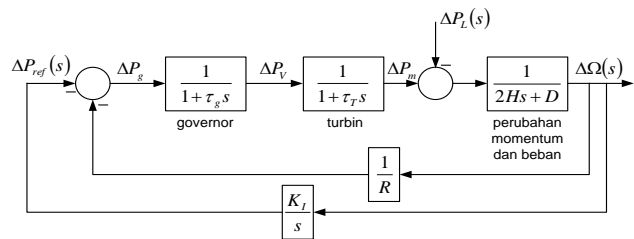
Diagram skematis pengontrolan frekuensi dan tegangan pada generator sinkron [5], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram skematis pengontrolan frekuensi dan tegangan pada generator sinkron

Berdasarkan Gambar 1 ditunjukkan, bahwa diagram skema tersebut dikenal dengan nama bagian dari pengontrolan pembangkitan secara otomatis atau *Automatic Generation Control (AGC)*. Untuk struktur sistem dengan interkoneksi, AGC berperan sebagai pembagi beban antar sistem, pembangkit, dan generator, agar diperoleh capaian hasil yang ekonomis, ketepatan pengaturan pertukaran jadwal daya pada hubungan jaringan, disamping untuk perawatan keseragaman frekuensi yang layak.

Diagram blok sistem satu area dengan pengontrolan otomatis terhadap frekuensi beban [5,4], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

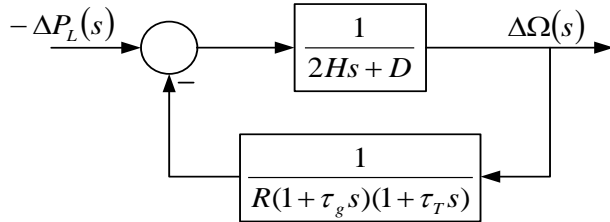


Gambar 2. Diagram blok sistem satu area dengan pengontrolan otomatis terhadap frekuensi beban

Berdasarkan Gambar 2 ditunjukkan, bahwa fungsi alih sistem kontrol *loop* tertutup diperoleh persamaan [5], seperti persamaan (1).

$$\frac{\Delta\Omega(s)}{-P_L(s)} = \frac{s(1 + \tau_g s)(1 + \tau_T s)}{s(2H_s + D)(1 + \tau_g s)(1 + \tau_T s) + K + \frac{s}{R}} \quad (1)$$

Penyederhanaan terhadap diagram blok pada Gambar 2, dengan masukan (*input*) hanya dari ΔP_L , maka diperoleh diagram blok dengan struktur baru [5]. Diagram blok ekuivalen sistem satu area dengan pengontrolan otomatis terhadap frekuensi beban [5], seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok ekuivalen sistem satu area dengan pengontrolan otomatis terhadap frekuensi beban

Perubahan merupakan sebuah masukan dengan $\Delta P_L(s) = \frac{\Delta P_L}{s}$ [5]. Berdasarkan teorema nilai akhir, nilai *steady-state* dari $\Delta\omega$ diperoleh [5] melalui persamaan (2):

$$\Delta\omega_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s \Delta\Omega(s) = (-\Delta P_L) \frac{1}{D + 1/R} \quad (2).$$

Untuk kondisi dimana nilai $D = 0$ [5], maka persamaan (2) berubah menjadi persamaan (3).

$$\Delta\omega_{ss} = (-\Delta P_L) R \quad (3),$$

sehingga nilai perubahan frekuensi seperti persamaan (4).

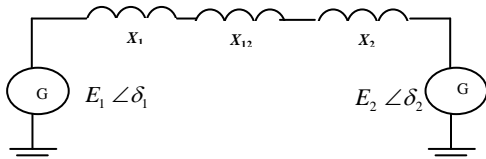
$$\Delta f = f_0 \cdot \Delta\omega \quad (4),$$

maka dapat diperoleh nilai frekuensi kondisi baru (5) melalui persamaan (5).

$$f = f_0 \cdot \Delta f \quad (5).$$

2.2. Pengontrolan Sistem Dua Area

Sistem tenaga listrik untuk keterwakilan dua area, dapat diasumsikan dengan penggabungan satu area dan diperhitungkan nilai reaktans saluran transmisi (X_{tie}). Setiap area direpresentasikan dengan sebuah sumber tegangan dan sebuah reaktans ekuivalen. Diagram skematis rangkaian ekuivalen sistem tenaga listrik dengan dua area [5], seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian ekuivalen sistem tenaga listrik dengan dua area

Pasokan daya dari *bus-1* ke *bus-2* [5] didekati dengan persamaan (2).

$$P_{12} = \frac{|E_1||E_2|}{X_{12}} \sin \delta_{12} \quad (6)$$

dengan:

P_{12} = aliran daya dari *bus-1* ke *bus-2*, [MW];

X_{12} = reaktans saluran dari *bus-1* ke *bus-2*, [ohm];

δ_{12} = beda sudut tegangan *bus-1* dan *bus-2*, [derajat listrik].

Perhitungan untuk pengontrolan frekuensi sistem dengan dua area [5], digunakan persamaan-persamaan berikut:

$$\Delta P_{12} = \frac{dP_{12}}{d\delta_{12}} \Big|_{\delta_{120}} \Delta\delta_{12} = P_s \Delta\delta_{12} \quad (7)$$

Deviasi daya saluran penghubung (*tie-line*) diberikan:

$$\Delta P_{12} = P_s (\Delta\delta_1 - \Delta\delta_2) \quad (8)$$

Saat kondisi tunak, kedua area bernilai frekuensi tunak dengan penyimpangan sama [5], yaitu:

$$\Delta\omega = \Delta\omega_1 = \Delta\omega_2 \quad (9)$$

dan

$$\Delta P_{m1} - \Delta P_{12} - \Delta P_{L1} = \Delta\omega D_1 \quad (10)$$

$$\Delta P_{m2} + \Delta P_{12} = \Delta\omega D_2 \quad (11)$$

Perubahan daya mekanis ditentukan oleh percepatan karakteristik governor [5], seperti ditunjukkan dengan persamaan (12) dan persamaan (13).

$$\Delta P_{m1} = \frac{-\Delta\omega}{R_1} \quad (12)$$

dan

$$\Delta P_{m2} = \frac{-\Delta\omega}{R_2} \quad (13)$$

Perubahan $\Delta\omega$ [5] dihitung dengan persamaan (14).

$$\Delta\omega = \frac{-\Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)} = \frac{-\Delta P_{L1}}{B_1 + B_2} \quad (14)$$

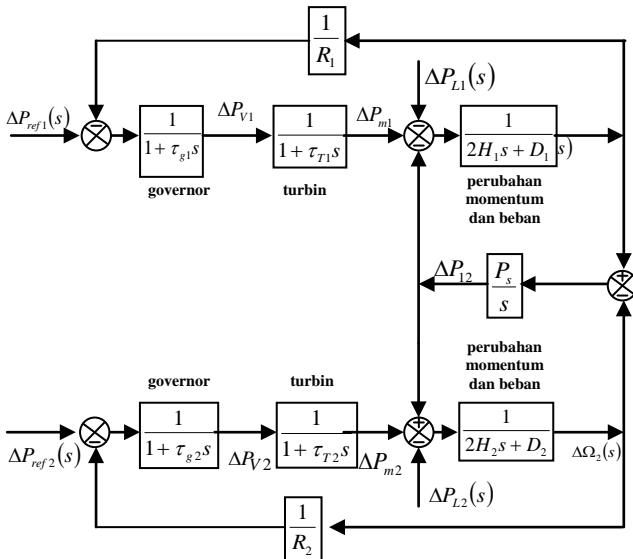
dengan:

B_1 dan B_2 = faktor penyimpangan frekuensi.

Perubahan daya pada saluran penghubung [5], dihitung dengan persamaan (15).

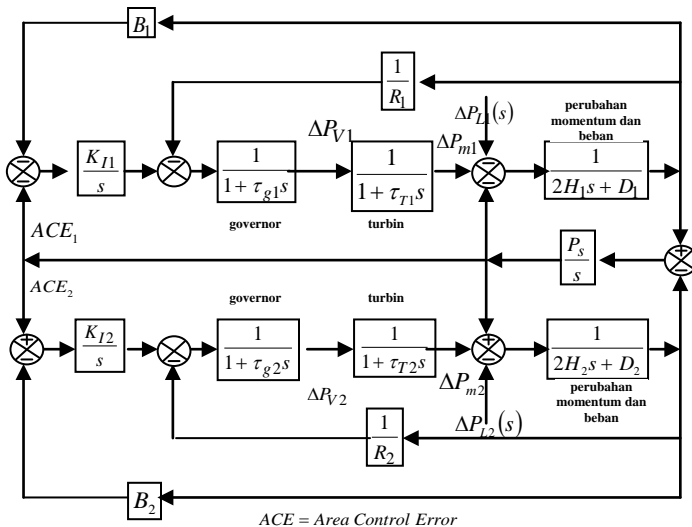
$$\Delta P_{12} = -\frac{\left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) \Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)} = \frac{B_2}{B_1 + B_2} (-\Delta P_{L1}) \quad (15)$$

langkah pelaksanaan penelitian melalui metode penelitian.



Gambar 5. Diagram blok pengendalian frekuensi dua area tidak dipengaruhi saluran penghubung

Diagram blok pengontrolan frekuensi untuk sistem tenaga listrik dengan dua area yang dipengaruhi saluran penghubung [4,5], seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram blok pengontrolan frekuensi untuk sistem tenaga listrik dengan dua area yang dipengaruhi saluran penghubung

3 Metodologi Penelitian

Untuk perolehan tujuan penelitian, diperlukan sejumlah bahan dan alat penelitian dengan sejumlah langkah-

3.1. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan penelitian berupa analogi sistem tenaga listrik dua area dengan sejumlah asumsi, aplikasi *MATLAB* dan *Simulink* [7]. Nilai-nilai asumsi untuk sejumlah parameter pada analogi sistem tenaga listrik dua area, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

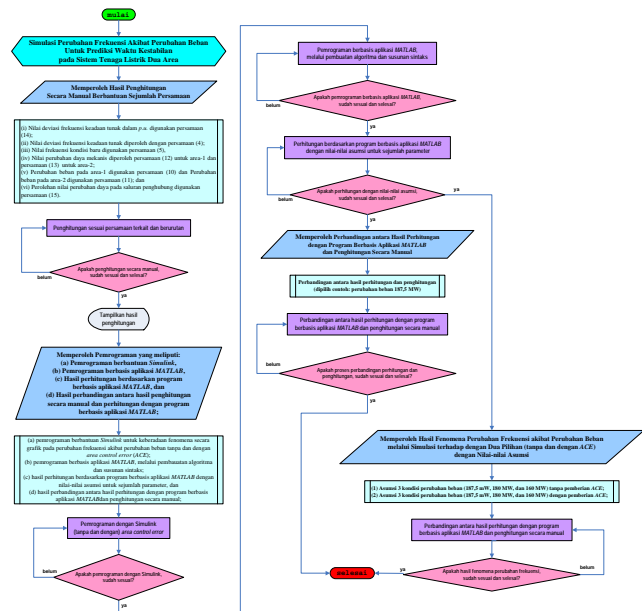
Tabel 1. Nilai-nilai asumsi untuk sejumlah parameter pada analogi sistem tenaga listrik dua area

Parameter	Area-1	Area-2
Pengaturan kecepatan, R	$R_1 = 0,05$	$R_2 = 0,0625$
Koefisien beban, karena sensitif terhadap frekuensi, D	$D_1 = 0,6$	$D_2 = 0,9$
Konstanta inersia, H	$H_1 = 5$	$H_2 = 4$
Tetapan waktu governor, τ_g	$\tau_{g1} = 0,2 \text{ s.}$	$\tau_{g2} = 0,3 \text{ s.}$
Tetapan waktu turbin, τ_T	$\tau_{T1} = 0,5 \text{ s.}$	$\tau_{T2} = 0,6 \text{ s.}$
Daya dasar bersama (<i>common base</i>)	1000 MVA	1000

Alat penelitian berupa seperangkat *laptop* dengan aplikasi untuk penghitungan dan simulasi.

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian dibuat dalam bentuk diagram alir dengan cara iterasi. Diagram alir metode penelitian, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram alir metode penelitian

4 Hasil dan Pembahasan

4.1. Penghitungan dengan Cara Manual Berbantuan Sejumlah Persamaan

Penggunaan terhadap sejumlah persamaan yang diketahui, maka perubahan beban pada area-1 dalam *p.u.*, diperoleh yaitu $\Delta P_{L1} = \frac{\text{load change}}{\text{common base}} = \frac{187,5}{1000} = 0,1875$. Nilai deviasi

frekuensi keadaan tunak dalam *p.u.* digunakan persamaan (14).

$$\Delta\omega 1 = \frac{-\Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) + \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)} = \frac{-0,1875}{\left(\frac{1}{0,05} + 0,6\right) + \left(\frac{1}{0,0625} + 0,9\right)} = \frac{-0,1875}{(20 + 0,6) + (16 + 0,9)} = \frac{-0,1875}{37,5} = -0,005$$

Nilai deviasi frekuensi keadaan tunak diperoleh dengan persamaan (4), yaitu:

$$\Delta f 1 = \Delta\omega 1 \times f_0 1 = (-0,005) \cdot (60) = -0,3 \text{ Hertz.}$$

Untuk nilai frekuensi baru digunakan persamaan (5), sehingga: $f 1 = f_0 + \Delta f 1 = 60 - 0,3 = 59,7 \text{ hertz.}$

Nilai perubahan daya mekanis diperoleh dengan penggunaan persamaan (12) untuk area-1 dan penggunaan persamaan (13) untuk area-2, sehingga:

$$\Delta P_{m1} = \frac{-\Delta\omega}{R_1} = \frac{-0,005}{0,05} = 0,1 \text{ p.u.} \quad \text{atau} \quad 100 \text{ MW} \quad \text{dan}$$

$$\Delta P_{m2} = \frac{-\Delta\omega}{R_2} = \frac{-0,005}{0,0625} = 0,080 \text{ p.u.} \quad \text{atau} \quad 80 \text{ MW.}$$

Perbandingan kedua nilai ini (100 MW dan 80 MW) didasarkan kepada pilihan nilai asumsi untuk konstanta inersia (*H*).

Berdasarkan hasil penghitungan tersebut, maka nilai daya generator pada area-1 sebesar 100 MW dan pada area-2 sebesar 80 MW dengan nilai frekuensi kondisi baru sebesar 59,7 hertz. Total pergantian daya generator sebesar 180 MW. Saat perubahan beban sebesar 187,5 MW, terdapat kekurangan daya sebesar 7,5 MW. Kekurangan daya dengan nilai frekuensi tersebut, daya generator alami penurunan. Penggunaan persamaan (10) dan (11), maka perubahan beban pada area-1 sebesar $\Delta\omega 1 \times D_1 = (-0,005) \times (0,6) = -0,003 \text{ p.u.}$ atau -3 MW dan perubahan beban pada area-2, sebesar $\Delta\omega 1 \times D_2 = (-0,005) \times (0,9) = -0,0045 \text{ p.u.}$ atau -4,5 MW, maka total perubahan beban sebesar -7,5 MW. Perbandingan kedua nilai ini (3 MW dan 4,5 MW) didasarkan kepada pilihan nilai asumsi untuk koefisiensi beban, karena sensitif terhadap frekuensi (*D*).

Penggunaan persamaan (15) untuk perolehan nilai perubahan daya pada saluran penghubung, dengan sejumlah penghitungan:

#pertama

$$\Delta P_{12} = - \frac{\left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) \Delta P_{L1}}{\left(\frac{1}{R_1} + D_1\right) \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right)}$$

$$= \frac{-0,1875}{\left(\frac{1}{0,05} + 0,6\right) + \left(\frac{1}{0,0625} + 0,9\right)} \times \left(\frac{1}{0,0625} + 0,9\right)$$

$$= (-0,005) \times (16,9) = -0,0845 \text{ p.u.} \quad \text{atau} \quad 84,5 \text{ MW} \quad \text{atau}$$

#kedua

$$\Delta P_{12} = \Delta\omega 1 \times \left(\frac{1}{R_2} + D_2\right) = (-0,005) \times \left(\frac{1}{0,0625} + 0,9\right) = (-0,005) \times (16,9) = -0,0845 \text{ p.u.} \quad \text{atau} \quad 84,5 \text{ MW}$$

atau

#ketiga

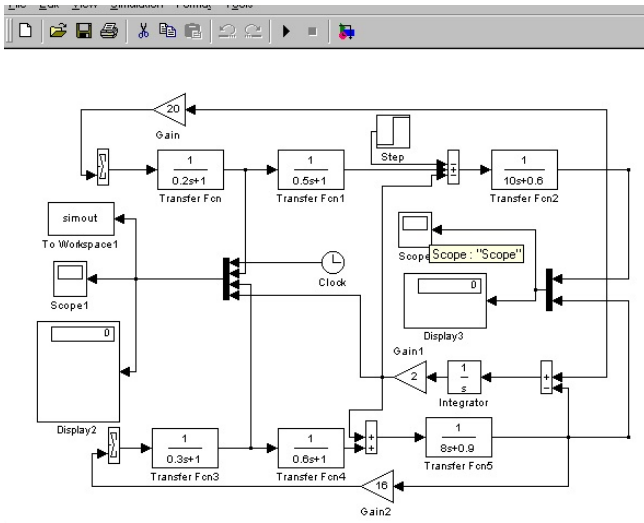
$$\Delta P_{12} = \frac{B_2}{B_1 + B_2} (-\Delta P_{L1}) = \frac{\left(\frac{1}{0,0625} + 0,9\right)}{\frac{16,9}{(20,6 + 16,9)} + \left(\frac{1}{0,0625} + 0,9\right)} \times (-0,1875) = \frac{16,9}{37,5} \times (-0,1875) = -0,0845 \text{ p.u.} \quad \text{atau} \quad -84,5 \text{ MW.}$$

Nilai 84,5 MW adalah nilai aliran daya dari area-2 ke area-1 sebesar 80 MW dan terdapat penambahan pada area-2 sebesar 4,5 MW yang diperoleh dari hasil reduksi daya di area-2 pada saat terjadi penurunan nilai frekuensi. Dapat dilakukan cara yang sama untuk untuk kondisi perubahan daya beban sebesar 180 MW dan 160 W.

4.2 Pemrograman

4.2.1 Pemrograman berbantuan Simulink

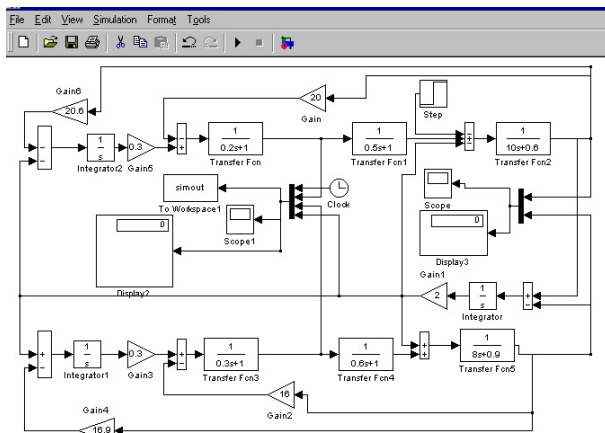
Pemrograman berbantuan *Simulink* merupakan pembuatan algoritma secara grafis. Untuk simulasi perubahan frekuensi akibat perubahan beban dibuat untuk sejumlah kondisi perubahan beban, yaitu pada nilai 187,5 MW, 180 MW, dan 160 MW. Diagram blok pengontrolan dibuat tanpa pemberian *area control error* dan dengan pemberian *area control error*. *Area Control Error* berupa kompensator bentuk integral dan penguatan (*gain*). Pembuatan pemrograman dengan algoritma grafis berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6. Diagram skematis algoritma secara grafis berbantuan *Simulink* untuk simulasi fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan tanpa pemberian *area control error*, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram skematis algoritma secara grafis berbantuan Simulink untuk simulasi fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan beban tanpa pemberian area control error

Berdasarkan Gambar 8 ditunjukkan, bahwa dibuat diagram sejenis untuk sejumlah nilai asumsi untuk perubahan beban sebagai nilai asumsi, yaitu 187,5 MW, 180 MW, dan 160 MW.

Diagram skematis algoritma secara grafis berbantuan Simulink untuk simulasi fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan dengan pemberian area control error, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 9. Diagram skematis algoritma secara grafis berbantuan Simulink untuk simulasi fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan dengan pemberian area control error

Berdasarkan Gambar 9 ditunjukkan, bahwa dibuat diagram sejenis untuk sejumlah nilai asumsi untuk perubahan beban sebagai nilai asumsi, yaitu 187,5 MW, 180 MW, dan 160 MW.

4.2.2 Pemrograman berbasis aplikasi MATLAB

Pemrograman berbantuan aplikasi selalu diawali dengan pembuatan algoritma dan diikuti penyusunan sintaks. Untuk pemrograman berbasis MATLAB, pembuatan algoritma dapat dilakukan secara bersama-sama saat pembuatan sintaks. Susunan sintaks untuk simulasi fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan beban di sistem tenaga listrik dua area, seperti ditunjukkan susunan berikut.

```
%DATA PADA AREA SATU%
R1=input('masukkan pengaturan kec., R1= ')
D1=input('masukkan koef.beban.krn.sens.thdp.frek., D1= ')
H1=input('masukkan konst. inersia, H1= ')
TG1=input('masukkan tetapan waktu governor, TG1= ')
TT1=input('masukkan tetapan waktu turbin, TT1= ')

%DATA PADA AREA DUA%
R2=input('masukkan pengaturan kec., R2= ')
D2=input('masukkan koef.beban.krn.sens.thdp.frek., D2= ')
H2=input('masukkan konst. inersia, H2= ')
TG2=input('masukkan tetapan waktu governor, TG2= ')
TT2=input('masukkan tetapan waktu turbin, TT2= ')

%DATA TETAP%
F0 = 60           %frekuensi standar
BP = 1000         %base MVA
LC1=187.5        %load change 1
LC2=180          %load change 2
LC3=160          %load change 3

MENU1=menu('PENGONTROLAN FREKUENSI DI STL 2 AREA DENGAN LOAD
CHANGE',...

        '(1)HASIL PERHITUNGAN BERBASIS APLIKASI
MATLAB',...

        '(2)SIMULASI BERBASIS SIMULINK TANPA ACE',...
        '(3)SIMULASI BERBASIS SIMULINK DGN ACE')
```

```
if MENU1==1
%perubahan beban pada area 1 dalam p.u.%
deltaPL1=LC1/BP
%deviasi frekuensi keadaan tunak dalam p.u.%
deltaOmegal=-deltaPL1/(((1/R1)+D1)+((1/R2)+D2))
%deviasi frekuensi keadaan tunak%
deltafrekuensi1=deltaOmegal*F0

%nilai frekuensi kondisi baru%
F1=F0+deltafrekuensi1

%perubahan daya mekanis area-1%
deltaPm1=-deltaOmegal/R1
deltaPm11=deltaPm1*1000
%perubahan daya mekanis area-2%
deltaPm2=-deltaOmegal/R2
deltaPm21=deltaPm2*1000

%pada area-1 dihasilkan .... MW dan area-2 .... MW, dan%
%frekuensi kondisi baru sbkr .... hertz. Total dari 2 generator,
sbkr .... MW,%
%sedangkan seharusnya .... MW, maka kekurangan sbkr .... MW,%
%karena pada area beban alami drop tegangan%
%perubahan beban pada area-1%
Jt1=deltaOmegal*D1
Jt11=Jt1*1000
%perubahan beban pada area-2%
Jt2=deltaOmegal*D2
Jt21=Jt2*1000
%daya pd jaringan penghubung%
deltaP121=(-deltaPL1/(((1/R1)+D1)+((1/R2)+D2)))*((1/R2)+D2))
deltaP12=deltaP121*1000
%atau%
delta.P121=deltaOmegal*((1/R2)+D2)
delta.P12=delta.P121*1000
%atau%
B1=((1/R1)+D1)
B2=((1/R2)+D2)
delta_P121=((B2/(B1+B2))*(-deltaPL1))
delta_P12=delta_P121*1000
% maka aliran dari area-2 ke area-1 sbkr .... MW,%
% dgn .... MW dari penambahan pd area-2,%
% dan .... MW reduksi di area-2, krn jatuh frekuensi%
else if MENU1==2
open('AGSD1.mdl')
pause
sim('AGSD1')
else if MENU1==3
open('AGSD2.mdl')
pause
sim('AGSD2')
end
end
end
pause
```

```

MENU2=menu('PENGONTROLAN FREKUENSI DI STL 2 AREA DENGAN LOAD
CHANGE',...
            '(1)HASIL PERHITUNGAN BERBASIS APLIKASI
MATLAB',...
            '(2)SIMULASI BERBASIS SIMULINK TANPA ACE',...
            '(3)SIMULASI BERBASIS SIMULINK DGN ACE')

if MENU2==1
%perubahan beban pada area-1 dalam p.u.%
deltaPL1=LC2/BP

%deviasi frekuensi keadaan tunak dalam p.u.%
deltaOmegal=-deltaPL1/(((1/R1)+D1)+((1/R2)+D2))

%deviasi frekuensi keadaan tunak%
deltafrekuensil=deltaOmegal*F0

%nilai frekuensi kondisi baru%
F1=F0+deltafrekuensil

%perubahan daya mekanis area-1%
deltaPm1=-deltaOmegal/R1
deltaPm11=deltaPm1*1000
%perubahan daya mekanis area-2%
deltaPm2=-deltaOmegal/R2
deltaPm21=deltaPm2*1000

%pada area-1 dihasilkan ..... MW dan area-2 ..... MW, dan%
%frekuensi kondisi baru sbsr ..... hertz. Total dari 2 generator,
sbsr ..... MW,%
%sedangkan seharusnya ..... MW, maka kekurangan sbsr ..... MW,%
%karena pada area beban alami drop tegangan%

%perubahan beban pada area-1%
Jt1=deltaOmegal*D1
Jt11=Jt1*1000
%Perubahan beban pada area 2%
Jt2=deltaOmegal*D2
Jt21=Jt2*1000
%Jarinngan ikat daya%
deltaP121=(-deltaPL1/(((1/R1)+D1)+((1/R2)+D2)))*((1/R2)+D2))
deltaP12=deltaP121*1000
%atau%
delta.P121=deltaOmegal*((1/R2)+D2)
delta.P12=delta.P121*1000
%atau%
B1=((1/R1)+D1)
B2=((1/R2)+D2)
delta_P121=((B2/(B1+B2))*(-deltaPL1))
delta_P12=delta_P121*1000

%make aliran daya dari area-2 ke area-1 sbsr ..... MW.%
%dengan ..... MW dari penambahan pada area-2,%
%dan ..... MW dari reduksi di area-2 karena dayadue terhadap jatuh
frekuensi%
else if MENU3==2
    open ('AGSD5.mdl')
    pause
    sim ('AGSD5')
else if MENU3==3
    open ('AGSD6.mdl')
    pause
    sim ('AGSD6')
end
end
end
MENU4=menu('"Apakah keluar dari program MATLAB?"',...
            '(1) YA',...
            '(2) TIDAK')

if MENU4==1
    quit
else if MENU4==2
    close_system ('AGSD1');
    close_system ('AGSD2');
    close_system ('AGSD3');
    close_system ('AGSD4');
    close_system ('AGSD5');
    close_system ('AGSD6');
end
end

Struktur sintaks tersebut, dieksekusi pada aplikasi
MATLAB, sehingga tertampilkan pada Command Window
aplikasi untuk dilakukan substitusi sejumlah nilai-nilai asumsi
untuk sejumlah parameter seperti ditunjukkan pada Tabel 1.
Tampilan setelah dilakukan substitusi diperoleh informasi,
yaitu

masukkan pengaturan kec., R1= 0.05
R1 =
    0.0500
masukkan koef.beban.krn.sens.thdp.frek., D1= 0.6
D1 =
    0.6000
masukkan konst. inersia, H1= 5
H1 =
    5
masukkan tetapan waktu governor, TG1= 0.2
TG1 =
    0.2000
masukkan tetapan waktu turbin, TT1= 0.5
TT1 =
    0.5000
masukkan pengaturan kec., R2= 0.0625
R2 =
    0.0625
masukkan koef.beban.krn.sens.thdp.frek., D2= 0.9
D2 =
    0.9000
masukkan konst. inersia, H2= 4
H2 =
    4
masukkan tetapan waktu governor, TG2= 0.3
TG2 =

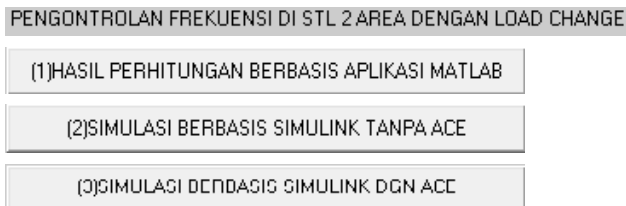
```

```

0.3000
masukkan tetapan waktu turbin, TT2= 0.6
TT2 =
0.6000
F0 =
60
BP =
1000
LC1 =
187.5000
LC2 =
180
LC3 =
160.

```

Selain hal tersebut, juga ditampilkan bentuk *dashboard*. Tampilan bentuk *dashboard*, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan bentuk dashboard

Berdasarkan Gambar 10 ditunjukkan, bahwa untuk perhitungan berbantuan program berbasis aplikasi MATLAB, maka dipilih (1) HASIL PERHITUNGAN BERBASIS APLIKASI MATLAB.

4.2.3 Perhitungan berbantuan program berbasis aplikasi MATLAB

Pilihan terhadap (1) HASIL PERHITUNGAN BERBASIS APLIKASI MATLAB, diperoleh

```

MENU1 =
1
deltaP11 =
0.1875
deltaOmega1 =
-0.0050
deltafrekuensi1 =
-0.2500
F1 =
49.7500
deltaPm1 =
0.1000
deltaPm11 =
100.0000
deltaPm2 =
0.0800
deltaPm21 =
80
Jt1 =
-0.0030
Jt11 =
-3
Jt2 =
-0.0045
Jt21 =
-4.5000
deltaP121 =
-0.0845
deltaP12 =
-84.5000
delta =
P121: -0.0845
delta =
P121: -0.0845
P12: -84.5000
B1 =
20.6000
B2 =
16.9000
delta_P121 =

```

```

-0.0845
delta_P12 =
-84.5000

```

4.3. Perbandingan antara Hasil Perhitungan dengan Berbasis Aplikasi MATLAB dan Hasil Penghitungan dengan Cara Manual

Hasil perhitungan berbantuan aplikasi MATLAB dibandingkan terhadap hasil penghitungan secara manual untuk kondisi tiga asumsi nilai perubahan beban sebesar 187,5 MW, 180 MW, dan 160 MW. Tertampilkan pada makalah ini diwakili oleh perubahan beban dengan nilai asumsi sebesar 187,5 MW. Hasil diperoleh ditunjukkan, bahwa terdapat kesamaan (tidak terdapat perbedaan) antara kedua penghitungan, sehingga pembuatan program berbasis aplikasi *MATLAB* telah memenuhi secara algoritma dan sintaks, sehingga dalam hal nilai daya generator pada area-1 sebesar 100 MW dan pada area-2 sebesar 80 MW dengan nilai frekuensi kondisi baru sebesar 59,7 hertz, total pergantian daya generator sebesar 180 MW. Saat perubahan beban sebesar 187,5 MW, terdapat kekurangan daya sebesar 7,5 MW yang dialami generator, sehingga terdapat penurunan frekuensi sebesar 0,3 hertz dan terjadi penurunan daya pada area-1 sebesar 3 MW dan di area-2 sebesar 4,5 MW.

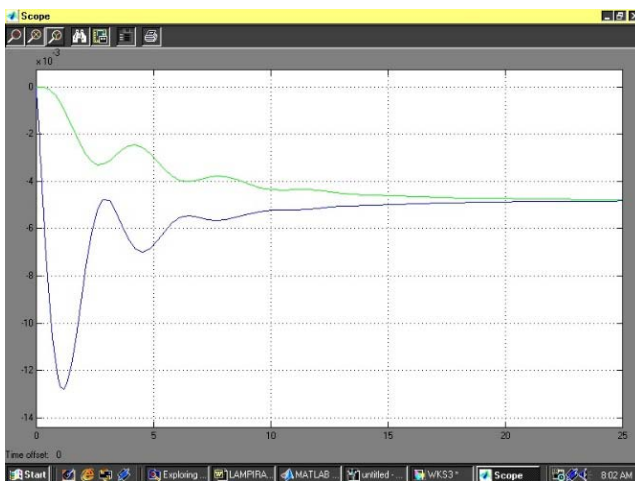
Perolehan nilai perubahan daya pada saluran penghubung sebesar 84,5 MW, adalah nilai aliran daya dari area-2 ke area-1 sebesar 80 MW dan terdapat penambahan pada area-2 sebesar 4,5 MW yang diperoleh dari hasil reduksi daya di area-2 pada saat terjadi penurunan nilai frekuensi.

4.4. Simulasi Fenomena Perubahan Frekuensi Akibat Perubahan Beban

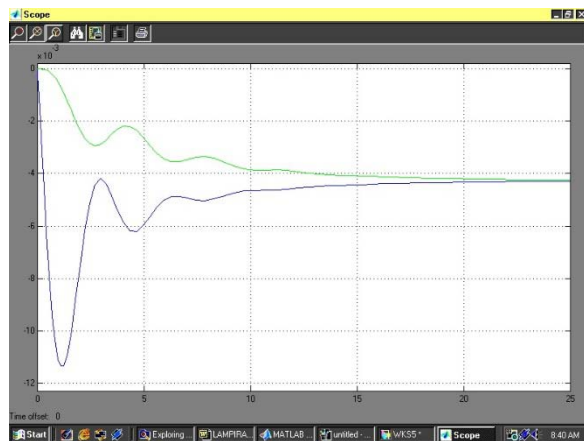
Simulasi fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan beban dilakukan berbantuan *Simulink*. Simulasi didasarkan kepada diagram skematis pada Gambar 8 dan Gambar 9 untuk tiga kondisi/besar nilai perubahan beban. Tampilan perubahan nilai deviasi frekuensi terhadap perubahan waktu hasil simulasi perubahan frekuensi akibat perubahan beban berbantuan *Simulink* tanpa *area control error*, seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



(a) Perubahan beban 187,5 MVA



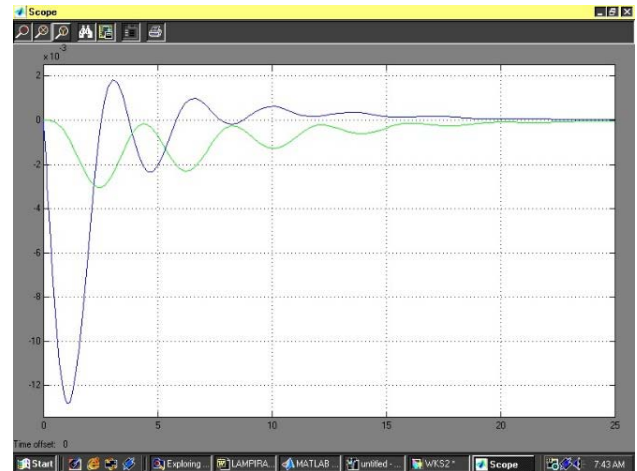
(b) Perubahan beban 180 MVA



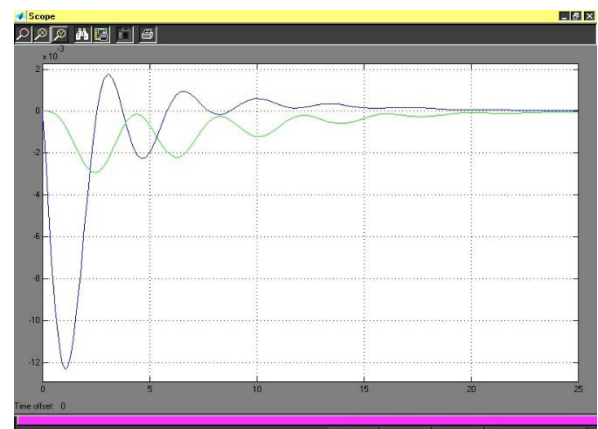
(c) Perubahan beban 160 MVA

Gambar 11. Tampilan perubahan nilai deviasi frekuensi terhadap perubahan waktu hasil simulasi perubahan frekuensi akibat perubahan beban berbantuan Simulink tanpa area control error

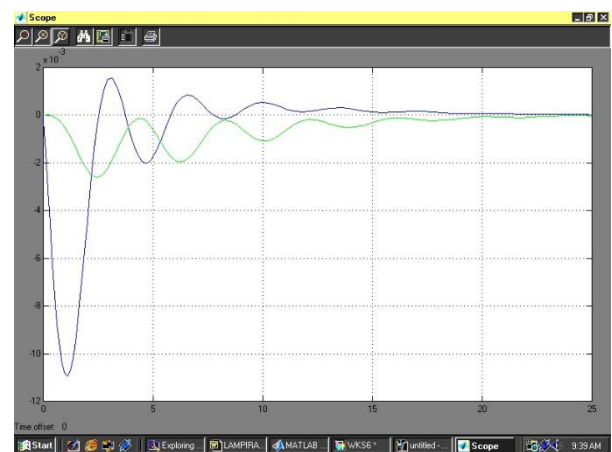
Tampilan perubahan nilai deviasi frekuensi terhadap perubahan waktu hasil simulasi perubahan frekuensi akibat perubahan beban berbantuan Simulink dengan area control error, seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



(a) Perubahan beban 187,5 MVA



(b) Perubahan beban 180 MVA



(c) Perubahan beban 160 MVA

Gambar 12 Tampilan perubahan nilai deviasi frekuensi terhadap perubahan waktu hasil simulasi perubahan frekuensi akibat perubahan beban berbantuan Simulink dengan area control error

Berdasarkan Gambar 11 dan Gambar 12 ditunjukkan, bahwa penerapan *ACE* berpengaruh terhadap kecepatan peniadaan nilai deviasi frekuensi terhadap nilai frekuensi sistem untuk kedua area.

Perubahan beban sesungguhnya dapat berpengaruh terhadap kedua mekanisme pengontrolan, baik frekuensi maupun tegangan. Berkenaan dengan simulasi ini hanya terhadap perubahan daya *real*, maka nilai perubahan tegangan tidak dianggap berpengaruh dalam perhitungan manual maupun perhitungan dengan berbasis aplikasi komputer.

5 Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka ditarik simpulan sesuai tujuan penelitian.

- (1) Penghitungan secara manual simulasi fenomena perubahan frekuensi akibat perubahan beban dilakukan dengan penggunaan sejumlah persamaan, parameter, nilai asumsi. Hasil simulasi dengan nilai asumsi perubahan beban sebesar 187,5 MW ditunjukkan, bahwa perubahan beban tersebut dipasok dari mesin area-1 sebesar 100 MW dan dari mesin area-2 sebesar 80 MW. Perbandingan kedua nilai ini (100 MW dan 80 MW) didasarkan kepada pilihan nilai asumsi untuk konstanta inersia (H). Kekurangan 7,5 MW diatasi dengan pengurangan beban pada area-1 sebesar 3 MW dan area-2 sebesar 4,5 MW dengan kondisi nilai frekuensi sebesar 59,7 hertz, dari sebelumnya sebesar 60 hertz. Perbandingan kedua nilai ini (3 MW dan 4,5 MW) didasarkan kepada pilihan nilai asumsi untuk koefisiensi beban, karena sensitif terhadap frekuensi (D).
- (2) Pemrograman berbantuan *Simulink* berupa algoritma secara grafis dengan kondisi tanpa *ACE* dan dengan *ACE* yang dibuat masing-masing untuk untuk perubahan beban 187,5 MW, 180 MW, dan 160 MW. Pemrograman berbasis aplikasi *MATLAB* dibuat dengan sejumlah tahapan. Tahapan setelah eksekusi program, muncul permintaan substitusi sejumlah nilai asumsi, sehingga ditampilkan semacam "*dashboard*" berupa pilihan (i) perhitungan berbantuan program, (ii) pilihan tampilan kurva perubahan frekuensi dengan sistem tanpa *ACE*, dan (iii) pilihan tampilan kurva perubahan frekuensi dengan sistem diberi *ACE*. Pilihan terhadap perhitungan berbantuan program dihasilkan seperti hasil penghitungan secara manual. Hal itu berarti, bahwa struktur program telah sesuai dan dapat digunakan untuk simulasi

pengontrolan frekuensi pada sistem tenaga listrik dua area.

- (3) Hasil simulasi dengan program berbantuan aplikasi *MATLAB* tidak terdapat perbedaan jika dibandingkan terhadap penghitungan secara manual, dengan hasil ditampilkan untuk nilai asumsi perubahan beban 187,5 MW.
- (4) Hasil simulasi perubahan frekuensi akibat perubahan beban ditunjukkan, bahwa penggunaan *ACE* (berupa kompensator integral dan *gain*) berpengaruh terhadap kecepatan peniadaan nilai deviasi frekuensi terhadap nilai frekuensi sistem untuk kedua area, yaitu sebesar tiga kali lebih cepat, jika dibandingkan dengan tanpa penggunaan *ACE*. Pengontrol integral berfungsi sebagai penghasil respon (tanggapan) sistem dengan kesalahan keadaan tunak sama dengan nol (*error* saat *Steady State* = 0).

Kepustakaan

- [1] Elgerd, O.I., "Chapter 3 The Electric Energy System – Operational Considerations," in *Electric Energy System Theory: An Introduction*, New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd., pp. 44-64. (1971).
- [2] Xu, Z., Shao, W., Zhou C., "Power System Small Signal Stability Analysis Based on Test Signal," in 14th PSCC, Sevilla, pp. 1-8, 24-28 June 2002.
- [3] Mondal, D., Chakrabarti, A., Sengupta, A., "Chapter 1 Concepts of Small Signal Stability," in *Power System Small Signal Stability Analysis and Control*, First Edition. London: Academic Press, pp. 1-12. (2014).
- [4] Wood, A.J. and Wollengerg, B.F., "Chapter 9 Control of Generation," in *Power Generation, Operation, and Control*, Second Edition, New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., pp. 328-360. (1996).
- [5] Saadat, H., "Chapter 12 Power System Control," in *Power System Analysis*. New York, NY: WCB/McGraw-Hill, pp. 527-580. (1999).
- [6] Chompoobutrgool, Y., "Concepts for Power System Small Signal Stability Analysis and Feedback Control Design Considering Synchrophasor Measurements," MS Thesis, KTH School of Electrical Engineering, Stockholm, 2012.
- [7] Bevrani, H., Watanabe, M., Mitan, Y., "Chapter 1 An Introduction On Power System Monitoring," In *Power System Monitoring And Control*, 1st Edition. Hoboken, Nj: John Wiley & Sons, Inc., Pp. 1-4. (2014).
- [8] Dukkupati, R.V., *Analysis and Design of Control Systems Using MATLAB*, 1st Edition. New Delhi: New Age International, pp. 125-241. (2006).
- [9] Moysis, L., Tsiaousis, M., Charalampidis, N., Eliadou, M., Kafetzis, I., *An Introduction to Control Theory Applications with Matlab*, pp. 25-38. (2015). [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/281374146_An_Introduction_to_Control_Theory_Applications_with_Matlab
- [10] Omari, S., Bloesch, M., *MATLAB Control Systems Toolbox Compendium*, Zürich: ETH (Eidgenössische Technische Hochschule, Swiss Federal Institute of Technology) Zürich, pp. 55-74. (October 26, 2007).

Perancangan Jaringan Akses *Fiber To The Home* (FTTH) Menggunakan Teknologi *Gigabit Passive Optical Network* (GPON): Studi Kasus Perumahan Graha Permai Ciputat

Fahmi Pahlawan*, Dwi Astuti Cahyasiwi, Kun Fayakun

Pusat Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA
Jl. Tanah Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Ps. Rebo, Jakarta Timur
Tlp. 021-8400941, 021-87782739, 87783818
E-mail : Fahmipahlawan1821@gmail.com: dwi.cahyasiwi@uhamka.ac.id;
kunfayakun@gmail.com
* Penulis Koresponden

Abstrak – Pada tugas akhir ini penulis merancang jaringan FTTH menggunakan teknologi GPON di Perumahan Graha Permai Ciputat, dimana lokasi tersebut dipilih karena adanya kebutuhan untuk melakukan modernisasi jaringan. Metode yang digunakan pada perancangan ini dengan survey lapangan dan pengambilan data pada provider yang bersangkutan, dan menggunakan software bantu berupa google earth, AutoCAD, dan optisystem. Hasil dari penelitian tugas akhir ini berdasarkan perhitungan manual didapatkan Power Link Budget sebesar $-24,8342$ dBm di downstream dan $-25,2854$ dBm di upstream, sedangkan pada simulasi sebesar $-18,864$ dBm di downstream dan $-19,316$ dBm di upstream. Parameter Rise Time Budget hanya didapatkan dari perhitungan manual sebesar $0,25102$ ns di downstream dan upstream. Sedangkan dari hasil simulasi nilai Bit Error Rate yang diperoleh adalah $1,25847 \times 10^{-67}$ pada downstream dan $1,07355 \times 10^{-111}$ pada upstream. Dari perhitungan manual dan simulasi dapat disimpulkan bahwa perancangan jaringan FTTH tersebut layak untuk diimplementasikan karena nilai – nilai parameternya masih berada pada batas maksimal standar kelayakan jaringan FTTH.

Kata kunci: FTTH, GPON, Power Link Budget, Rise Time Budget, BER.

I. Pendahuluan

Perumahan Graha Permai Ciputat termasuk kawasan perumahan yang membutuhkan akses internet dengan kecepatan tinggi dan berkualitas. Jaringan yang ada pada saat ini yaitu jaringan akses tembaga, dinilai memiliki keterbatasan dalam kapasitas *bandwidth* yang besar dengan kecepatan yang tinggi sehingga sulit untuk memenuhi kebutuhan layanan yang tidak hanya berupa suara melainkan data dan video (*triple play services*).

Untuk mengatasi persoalan tersebut fiber optik merupakan salah satu media transmisi yang memiliki kapasitas *bandwidth* yang besar. Salah satu yang sedang berkembang di Indonesia yaitu menggunakan jaringan *Fiber To The Home* (FTTH). Dimana teknologi yang digunakan dalam FTTH dikenal dengan *Gigabit Passive Optical Network* (GPON) sebagai standar perangkat dalam jaringan FTTH.

Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai perancangan jaringan FTTH menggunakan teknologi GPON di Perumahan Graha Permai Ciputat. Lokasi tersebut dipilih untuk dilakukan modernisasi jaringan untuk meningkatkan kapasitas *bandwidth* dengan memperhatikan parameter-parameter kelayakan jaringan akses yang baik seperti *power link budget*, *rise time budget* serta analisis *bit error rate*. Metode yang digunakan pada perancangan ini dengan survey lapangan dan pengambilan data pada provider yang bersangkutan untuk mengetahui jenis perangkat, jumlah perangkat dan kapasitas perangkat yang akan digunakan. Dalam perancangan ini menggunakan software bantu berupa google earth, AutoCAD, dan OptiSys.

II. Dasar Teori

2. 1. Serat Optik

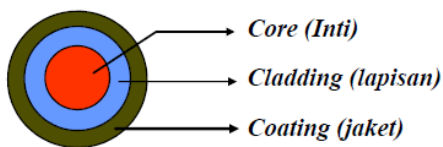
Serat optik adalah saluran transmisi atau sejenis kabel yang terbuat dari kaca atau plastik yang sangat halus dan lebih kecil dari sehelai rambut, dan dapat digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya dari suatu tempat ke tempat lain. [4].

2.1.1. Struktur Serat Optik

Serat optik secara umum terdiri atas 3 bagian, yaitu pertama bagian inti/ *Core*. Kedua, bagian *Cladding*. Bagian terakhir adalah *Coating*, bagian ini berfungsi sebagai pelindung yang terbuat dari plastik. Struktur dasar serat optik dapat dilihat pada Gambar 1.



Struktur Dasar Serat Optik



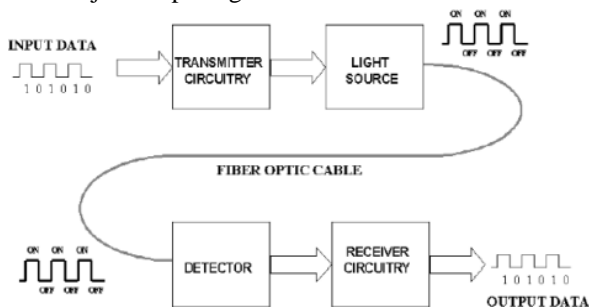
Struktur Dasar Serat Optik

Gambar1. Struktur Dasar Serat Optik [4]

Serat optik terbagi kedalam 3 jenis, yaitu *Single Mode*, *Multimode Step Index*, dan *Multimode Graded Index*.

2. 1. 2. Dasar Jaringan Lokal Akses Fiber Optik

Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf) atau *Optical Access Network* adalah sekumpulan jaringan akses yang menggunakan secara bersama suatu antarmuka jaringan dan diimplementasikan menggunakan serat optik. Pada dasarnya Jaringan Lokal Akses Fiber (Jarlokaf) terdiri dari suatu perangkat yang dapat mengubah sinyal informasi elektrik menjadi sinyal cahaya, sebuah serat optik yang membawa sinyal cahaya, dan perangkat penerima yang dapat mengubah sinyal cahaya yang telah dikirimkan menjadi sinyal listrik agar dapat dibaca perangkat user, seperti ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Blok sistem komunikasi optik

2. 1. 3. Konsep Dasar FTTH

Fiber To The Home (FTTH) merupakan suatu arsitektur JARLOKAF yang memungkinkan penarikan kabel optik sangat dekat dengan pelanggan. Perkembangan teknologi ini mulai terjadi ketika keinginan masyarakat akan layanan akses yang berkualitas. Peningkatan akan layanan *Triple Play* menjadi pemicu utama teknologi ini semakin berkembang. Jarak maksimum antara sentral dengan pelanggan berkisar 20 km. Arsitektur ini menggunakan panjang gelombang 1490 nm untuk *downstream* dan sinyal optik dengan panjang gelombang 1310 nm untuk *upstream* digunakan untuk mengirim data dan suara. Perkembangan FTTH yang begitu pesat dikarenakan FTTH memiliki beberapa kelebihan, diantaranya :

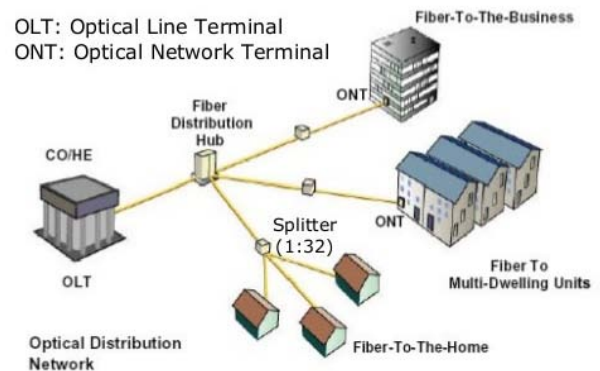
- Menyediakan *range* yang lebar untuk layanan hiburan
- Menawarkan layanan suara, video, dan data
- Merupakan jaringan yang dapat mendukung pengembangan dan peningkatan jaringan masa depan

2. 2. Gigabit Passive Optical Network (GPON)

2. 2. 1 Konsep Dasar Passive Optical Network (PON)

PON merupakan arsitektur jaringan akses *broadband* berbasis serat optik yang menggunakan perangkat pasif optik, sehingga dapat digunakan pada konfigurasi point-to-multipoint. Secara umum arsitektur jaringan PON dapat dilihat pada gambar 3 berikut.

Passive Optical Network (PON)



Gambar 3. Arsitektur PON

Dengan teknologi serat optik beberapa layanan hanya menggunakan satu saluran kabel, seperti misalnya telepon, data, dan video. Salah satu teknologi *Wavelength Division Multiplexer* (WDM) memungkinkan terjadinya beberapa layanan yang menggunakan satu jalur kabel.

2. 2. 2. Sejarah GPON

GPON merupakan evolusi dari teknologi PON. Ada pun tahapan-tahapan evolusinya adalah sebagai berikut :

1. ITU-T G.983

ITU-T G.983 merupakan teknologi PON berbasis ATM, mendukung suara dan data, efisiensi 70% dan memiliki *bandwidth* 622 Mbps, diadopsi dari standar ITU tahun 1999.

2. ITU-T G.984

ITU-T G.984 merupakan standar yang dikeluarkan oleh ITU-T untuk teknologi GPON (*Gigabit Passive Optical Network*). GPON merupakan evolusi dari standar BPON. Teknologi ini mendukung kecepatan yang besar, peningkatan dalam pengaman dan pilihan 2 layer protokol (ATM, GEM, *Ethernet*). Standar teknologi ini memperbolehkan beberapa pemilihan kecepatan, tetapi untuk industri seragam 2,488 Mbps untuk *downstream* dan 1,244 untuk *upstream*.

2. 3. Prinsip Dasar GPON

Prinsip kerja dari GPON yaitu ketika data atau sinyal dikirimkan dari OLT, maka ada bagian yang bernama *splitter* yang berfungsi untuk memungkinkan serat optik tunggal dapat mengirim ke berbagai ONT. Untuk ONT sendiri akan memberikan data – data dan sinyal yang diinginkan oleh *user*.

2. 3. 1. Komponen – komponen GPON

Komponen – komponen dalam teknologi GPON antara lain :

1. *Optical Line Termination* (OLT)
2. *Optical Distribution Network* (ODN)
3. *Optical Network Termination* (ONT)

2. 3. 2. Peramalan Demand

Peramalan *demand bandwidth* untuk masa depan merupakan perkiraan tentang sesuatu yang akan terjadi pada waktu yang akan datang yang di dasarkan pada data yang ada pada waktu sekarang dan waktu lampau (*historical data*). Dalam peramalan demand dibutuhkan data pelanggan pengguna *bandwidth* selama beberapa tahun terakhir. Terdapat beberapa bentuk *trend* untuk menganalisa suatu data. Sebagai contoh dalam metode peramalan terdapat empat bentuk umum *trend* data tersebut yaitu model linear, model kuadratik, model eksponensial, dan model kurva S.

2. 4. Parameter Kelayakan Hasil Perancangan

2. 4. 1. Power Link Budget

Power Link Budget dapat diartikan secara sederhana sebagai batasan daya terima yang diperbolehkan pada suatu *link* optik dengan memperhatikan faktor total redaman pada *link* optik yang diizinkan antara sumber cahaya dan foto detektor, yang didapatkan dari redaman kabel, redaman konektor, redaman penyambungan, dan margin sistem.

Untuk perumusan link power budget yang terdiri dari redaman total, daya yang diterima penerima, dan nilai margin sistem dapat dilihat pada persamaan (1), (2), (3).

$$\alpha_{total} = L.\alpha_{serat} + NC.\alpha_{connector} + NS.\alpha_{splitter} + SP \quad (1)$$

$$PR_x = PT_x - \alpha_{tot} - SM \quad (2)$$

$$M = (P_t - P_r) - \alpha_{total} - SM \quad (3)$$

2. 4. 2. Rise Time Budget

Rise time budget merupakan metode untuk menentukan batasan dispersi suatu link serat optik. Metode

ini sangat berguna untuk menganalisa sistem transmisi digital. Tujuan dari metode ini adalah untuk menganalisa apakah unjuk kerja jaringan secara keseluruhan telah tercapai dan mampu memenuhi kapasitas kanal yang diinginkan. Umumnya degradasi total waktu transisi dari *link* digital tidak melebihi 70 persen dari satu periode bit NRZ (*Non-return-to-zero*) atau 35 persen dari satu periode bit untuk data RZ (*return-to-zero*). Satu periode bit didefinisikan sebagai resiprok dari *data rate*. Menghitung *Rise Time Budget*:

$$T_{total}$$

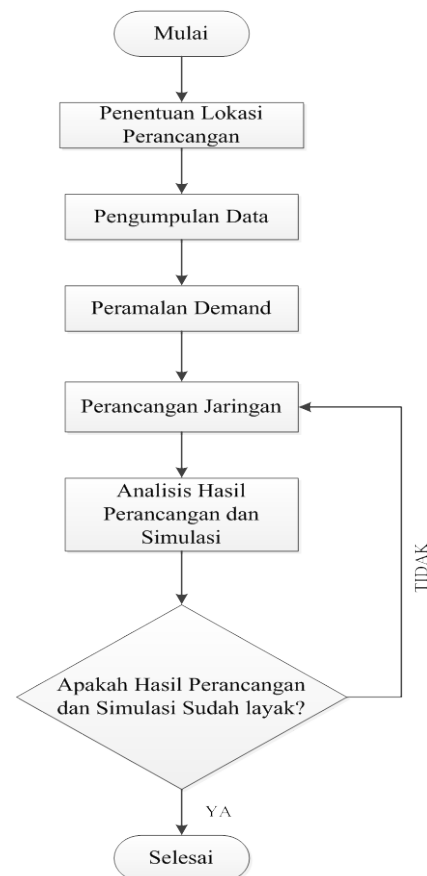
$$= \sqrt{(T_{tx}^2 + T_{intra-modal}^2 + T_{inter-modal}^2 + T_{rx}^2)} \quad (4)$$

2. 4. 3. Bit Error Rate

Bit error rate merupakan laju kesalahan bit yang terjadi dalam mentransmisikan sinyal digital. Sensitivitas merupakan daya optik minimum dari sinyal yang datang pada bit error rate yang dibutuhkan. BER untuk sistem komunikasi optik sebesar 10^{-9} .

III. Perancangan Jaringan

3. 1. Diagram Alir



Gambar 4. Diagram Alir Perancangan

3. 2. Lokasi Perancangan

Lokasi perancangan untuk tugas akhir ini adalah perumahan Graha Permai Ciputat yang berada di Jalan Ki

Hajar Dewantoro, Tangerang Selatan. Lokasi Perancangan ini berada di $6^{\circ}17'44.25''S$ dan $106^{\circ}44'12.20''T$. Perumahan Graha Permai Ciputat termasuk cakupan STO Telkom Ciputat. Dari STO ini rute kabel yang diarahkan menuju lokasi pelanggan akan didistribusikan menggunakan kabel *feeder* menuju ke *Optical Distribution Cabinet* (ODC). Lokasi tersebut dipilih untuk dilakukan modernisasi jaringan untuk meningkatkan kapasitas *bandwidth*. Pada perancangan ini cakupan lokasi dapat dilihat pada Gambar 5.



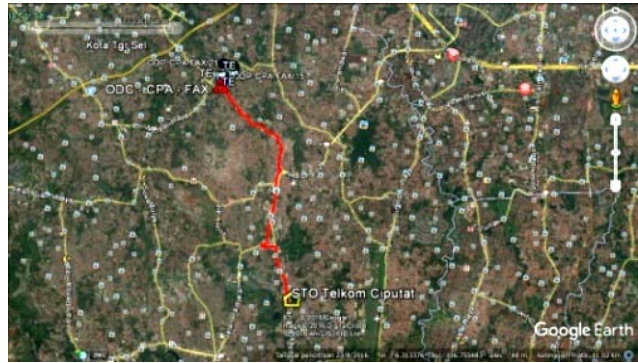
Gambar 5. Cakupan Lokasi Perancangan

3. 3. Pengumpulan Data Perancangan

Perumahan Graha Permai Ciputat merupakan hunian lama yang berada di jalan Ki Hajar Dewantoro Ciputat. Dalam pengumpulan data perancangan ini dilakukan perhitungan jumlah bangunan yang ada, perumahan Graha Permai memiliki 180 unit rumah. Akses jalan dalam perumahan juga cukup lebar. Pembagian perumahan ini berdasarkan BLOK, dimana terdapat 17 Blok didalamnya yaitu BLOK A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, B1, B2, B3, B4, dan B5.

3. 4. Perancangan Jaringan

Perencanaan FTTH dimulai dari survey lokasi dimana perlu diperhatikan perangkat-perangkat penting seperti keadaan sekitar lokasi apakah ada ODC *eksisting* terdekat, tiang *eksisting*, atau jika sudah tidak ada kemungkinan kapasitas tersisa disekitar ODC *eksisting* maka perlu melakukan survey jalur *feeder* menuju STO yang paling efektif. Berdasarkan pada letak Perumahan Graha Permai Ciputat perancangan akan mempertimbangkan penarikan *Core* kabel *feeder existing* yang berada pada jalur Perumahan Graha Permai Ciputat dengan memperhatikan posisi STO terdekat. Wilayah Perumahan Graha Permai Ciputat masuk dalam cakupan STO ciputat. Dari STO ini terdapat jalur kabel *feeder existing* yang menuju area perumahan tersebut. Dengan menggunakan jalur yang ada akan ditarik beberapa *core* kabel *feeder* ke ODC. Jalur dari STO ciputat sampai dengan perumahan Graha permai dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Jalur dari STO Ciputat ke Perumahan Graha Permai Ciputat

Jarak dari STO Ciputat sampai ke perumahan Graha Permai Ciputat sekitar 5.60 Kilometer dengan jalur *feeder existing* yang berada pada Jalan Raya Ki Hajar Dewantara. Jalur ini merupakan bagian dari jalur *duct* milik STO Ciputat yang mengarah ke Perumahan Graha Permai Ciputat.

3. 5. Penentuan Lokasi Perangkat

3. 5. 1. Letak OLT

Jarak antara STO Ciputat dengan perumahan Graha Permai Ciputat sekitar 5,60 kilometer. Ditinjau dari rute kabel yang telah ada dan yang akan ditanam, rute kabel termasuk rute yang mudah dan tidak terlalu banyak bending, yang dapat menyebabkan tambahan redaman. Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka OLT dapat diletakkan di dalam STO, yaitu STO Ciputat. Peletakan OLT di dalam STO ini bertujuan untuk memudahkan *maintenance*. OLT yang digunakan dalam perancangan ini merupakan OLT *eksisting*, hal ini bertujuan untuk efisiensi biaya perancangan dan kapasitas dari OLT tersebut cukup untuk melayani kapasitas *core* yang dibutuhkan dalam perancangan ini.

3. 5. 2. Letak ODC

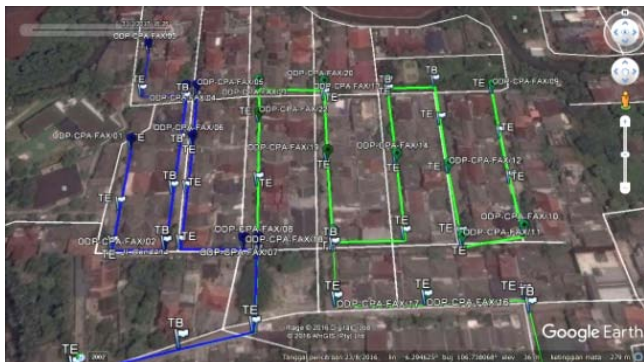
Pada perancangan ini akan menggunakan 1 ODC baru sebagai ODC utama dengan kapasitas 144 *core*. ODC tersebut diberi nama ODC-CPA-FAX sesuai dengan slot pelabelan yang masih tersedia. Jalur kabel *Feeder Existing* yang ditarik dari STO merupakan kabel *duct* berisi 288 *core*. Dari kapasitas 288 *core* yang tersedia akan ditarik 24 *core* kedalam ODC-CPA-FAX. ODC diletakan didepan perumahan Graha Permai Ciputat. Posisi ODC-CPA-FAX pada peta perancangan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Letak ODC FAX

3. 5. 3. Letak ODP

Letak ODP disesuaikan dengan letak tiang yang telah ditentukan. Penempatan tiang baru menyesuaikan dengan kepadatan rumah yang terdapat disuatu blok yang menjadi acuan dalam penentuan jalur distribusi. ODP akan menampung *splitter* dimana pada ODP menggunakan *splitter* 1 : 8. Kapasitas ODP berbeda - beda tergantung dengan banyaknya *Homepasses* yang dapat dilayani. ODP yang didalamnya terdapat *passive splitter* 1 : 8 selanjutnya fiber optik tersebut akan disalurkan ke rumah – rumah pelanggan (ONT) yang berjumlah maksimal 8 lokasi rumah. Sedangkan denah persebaran ODP dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Persebaran ODP

3. 5. 4. Letak ONT

Peletakan perangkat ONT (*Optical Network Terminal*) berada didalam rumah pelanggan. ONT diletakkan ditempat yang dekat dengan catuan listrik. Berdasarkan tata letak dan jarak didapatkan jumlah perangkat yang digunakan dalam perancangan ini. Perangkat disesuaikan dengan rekomendasi dari PT. Telkom.

IV. Analisis Perancangan Jaringan dan Simulasi

4. 1. Perhitungan Kelayakan Perancangan Jaringan

Setelah dilakukan perancangan jaringan akses FTTH menggunakan GPON, untuk mengetahui kelayakan jaringan itu maka akan di perhitungkan menggunakan parameter *power link budget* dan *rise time budget*. Perhitungan akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu *downstream* dan *upstream*, serta akan dihitung berdasarkan jarak dari STO ke ODP yang letaknya paling jauh dan paling dekat. Jarak terjauh yaitu 6,444 Km dengan jalur dari STO Ciputat ke ODC-CPA-FAX kemudian ke ODP-FAX-09 sampai pada ONT. Untuk jarak terdekatnya yaitu 5,861 Km dengan jalur dari STO Ciputat ke ODC-CPA-FAX kemudian ke ODP-FAX-08 sampai pada ONT.

4. 1. 1. Perhitungan Power Link Budget

Berikut adalah spesifikasi perangkat yang digunakan pada perhitungan:

- Daya keluaran sumber optik (OLT/ONT) : 3 dBm / 0,5 dBm
- Sensitivitas detektor (OLT/ONT) : -28 dBm / -29 dBm

- Redaman serat optik G.652 D (1310/1490) : (0,35/0,28) dB/Km
- Redaman serat optik G.657 D (1310/1490) : (0,35/0,28) dB/Km
- Redaman penyambungan (*splicing*) : 0,1 dB/*splice* (8 buah)
- Redaman konektor : 0,2 dB (8 buah)
- *Insertion loss Passive Splitter* 1 : 4 : 7,25 dB
- *Insertion loss Passive Splitter* 1 : 8 : 10,38 dB

4. 1. 2. Perhitungan Power Link Budget untuk Downstream 1490 nm

Untuk jarak ODP terjauh:

$$\alpha_{total} = L.a_{serat} + NC.a_{connector} + NS.a_{splicer} + SP\ 1:4 + SP\ 1:8$$

$$\alpha_{total} = (6,444 \times 0,28) + (8 \times 0,2) + (8 \times 0,1) + 7,25 + 10,38$$

$$\alpha_{total} = 21,83432\ dB$$

Perhitungan nilai daya terima (Prx) yang didapatkan adalah

$$Prx = Ptx - \alpha_{total} - SM$$

$$Prx = 3 - 21,83432 - 6$$

$$Prx = -24,83432\ dBm$$

Untuk margin dayanya:

$$M = (Ptx - Pr(sensitivitas)) - \alpha_{total} - SM$$

$$M = (3 - (-29)) - 21,83432 - 6$$

$$M = 4,16568\ dB$$

4. 1. 3. Perhitungan Power Link Budget untuk Upstream 1310 nm

Untuk jarak ODP terjauh:

$$\alpha_{total} = L.a_{serat} + NC.a_{connector} + NS.a_{splicer} + SP\ 1:4 + SP\ 1:8$$

$$\alpha_{total} = (6,444 \times 0,35) + (8 \times 0,2) + (8 \times 0,1) + 7,25 + 10,38$$

$$\alpha_{total} = 22,2854\ dB$$

Perhitungan nilai daya terima (Prx) yang didapatkan adalah

$$Prx = Ptx - \alpha_{total} - SM$$

$$Prx = 3 - 22,2854 - 6$$

$$Prx = -25,2854\ dBm$$

Untuk margin dayanya:

$$M = (Ptx - Pr(sensitivitas)) - \alpha_{total} - SM$$

$$M = (3 - (-28)) - 22,2854 - 6$$

$$M = 2,7146\ dB$$

4. 1. 4. Perhitungan Rise Time Budget

Berikut adalah spesifikasi perangkat yang digunakan pada perhitungan:

- Panjang gelombang (*downstream*): 1490 nm
- Panjang gelombang (*upstream*) : 1310 nm
- Lebar spektral ($\Delta\sigma$) (OLT/ONT) : 1 nm / 1 nm
- Rise time sumber cahaya (T_{tx}/T_{rx}) (OLT/ONT) : 150 ps / 200 ps
- Dispersi material (D_m) : 3,5 ps/nm.Km

- Pengkodean : NRZ
- Serat Optik : Single mode

4. 1. 5. Perhitungan Rise Time Budget untuk Downstream
Bit Rate downstream (Br) = 2,488 Gbps dengan format NRZ, sehingga:

$$t_r = \frac{0,7}{Br} = \frac{0,7}{2,488 \times 10^9} = 0,28135 \times 10^{-9} \text{ s} = 0,28135 \text{ ns}$$

Dispersi untuk jarak ODP terjauh:

$$T_{tx} = 150 \text{ ps} = 0,15 \text{ ns}$$

$$T_{rx} = 200 \text{ ps} = 0,2 \text{ ns}$$

$$T_{intermodal} = 0 \text{ (serat optik single mode)}$$

$$T_{intramodal} = \Delta\sigma \times L \times D_m$$

$$= 1 \text{ nm} \times 6,444 \text{ Km} \times 3,5 \text{ ps/nm.Km}$$

$$= 22,554 \text{ ps} = 0,022554 \text{ ns}$$

Sehingga besar rise time (T total) untuk serat optik single mode adalah:

$$T_{total} = \sqrt{(T_{tx}^2 + T_{intramodal}^2 + T_{intermodal}^2 + T_{rx}^2)} = \sqrt{(0,15)^2 + (0,022554)^2 + 0^2 + (0,2)^2} = 0,25102 \text{ ns}$$

4. 1. 6. Perhitungan Rise Time Budget untuk Upstream
Bit Rate upstream (Br) = 1,244 Gbps dengan format NRZ, sehingga:

$$t_r = \frac{0,7}{Br} = \frac{0,7}{1,244 \times 10^9} = 0,5627 \times 10^{-9} \text{ s} = 0,5627 \text{ ns}$$

Dispersi untuk jarak ODP terjauh:

$$T_{tx} = 150 \text{ ps} = 0,15 \text{ ns}$$

$$T_{rx} = 200 \text{ ps} = 0,2 \text{ ns}$$

$$T_{intermodal} = 0 \text{ (serat optik single mode)}$$

$$T_{intramodal} = \Delta\sigma \times L \times D_m$$

$$= 1 \text{ nm} \times 6,444 \text{ Km} \times 3,5 \text{ ps/nm.Km}$$

$$= 22,554 \text{ ps}$$

$$= 0,022554 \text{ ns}$$

Sehingga besar rise time (T total) untuk serat optik single mode adalah:

$$T_{total} = \sqrt{(T_{tx}^2 + T_{intramodal}^2 + T_{intermodal}^2 + T_{rx}^2)} = \sqrt{(0,15)^2 + (0,022554)^2 + 0^2 + (0,2)^2} = 0,25102 \text{ ns}$$

4. 2. Simulasi Perancangan

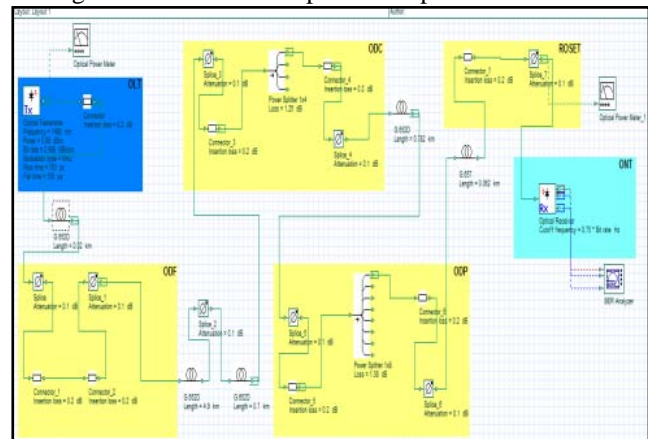
Simulasi ini dibuat dengan menggunakan software *OptiSystem*. Software ini digunakan untuk simulasi perancangan dengan spesifikasi analisis yang diperhatikan diantaranya perhitungan *power link budget*, perhitungan jumlah sambungan dan konektor serta denah perancangan pada *google earth* maupun *autocad*. Seluruh elemen perangkat yang digunakan dalam simulasi disesuaikan dengan spesifikasi perangkat asli untuk mendapatkan hasil yang mendekati real. Simulasi yang dibuat adalah link downstream dan upstream untuk jarak terjauh. Elemen

perangkat yang digunakan pada simulasi adalah sebagai berikut:

- OLT sebagai transmitter (Tx) dengan spesifikasi seperti yang telah dijabarkan pada Tabel 3.6.
- ONT sebagai receiver (Rx) dengan spesifikasi seperti yang telah dijabarkan pada Tabel 3.11.
- Fiber optik sebagai serat optik single mode G.652.D dan G.657 dengan spesifikasi seperti yang telah dijabarkan pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.
- Konektor dengan rata – rata satu konektor memiliki redaman sebesar 0,2 dB.
- Sambungan dengan kisaran redaman tiap sambungan sebesar 0,1 dB.
- Passive splitter 1:4 dengan redaman sebesar 7,25 dB dan passive splitter 1:8 dengan redaman sebesar 10,38 dB.

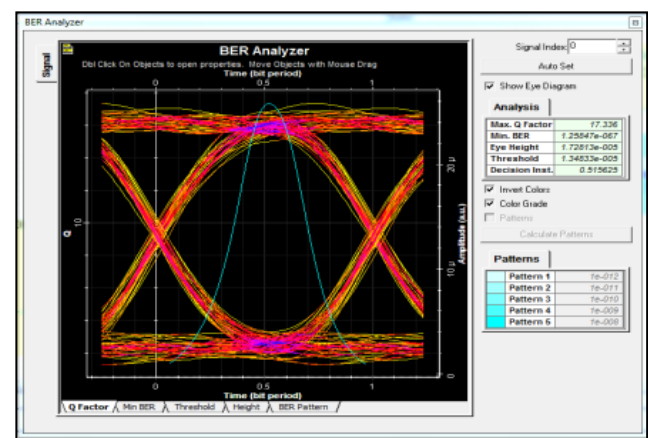
4.2.1 Konfigurasi Simulasi Downstream

Konfigurasi downstream dapat dilihat pada Gambar 9.



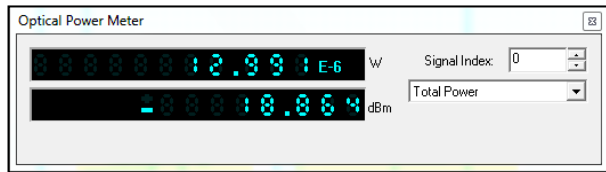
Gambar 9. Konfigurasi Downstream

Berdasarkan hasil simulasi perancangan tersebut didapatkan nilai BER adalah $1,25847 \times 10^{-67}$ seperti terlihat pada Gambar 10, dimana nilai tersebut lebih kecil dari nilai BER standard transmisi serat optik yaitu 10^{-9} .



Gambar 10. Eye Diagram Downstream

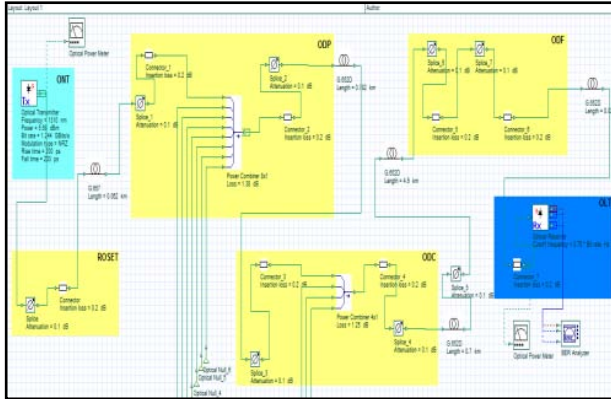
Untuk daya yang terukur di penerima pada *Optical Power Meter* (OPM) adalah sebesar $-18,864 \text{ dBm}$ dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Daya Terima Receiver (PRx) Downstream

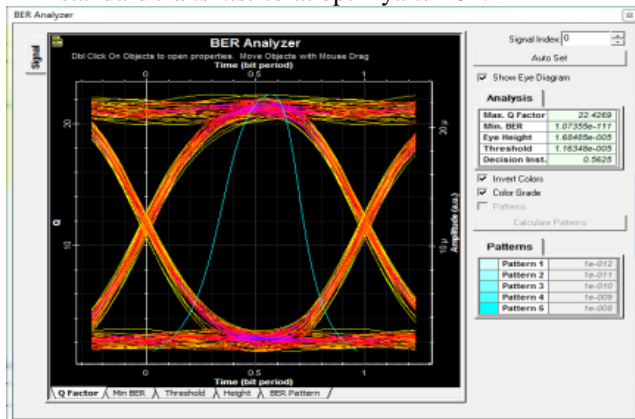
4.2.2 Konfigurasi Simulasi Upstream

Konfigurasi *upstream* dapat dilihat pada Gambar 12.



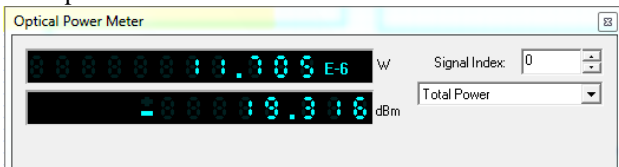
Gambar 12. Konfigurasi Upstream

Berdasarkan hasil simulasi perancangan tersebut didapatkan nilai BER adalah $1,07355 \times 10^{-11}$ seperti terlihat pada Gambar 13, dimana nilai tersebut lebih kecil dari nilai BER standard *transmisi* serat optik yaitu 10^{-9} .



Gambar 13. Eye Diagram Upstream

Untuk daya yang terukur di penerima pada *Optical Power Meter* (OPM) adalah sebesar $-19,316$ dBm dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Daya Terima Receiver (PRx) Upstream

4.1

4.2

4. 3. Analisis Hasil Perancangan

Dari hasil perhitungan manual didapatkan nilai *power link budget* dan *rise time budget*, sedangkan pada simulasi di *OptiSystem* dihasilkan nilai daya terima pada *receiver*

(Prx) dan nilai *Bit Error Rate* pada sistem jaringan akses FTTH yang dirancang.

Berdasarkan perhitungan manual didapatkan *power link budget* pada *receiver* (Prx) sebesar $-24,8342$ dBm di *downstream* dan $-25,2854$ dBm di *upstream*, sedangkan pada simulasi di *OptiSystem* nilai *power* pada *receiver* (Prx) didapatkan sebesar $-18,864$ dBm di *downstream* dan $-19,316$ dBm di *upstream*. Hasil dari perhitungan manual dan simulasi menunjukkan nilai yang dihasilkan berada diatas standard yaitu -27 dBm. Untuk parameter *rise time budget* hanya didapatkan dari perhitungan manual sebesar $0,25102$ ns di *downstream* dan *upstream*, dimana nilai yang dihasilkan berada diatas standard RTB yaitu $0,28135$ ns pada *downstream* dan $0,5627$ pada *upstream*. Sedangkan pada parameter *bit error rate* hanya didapatkan dari perhitungan simulasi sebesar $1,25847 \times 10^{-67}$ di *downstream* dan $1,07355 \times 10^{-11}$ di *upstream*, dimana nilai yang dihasilkan lebih kecil dari standard BER yaitu 10^{-9} . Dari perhitungan manual dan simulasi di *OptiSystem* tidak memiliki perbedaan yang terlalu besar dan masih berada pada batas maksimal kelayakan perancangan jaringan FTTH. Hal ini membuktikan perancangan jaringan FTTH tersebut layak dan mendekati perhitungan ideal.

V. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan *Power Link Budget* jaringan FTTH yang dirancang memenuhi kelayakan standard ITU – T dan PT. Telkom, dengan konfigurasi *downstream* pada jarak terjauh dihasilkan nilai redaman total (α_{total}) sebesar $21,83432$ dB, nilai daya terima (Prx) sebesar $-24,83432$ dBm, dan nilai margin daya sebesar $4,16568$ dB. Sedangkan untuk konfigurasi *upstream* pada jarak terjauh dihasilkan nilai redaman total (α_{total}) sebesar $22,2854$ dB, nilai daya terima (Prx) sebesar $-25,2854$ dBm, dan nilai margin daya sebesar $2,7146$ dB. Nilai tersebut memenuhi standard ITU – T dan PT. Telkom yaitu nilai maksimum redaman total (α_{total}) sebesar 28 dB dengan daya terima *receiver* (Prx) maksimal -27 dBm dan nilai margin daya berada diatas 0 dB.

Berdasarkan hasil perhitungan bahwa jaringan FTTH yang dibangun memenuhi kelayakan *rise time budget*, didapatkan nilai *rise time* total (T_{total}) sebesar $0,25102$ ns untuk jarak terjauh di *downstream* dan *upstream*. Nilai tersebut masih dibawah batasan maksimum *rise time* dari *bit rate* sinyal NRZ *downstream* sebesar $0,28135$ ns dan *upstream* sebesar $0,5627$ ns.

Hasil simulasi perancangan jaringan FTTH pada software *OptiSystem* didapatkan nilai BER untuk performansi sistem jaringan yang dirancang dan dihasilkan nilai daya terima *receiver* (Prx). Nilai BER yang dihasilkan pada simulasi sebesar $1,25847 \times 10^{-67}$ pada konfigurasi *downstream* dan $1,07355 \times 10^{-11}$ pada konfigurasi *upstream*, dimana nilai tersebut lebih kecil dari standard BER transmisi serat optik yaitu 10^{-9} . Hal ini menunjukkan jaringan FTTH yang dirancang memenuhi kelayakan kualitas performansi sistem transmisi serat optik. Sedangkan nilai daya terima *receiver* (Prx) dihasilkan pada simulasi sebesar $-18,864$ dBm di *downstream* dan $-19,316$

dBm di *upstream*. Hasil simulasi ini memenuhi kelayakan standard ITU – T dan PT.Telkom yaitu –27 dBm.

Kepustakaan

- [1] M. I. Muhammad, “Perancangan Jaringan Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) Di Central Karawaci,” *Universitas Telkom, Bandung*, 2015.
- [2] R. Muhammad, “Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) Di Perumahan Setraduta Bandung,” *Institut Teknologi Telkom, Bandung*, 2013.
- [3] I. G. D. Prastiwi, “Perancangan Jaringan Akses Fiber To The Home (FTTH) Dengan Teknologi Gigabit Passive Optical Network (GPON) Di Private Village Cikoneng,” *Universitas Telkom, Bandung*, 2015.
- [4] O. M. Sari, “Perancangan dan Simulasi Jaringan Fiber To The Home (FTTH) Menggunakan Gigabit Passive Optical Network (GPON) HUAWEI Dengan Fiber Termination Management (FTM) Untuk Perumahan Pesona Ciwastra Village Bandung,” *Universitas Telkom, Bandung*, 2015.
- [5] K. Gerd, *Optical Fiber Communication*, 3rd Ed, McGraw Hill, Boston, 2000.
- [6] H. Jim, *Fiber Optic Technician's Manual*, 2nd Ed, 2007.
- [7] Telkom Akses, Materi: Overview Fiber To The Home, 2015
- [8] Telkom Indonesia, Materi Desain FTTH: Perancangan GPON, 2012.
- [9] ITU-T Recommendation G.984.2, Gigabit - Capable Passive Optical Network (G-PON) : Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification, 2003.
- [10] Telkom Indonesia, Perancangan Design: Jaringan FTTH GPON, 2013.
- [11] K. Aditya, “ANALISIS PERAMALAN PENJUALAN BUKU PELAJARAN JENIS LKS PADA CV. HARAPAN BARU KARANGANYAR,” *Tugas Akhir Universitas Sebelas Maret*, 2011.
- [12] ZTE Corporation, ZXA10 C300: Optical Access Coverage Equipment - Product Description, 2011.
- [13] ITU-T Recommendation G.652, Characteristics of a single mode optical fibre and cable, 2009.
- [14] ITU-T Recommendation G.657, Characteristics of a bending loss insensitive single mode optical fibre and cable for the access network, 2009.
- [15] ZTE Corporation, ZXA10 F660: Optical Access Coverage Equipment - Product Description, 2011.

Analisis Kelayakan Finansial Proyek PLTN SMR di Indonesia Dengan Pendekatan Probabilistik: Studi kasus pengaruh penambahan jumlah variabel ketidakpastian

Nuryanti, Suparman & Elok S. Amitayani

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN), Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN)
Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp /Fax: +62 21 5204243, E-mail : nuryanti@batan.go.id
*Penulis Koresponden

Abstrak – PLTN SMR merupakan salah satu alternatif teknologi pembangkitan yang dapat diusulkan di wilayah Luar Jawa Bali (LJB), terkait dengan karakteristik jaringanelistrikannya serta untuk mengemban amanat PP No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Pada proyek PLTN (tak terkecuali PLTN SMR) dimungkinkan terjadinya ketidakpastian, sehingga diperlukan analisis kelayakan finansial proyek yang mempertimbangkan kemungkinan terjadinya ketidakpastian yaitu dengan pendekatan probabilistik. Telah dilakukan dua penelitian untuk menganalisis kelayakan finansial proyek PLTN SMR di Indonesia dengan pendekatan probabilistik yaitu pada tahun 2015 dan 2016. Penelitian tahun 2015 memasukkan 8 variabel ketidakpastian, yaitu: biaya investasi, harga Uranium alam (U_3O_8), biaya pengkayaan Uranium, faktor kapasitas, tingkat inflasi Rupiah, nilai tukar, harga jual listrik dan LIBOR (London Interbank Offered Rate). Penelitian Tahun 2016 memasukkan 11 variabel ketidakpastian yaitu 8 variabel pada penelitian 2015 dan 3 variabel tambahan yaitu: waktu konstruksi, CIRR (Commercial Interest Reference Rate) dan O&M Cost. Makalah ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan 3 variabel ketidakpastian pada penelitian tahun 2016 tersebut terhadap kelayakan finansial proyek PLTN SMR yang dibandingkan dengan hasil penelitian tahun 2015. Kedua penelitian dilakukan dengan teknik Monte Carlo dan indikator kelayakan yang digunakan adalah NPV (Net Present Value) dan IRR (Internal Rate of Return). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua proyek layak dijalankan ditunjukkan dengan nilai rata-rata NPV kedua proyek yang bernilai positif (US\$ 135.324.004 pada penelitian tahun 2015 dan US\$ 174.715.344 pada penelitian tahun 2016) dan rata-rata IRR proyek yang lebih besar dari MARR (10,65% pada penelitian tahun 2015 dan 10,67% pada penelitian tahun 2016), dimana MARR ditetapkan 10%. Pada penelitian dengan 8 variabel ketidakpastian (tahun 2015), tiga variabel yang paling berpengaruh terhadap proyek adalah: harga jual listrik, biaya investasi dan tingkat inflasi. Sedangkan pada penelitian dengan 11 variabel ketidakpastian (tahun 2016), tiga variabel yang paling berpengaruh terhadap proyek adalah: harga jual listrik, waktu konstruksi dan tingkat inflasi, sedangkan variabel biaya investasi bergeser ke peringkat ke-4. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel waktu konstruksi lebih berpengaruh terhadap kelayakan finansial proyek dibanding biaya investasi.

Kata kunci: financial feasibility, SMR NPP, uncertainties, NPV, IRR.

1 Pendahuluan

Sistem kelistrikan Luar Jawa Bali (LJB) ditandai dengan sistem transmisinya yang belum seluruhnya terinterkoneksi. Sistem kelistrikan Kalimantan Timur misalnya, dari 6 sistem yang ada (Mahakam, Petung, Tanah Grogot, Melak, Sangatta dan Berau), sistem Mahakam lah satu-satunya

sistem yang lain masih merupakan sistem yang terisolasi[1]. Wilayah LJB juga merupakan daerah masuk kategori masih mengalami krisis penyediaan energi listrik, sehingga menjadi penting untuk dilakukan penambahan pembangkit baru sebagai respon terhadap permintaan energi listrik yang terus meningkat. Sistem kelistrikan yang ada di wilayah ini umumnya merupakan sistem berukuran

kecil. Sebagai contoh, pada tahun 2015 sistem pembangkitan Sumatra Bagian Utara (Sumbagut) memiliki total kapasitas terpasang sebesar 2.620,6 MW. Pada tahun yang sama, sistem interkoneksi Jawa Bali memiliki total kapasitas terpasang sebesar 27.579 MW[2].

Kapasitas terpasang pembangkit baru yang diijinkan adalah sekitar 10% dari total kapasitas terpasang sistem. Untuk wilayah Sumbagut ini, berarti pembangkit yang diusulkan berkapasitas sekitar 200 MW. Dengan kata lain pembangkit berukuran kecil atau sedang merupakan pilihan yang cocok untuk dikembangkan di wilayah LJB. Untuk pilihan teknologi nuklir, PLTN SMR (*Small Medium Reactor*) merupakan jenis teknologi yang cocok untuk dikembangkan di wilayah LJB, terkait dengan karakteristik jaringan kelistrikannya yang masih kecil (*small grid*) dan belum seluruhnya terinterkoneksi[3,4]. Selain itu, PLTN SMR ini diusulkan guna mengemban amanat PP No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menargetkan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) yang terus meningkat dalam bauran energi nasional, yaitu dari sebesar 5% pada tahun 2015 menjadi sebesar 25% pada tahun 2025 dan ditargetkan meningkat lagi menjadi sebesar 31% pada tahun 2050[5]. Hal ini mengingat adanya dominasi PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) pada sistem kelistrikan LJB selama ini. Data tahun 2014 menunjukkan bahwa dari 4.640 unit pembangkit yang ada di wilayah LJB, sejumlah 4.368 unit (sekitar 94,14%) merupakan jenis PLTD, padahal minyak bumi sebagai bahan bakar PLTD merupakan jenis energi yang tidak dapat diperbarui[2].

Bagi negara yang sedang berkembang seperti Indonesia, masalah finansial menjadi tantangan terbesar dalam program pembangunan PLTN, mengingat sifat proyek PLTN sebagai proyek padat modal dan padat teknologi serta rentan terhadap terjadinya sejumlah variabel ketidakpastian. Biaya investasi, fluktuasi harga bahan bakar serta waktu konstruksi merupakan beberapa contoh variabel ketidakpastian tersebut. Oleh karena itu menjadi penting untuk dilakukan analisis kelayakan finansial yang mampu mengakomodasi kemungkinan terjadinya variabel-variabel ketidakpastian tersebut, yaitu dengan pendekatan probabilistik [6].

Nuryanti, et all (2015) telah melakukan penelitian kelayakan finansial pada proyek PLTN SMR di Indonesia dengan mempertimbangkan terjadinya sejumlah variabel ketidakpastian[7]. Variabel-variabel ketidakpastian yang dimasukkan dalam penelitian tersebut mengacu pada Rothwell (2011) ditambah dengan beberapa variabel yang terkait dengan parameter finansial[8]. Sehingga total ada 8 variabel ketidakpastian yang dimasukkan pada penelitian tersebut, yaitu: 1) biaya investasi, 2) harga Uranium alam, 3) harga pengayaan Uranium, 4) faktor kapasitas, 5) tingkat inflasi Rupiah, 6) nilai tukar (*exchange rate*), 7) harga jual listrik dan 8) *LIBOR* (*London Interbank Offered Rate*). Indikator kelayakan finansial yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah Nilai Kini Bersih (*Nett Present Value* – NPV) dan Tingkat Pengembalian Internal (*Internal Rate of Return* – IRR) [9]. Hasil dari penelitian tersebut berupa suatu fungsi distribusi NPV dan IRR dengan

masing-masing memiliki nilai-nilai minimum, maksimum, rata-rata (*mean*) dan standar deviasi. Selain itu penelitian tersebut juga menghasilkan probabilitas tertolaknya proyek yang tercermin pada probabilitas terjadinya NPV negatif ($NPV < 0$) dan probabilitas $IRR < MARR$ (Minimum Attractive Rate of Return).

Pada tahun 2016 telah dilakukan penelitian lanjutan terhadap penelitian yang sebelumnya, yaitu dengan menambahkan tiga variabel ketidakpastian sehingga jumlah variabel ketidakpastian yang disimulasikan dalam penelitian tahun 2016 ini menjadi 11 variabel. Tiga variabel yang ditambahkan tersebut adalah: 1) waktu konstruksi, 2) *Commercial Interest Reference Rate* (CIRRs) sebagai tingkat bunga *Export Credit Agency* (ECA), dan 3) *Operation & Maintenance* (O&M) *Cost*, dimana O&M Cost terdiri atas *variable cost* dan *routine maintenance cost*.

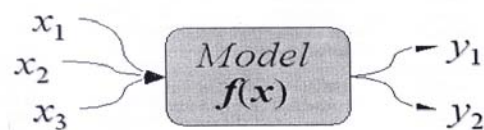
Makalah ini akan membandingkan hasil penelitian kelayakan finansial proyek PLTN SMR dengan memasukkan 11 variabel ketidakpastian dengan hasil penelitian sebelumnya (dimana dimasukkan 8 variabel ketidakpastian). Dengan penelitian lanjutan ini dapat diketahui pengaruh penambahan jumlah variabel ketidakpastian terhadap kelayakan finansial proyek PLTN SMR.

Hasil penelitian lanjutan ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi para pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan investasi pada proyek PLTN SMR di wilayah LJB.

2 Landasan Teori

2.1. Teknik Simulasi Montecarlo

Pada dasarnya simulasi merupakan sebuah metode analitik yang bertujuan untuk membuat tiruan dari sebuah sistem yang mempunyai sifat acak[3]. Simulasi Monte Carlo didahului dengan pengembangan sebuah model deterministik yang memetakan suatu himpunan variabel masukan ke suatu himpunan variabel keluaran dengan beberapa persamaan. Skema tentang model deterministik dapat dilihat pada Gambar 1[10].



Catatan:

x_1, \dots, x_n : variabel-variabel ketidakpastian sebagai masukan (*input*)

y_1, \dots, y_n : variabel-variabel keluaran

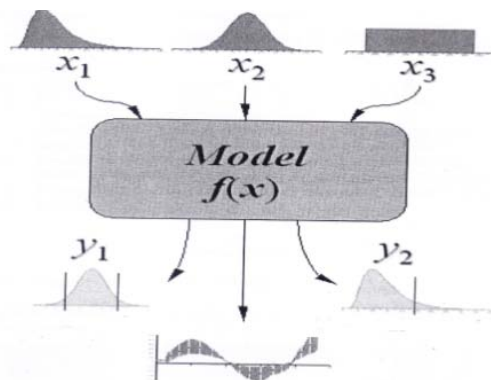
Gambar 1. Model deterministik parametrik[7]

Dalam Simulasi Monte Carlo, model deterministik yang telah dikembangkan dievaluasi secara berulang dengan menggunakan himpunan bilangan acak sebagai masukan. Metode ini sering digunakan bila model bersifat kompleks, nonlinear atau melibatkan banyak parameter tak tentu (*uncertain*) yang saling berhubungan. Perambatan ketidakpastian (*uncertainty propagation*) merupakan prinsip dasar di belakang simulasi Monte Carlo[10]. Skema

dari prinsip perambatan ketidakpastian dapat dilihat pada Gambar 2. penerimaan kas bersih yang akan terjadi selama umur proyek, sedangkan IRR merupakan tingkat kemampuan

Tabel 1. Parameter tekno-ekonomi PLTN SMR yang dikaji

No	Parameter	Unit	Nilai	Referensi
1	Kapasitas Pembangkit	MW	2 x 100	
2	Kapasitas Faktor	%	93	JAPC(2013)[11]
3	Produksi energi listrik tahunan	MWh	1.629.360	
4	Burn Up	MWd per metric ton U235	40.000	Rothwell (2014)[12]
5	Pemakaian sendiri	%	5,5	
6	Tahun Dasar		2013	
7	Waktu Konstruksi	Tahun	5	
8	Umur Pembangkit	Tahun	40	
9	Nilai tukar	Rp/ US\$	10.504	www.bi.go.id [13]
10	Harga Jual Listrik	Cents US\$/kWh	12	
11	Tingkat Diskonto (<i>discount rate</i>)	%	10	
12	Rasio Pinjaman terhadap Equity		70% : 30%	
13	Porsi Pinjaman			
	Bank X (ECA 1)	%	30	
	Bank Y (ECA 2)	%	30	
	Bank Z (ECA 3)	%	20	
	Bank A' (Bank Komersial)	%	20	
14	CIRR untuk ECA	%	3,27	CIRR OECD[14]
15	Tingkat Bunga Bank Komersial (LIBOR + 5%)	%	5,7	
16	Tingkat Pajak	%	25	UU No 36 th 2008[15]
17	Tingkat Inflasi US\$	%	1,5	http://data.bls.gov [16]
18	Tingkat Inflasi Rp	%	7,9	www.bps.go.id [17]
19	Eskalasi harga Jual Listrik	% per tahun	2	
20	Eskalasi Harga bahan bakar	% per tahun	0,5	
21	Eskalasi Biaya O&M	% per tahun	1,5% (US\$) 7,9% (IDR)	



Catatan:

x_1, \dots, x_n : Fungsi distribusi variabel-variabel ketidakpastian
 y_1, \dots, y_n : Fungsi distribusi variabel-variabel keluaran

Gambar 2. Skematis perambatan ketidakpastian[10]

2. 2. Indikator Kelayakan

Indikator kelayakan proyek yang digunakan dalam analisis ini adalah NPV dan IRR. Metode NPV menghitung selisih antara nilai kini dari investasi dengan nilai kini dari

arus kas proyek dalam mengembalikan investasi, yang dinyatakan dalam prosentase[11,12,13].

3 Metodologi Penelitian

3. 1. Parameter Tekno-ekonomi PLTN yang Dikaji

Sebelum dilakukan analisis kelayakan finansial, terlebih dahulu didefinisikan beberapa parameter tekno-ekonomi dari PLTN yang dikaji sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1.

3. 2. Porsi Pendanaan

Proyek PLTN SMR ini diasumsikan didanai dengan 70% porsi pinjaman dan 30% porsi modal sendiri (equity). Komposisi porsi pinjaman ditunjukkan pada Tabel 2.

No	Jenis Bank	Porsi	Tingkat Bunga
1	Bank X (ECA-1)	30%	3,27%
2	Bank Y (ECA-2)	30%	3,27%
3	Bank Z (ECA-3)	20%	3,27%
4	Bank A' (Bank Komersial)	20%	5,70%

3. 3. Pendefinisian Variabel Ketidakpastian

Dalam penelitian sebelumnya (tahun 2015) telah disimulasikan 8 variabel ketidakpastian yang mana mengakomodasi variabel yang telah diidentifikasi Rothwell

(2011) ditambah dengan beberapa variabel yang berhubungan dengan parameter finansial yaitu: LIBOR (*London Inter Bank*).

sebelumnya (2016 dan 2015) dilakukan dengan teknik simulasi Monte Carlo. Simulasi dilakukan menggunakan paket program @Risk, dengan 1000 kali iterasi.

Tabel 3. Pendefinisian variabel-variabel ketidakpastian pada penelitian tahun 2015(8 variabel ketidakpastian)

No	Variabel Ketidakpastian	Jenis Distribusi	Keterangan
1	Biaya investasi (US\$/kWe)	Triangular minimum = 5.690; <i>most likely</i> = 6.360; maksimum = 7.057	Pengepasan Distribusi dari data historis[18,19,20]
2	<i>Spot Price</i> Uranium alam (U_3O_8) (US\$/kg)	Pearson5 $\alpha = 1,7211$; $\beta = 54,365$	Pengepasan Distribusi dari data historis[21]
3	<i>Spot Price</i> Pengkayaan (SWU)	Logistic $\alpha = 137,99$; $\beta = 10,496$	Pengepasan Distribusi dari data historis[21]
4	Faktor kapasitas (%)	Triangular minimum = 88,65%; <i>most likely</i> = 92,59%; maksimum = 99,19%	Pengepasan Distribusi dari data historis[21]
5	Tingkat inflasi Rupiah (%)	Normal Rata-rata = 7,937% Standar deviasi = 3,86%	Pengepasan Distribusi dari data historis[17]
6	Nilai tukar (Rupiah/US\$)	Lognorm (792,51) $\mu = 1.733,3$; $\sigma = 792,51$	Pengepasan Distribusi dari data historis[13]
7	Harga Jual listrik (Cents US\$/kWh)	Triangular Minimum = 12 <i>Most Likely</i> = 15 Maksimum = 18	[11,22]
8	LIBOR (%)	Triangular Minimum = 0,578% <i>Most Likely</i> = 2,54% Maksimum = 6,468%	Pengepasan Distribusi dari data historis[23]

Offered Rate), nilai tukar, harga jual listrik dan tingkat inflasi Rupiah [7]. 8 variabel ketidakpastian yang disimulasikan pada penelitian tahun 2015 tersebut dinyatakan pada Tabel 3.

Dalam penelitian lanjutan (tahun 2016) ditambahkan lagi 3 variabel ketidakpastian yang disimulasi yaitu: waktu konstruksi, CIRR dan O&M Cost. Pendefinisian ketiga variabel ketidakpastian tersebut dinyatakan pada Tabel 4.

4. Hasil Dan Pembahasan

Analisis kelayakan finansial proyek PLTN SMR 2 x 100 MWe dengan pendekatan probabilistik pada dua penelitian

Tabel 5 menunjukkan statistik hasil simulasi variabel ketidakpastian terhadap indikator kelayakan finansial pada penelitian dengan 8 variabel ketidakpastian, sedangkan Tabel 6 merupakan hasil pada penelitian dengan 11 variabel ketidakpastian.

Berdasar Tabel 5 dan Tabel 6 diketahui bahwa nilai rata-rata NPV yang diperoleh pada kedua penelitian bernilai positif, masing-masing sebesar US\$ 135.324.004 (pada penelitian dengan 8 variabel ketidakpastian) dan US\$ 174.715.344 (pada penelitian dengan 11 Variabel ketidakpastian). Sedangkan untuk nilai IRR proyek maupun IRR Equity, diketahui bahwa kedua penelitian menghasilkan nilai rata-rata IRR proyek maupun IRR Equity yang lebih besar dari MARR. Dimana pada

Tabel 4. Pendefinisian variabel-variabel ketidakpastian pada penelitian tahun 2016 (ditambah 3 variabel ketidakpastian)

No	Variabel Ketidakpastian	Jenis Distribusi	Keterangan
1	Waktu konstruksi (tahun)	Triangular Minimum = 5 <i>Most Likely</i> = 8 Maksimum = 10	Pengepasan Distribusi dari data historis[26]
2	CIRR	Triangular Minimum = 2,75% <i>Most Likely</i> = 3,28% Maksimum = 5,47%	Pengepasan Distribusi dari data historis[14]
3a	Variable O&M Cost (US\$/MWh)	Logistic $\alpha = 0,6315$ $\beta = 0,024$	Pengepasan Distribusi dari data historis[8,27]
b	Routine O&M Cost (US\$/kWe)	Triangular Minimum = 47,20 <i>Most Likely</i> = 47,20 Maksimum = 67,38	Pengepasan Distribusi dari data historis[8,27]

Tabel 5. Hasil Simulasi 8 Variabel Ketidakpastian Terhadap Indikator Kelayakan Finansial (Penelitian Tahun 2015)

Statistik	Indikator Kelayakan Finansial		
	NPV (US\$)	IRR Proyek (%)	IRR Equity (%)
Minimum	-862.805.725	5,45	5,49
Maksimum	641.594.310	13,02	19,96
Rata-rata	135.324.004	10,65	14,29
Standar deviasi	186.420.081	0,89	1,84

Tabel 6. Hasil Simulasi 11 Variabel Ketidakpastian Terhadap Indikator Kelayakan Finansial (Penelitian Tahun 2015)

Statistik	Indikator Kelayakan Finansial		
	NPV (US\$)	IRR Proyek (%)	IRR Equity (%)
Minimum	-1.000.000.000	7,11	6,18
Maksimum	889.126.805	13,91	19,94
Rata-rata	174.715.344	10,67	12,26
Standar deviasi	259.089.749	1,02	2,17

penelitian dengan 8 variabel ketidakpastian diperoleh nilai IRR proyek = 10,65% dan IRR Equity = 14,29%, sedangkan pada penelitian dengan 11 variabel ketidakpastian diperoleh nilai IRR proyek = 10,67% dan IRR Equity = 12,26%. Berdasar nilai rata-rata NPV, IRR proyek dan IRR Equity hasil simulasi pada kedua tabel diketahui bahwa proyek PLTN SMR dinilai layak dijalankan pada “most probable value” harga jual listrik sebesar 15 cent US\$/kWh, karena nilai rata-rata NPV bernilai positif (NPV>0) dan nilai rata-rata baik IRR proyek maupun IRR Equity lebih besar dari MARR.

Standar deviasi menunjukkan dispersi dari suatu variabel. Oleh karena itu, secara statistik nilai variabel sering dinyatakan dengan rata-rata \pm standar deviasi. Jika dinyatakan secara statistik, nilai indikator kelayakan finansial pada Tabel 6 (penelitian dengan 8 variabel) akan menjadi: NPV = US\$ 135,324,004 \pm US\$ 186.420.080, IRR proyek = 10,65% \pm 0,89% dan IRR Equity = 14,29% \pm 1,84%. Sedangkan nilai indikator kelayakan finansial pada Tabel 7 (penelitian dengan 11 variabel) akan menjadi = NPV = US\$ 174,715,344 \pm US\$ 259.089.749, IRR proyek = 10,67% \pm 1,02% dan IRR Equity = 12,26% \pm 2,17%. Tanda “ \pm ” mengindikasikan bahwa nilai variabel tersebut berada dalam interval rata-rata \pm standar deviasi. Nilai indikator kelayakan yang menunjukkan interval rata-rata \pm standar deviasi tersebut diistilahkan dengan “Risk Adjusted”, sehingga disebut dengan *risk adjusted NPV* dan *risk adjusted IRR*.

Nilai standar deviasi yang lebih besar pada penelitian dengan 11 variabel ketidakpastian dibandingkan pada penelitian dengan 8 variabel ketidakpastian menunjukkan potensi resiko yang lebih besar pada proyek yang mempertimbangkan 11 variabel ketidakpastian. Tingkat atau potensi resiko ini tentu sangat bergantung pada pengelolaan atau manajemen resiko yang diterapkan dalam proyek. Pada penelitian dengan 8 variabel ketidakpastian diperoleh bahwa NPV akan berada pada interval -US\$ 51.096.076 – US\$ 321.744.084, IRR proyek pada interval 9,76% – 11,54% dan IRR Equity pada interval 12,45% –

16,13%. Hasil ini menunjukkan bahwa jika variabel-variabel ketidakpastian tersebut dimonitor dengan baik, maka proyek akan mampu mencapai angka NPV sebesar US\$ 321.744.084, namun jika tidak termonitor dengan baik maka bukan tidak mungkin nilai NPV akan turun hingga mencapai angka -US\$ 51.096.076 dimana proyek menjadi tidak layak. Sedangkan pada penelitian dengan 11 variabel ketidakpastian diperoleh hasil bahwa NPV akan berada pada interval -US\$ 84.374.404 – US\$ 433.805.092, IRR proyek pada interval 9,65% – 11,69% dan IRR Equity pada interval 10,09% – 14,43%. Analog dengan analisis sebelumnya hasil ini menunjukkan bahwa jika variabel-variabel ketidakpastian tersebut dimonitor dengan baik, maka proyek akan mampu mencapai angka NPV sebesar US\$ 433.805.092, namun jika tidak termonitor dengan baik maka bukan tidak mungkin nilai NPV akan turun hingga mencapai angka -US\$ 84.374.404 dimana proyek menjadi tidak layak.

Gambar 3 dan Gambar 4 masing-masing menunjukkan diagram Tornado dari NPV dan IRR proyek PLTN SMR pada penelitian yang memasukkan 8 variabel ketidakpastian. Sedangkan Gambar 5 dan Gambar 6 masing-masing menunjukkan diagram Tornado dari NPV dan IRR proyek pada penelitian yang memasukkan 11 variabel ketidakpastian. Diagram Tornado memuat koefisien regresi masing-masing variabel ketidakpastian dan pada dasarnya menyatakan seberapa kuat hubungan antara variabel ketidakpastian terhadap kelayakan finansial proyek. Dengan diagram ini dapat diidentifikasi variabel mana.

5. Simpulan

Hasil penelitian yang memasukkan 8 variabel ketidakpastian (tahun 2015) maupun 11 variabel ketidakpastian (tahun 2016) sama-sama menghasilkan nilai rata-rata NPV yang lebih besar dari nol maupun nilai rata-rata NPV yang lebih besar dari MARR, yang menunjukkan bahwa kedua proyek layak dijalankan pada

“most probable value” harga jual listrik sebesar 15 cents USD/kWh.

Probabilitas tertolaknya proyek adalah sebesar 20% pada penelitian yang memasukkan 8 variabel ketidakpastian dan meningkat menjadi 25% pada penelitian dengan 11 variabel ketidakpastian, yang menunjukkan tingkat resiko yang lebih besar pada penelitian dengan 11 variabel. Berdasarkan diagram Tornado NPV maupun IRR yang diperoleh pada kedua penelitian, diketahui bahwa terdapat 3 (tiga) variabel utama yang paling berpengaruh terhadap kelayakan finansial proyek PLTN SMR yang memasukkan 8 variabel ketidakpastian, yaitu: 1) harga jual listrik, 2) biaya investasi dan 3) tingkat inflasi.

Sedangkan pada proyek PLTN SMR yang memasukkan 11 variabel ketidakpastian, 3 (tiga) variabel utama yang mempengaruhi kelayakan finansial proyek adalah: 1) harga jual listrik, 2) waktu konstruksi dan 3) tingkat inflasi. Oleh karena itu, dengan penambahan variabel ketidakpastian dari 8 menjadi 11 ini dapatlah diketahui bahwa ada 4 (empat) variabel-variabel yang krusial untuk dimonitor sehingga meningkatkan probabilitas diterimanya proyek PLTN SMR, yaitu: 1) harga jual listrik (cent USD/kWh), 2) waktu konstruksi, 3) inflasi mata uang Rupiah dan 4) biaya investasi (*Overnight Cost* – OC).

Kepustakaan

- [1] _____, “Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) Tahun 2016 - 2025”, Kementerian ESDM, Jakarta, 2016
- [2] PT. PLN (Persero), “Statistik PLN 2014”, Jakarta, 2014.
- [3] IEA/ NEA, “Current Status. Technical Feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors”, OECD, Paris, Juni 2011
- [4] LOCATELLI, G. & MANCINI, M., “Small-medium Sized Nuclear, Coal and Gas power plant: A Probabilistic Analysis of Their Performances and Influence of CO₂ Cost”, *Energy Policy*, 38,6360-6374, 2010
- [5] _____, “Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional”, Jakarta, 17 Oktober 2014
- [6] RODE, at al., “Montecarlo Methods for Appraisal and Valuation: A Case Study of a Nuclear Power Plant”, *CEIC Working Paper 01-01*, Carnegie Mellon Electricity Industry Center, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2001
- [7] Nuryanti, et al., “Analisis Kelayakan Finansial Proyek PLTN SMR di Indonesia dengan Mempertimbangkan Variabel Ketidakpastian”, *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Volume 17, Nomor 2, Desember 2015
- [8] ROTHWELL, “The Economics of Future Nuclear Power: An Update of The Economic Future of Nuclear Power (2004), a Study Conducted at the University of Chicago”, Stanford University, 2011.
- [9] SOEHARTO, I., “Studi Kelayakan Proyek”, Penerbit Erlangga, Jakarta, 2002
- [10] SRIDADI, B., “Pemodelan dan Simulasi Sistem: Teori, Aplikasi dan Contoh Program dalam Bahasa C”, Penerbit Informatika, 2009.
- [11] BLANK & TARQUIN, “Engineering Economy”, 6th, Mc Graw Hill, Singapore, 2008
- [12] PERMATASARI, K., “Analisis Kelayakan Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi oleh Pengembang Panas Bumi di Indonesia”, Skripsi, Jakarta: Program Studi Teknik Industri Universitas Indonesia, 2010.
- [13] MARTLAND, Carl D., “Project Evaluation Choosing a Discount Rate”, http://ocw.mit.edu/courses/civil-and-environmental-engineering/1-011-project-evaluation-spring-2011/lecture-notes/MIT1_011S11_lec06.pdf, diakses 26 Maret 2012
- [14] PT PLN (Persero), PT LAPI ITB & JAPC, “Feasibility Study for Bangka Nuclear Power Plant Project – Non Site aspect”, 2013
- [15] ROTHWELL, G. & GANDA, F., “Electricity Generating Portfolios with Small Modular Reactors”, Argonne National Laboratory, May 2014
- [16] BANK INDONESIA, “Foreign Exchange Rate in Year 2013”, <http://www.bi.go.id>. Diakses 01 Juni 2014
- [17] OECD, “Commercial Interest Reference Rate (CIRRs)”, www.oecd.org/tad/xcred/cirrs.pdf. Diakses 01 Juni 2014
- [18] _____, “UU No 36 tahun 2008 Tentang Perubahan Keempat Atas UU No. 7 Tahun 1983 Tentang Pajak Penghasilan”, Kementerian Hukum & HAM, 2008.
- [19] _____, “CPI Inflation Calculator”, <http://data.bls.gov/cgi-bin/cpi/calc.pl>. Diakses 03 Juli 2015.
- [20] _____, “Indeks Harga Konsumen dan Inflasi Bulanan Indonesia, 2005-2015”, <http://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/907>. Diakses 03 Juli 2015.
- [21] ABDULLA, A. & AZEVEDO, I. L., “Developing a Range of Levelized Cost Estimates for Integral Light Water Small Modular Reactor”, www.andrew.cmu.edu. Diakses Mei 2014
- [22] US DEPARTMENT OF ENERGY, “SMR Financing and Economics, The Nuclear Option: Is Small Scale Nuclear Energy an Option for Alaska?”, December 2010.
- [23] ONO, K., “Generation IV International Forum Economics Assessment Methodology and Application”, GIF-INPRO Interface Meeting, Vienna, March 1, 2013
- [24] KESDM, “Peraturan Menteri ESDM No. 3 Tahun 2015”, Jakarta, 2015
- [25] _____, LIBOR yearly, <http://www.moneycafe.com/personal-finance/libor/> LIBOR Source: Fannie Mae, British Bankers’ Association
- [26] _____, <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/>
- [27] PLN Litbang & P2EN, “Study Ekonomi, Pendanaan dan Struktur Owner Dalam Rangka Rencana Persiapan Pembangunan PLTN Pertama di Indonesia”, Jakarta, 2006.

Pengaruh Pemasangan Pembangkit Terdistribusi (Distributed Generation) Terhadap Magnitude Arus Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Mustarum Musaruddin^{1*}, Ahmad Munawir², Sahabuddin Hay³

Program Studi Teknik Informatika Fakultas Teknik
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Halu Oleo, Kendari, Sulawesi Tenggara
E-mail: mustarum@gmail.com

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari pemasangan pembangkit terdistribusi (Distributed Generation) terhadap magnitude arus gangguan hubung singkat pada lokasi gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik. Dalam penelitian ini, sistem tenaga listrik dan pembangkit terdistribusi dimodelkan kedalam aplikasi Alternative Transient Program (ATP). Simulasi hubung singkat dilakukan dengan berbagai kondisi yaitu variasi jenis gangguan hubung singkat (dua fasa, dua fasa ke tanah dan tiga fasa), variasi lokasi gangguan serta jumlah dan lokasi pemasangan distributed generation. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan distributed generation dalam sistem distribusi tenaga listrik, maka arus gangguan akan meningkat dibandingkan dengan arus gangguan sebelum adanya distributed generation pada sistem tenaga listrik, khususnya ketika gangguannya terjadi didekat pembangkit terdistribusi. Jenis gangguan, Jumlah dan Lokasi pemasangan pembangkit terdistribusi mempunyai pengaruh terhadap magnitude arus gangguan hubung singkat.

Kata kunci: distributed generation, gangguan hubung singkat, alternative transient program

1 Pendahuluan

Dalam beberapa tahun belakangan ini utilitas sistem tenaga mengalami proses restrukturisasi diseluruh dunia yang meliputi pertimbangan deregulasi, kemajuan teknologi dan perhatian terhadap dampak lingkungan, kompetisi yang diperkirakan disisi pembangkitan yang memungkinkan peningkatan interkoneksi dari unit-unit pembangkit ke jaringan utilitas. Sumber pembangkitan ini disebut dengan pembangkit terdistribusi (Distributed Generation, DG) yang didefinisikan sebagai plant yang dihubungkan secara langsung ke jaringan distribusi dan tidak terpusat.

Dalam hal manfaat bagi sistem pembangkit, pembangkit terdistribusi dapat memberikan berbagai layanan untuk utilitas dan konsumen, termasuk sebagai pembangkit siaga, pembangkit pendukung beban puncak, pembangkit untuk beban dasar, pendukung penyediaan daya aktif, pendukung penyediaan daya reaktif, pendukung tegangan, stabilitas jaringan, cadangan berputar, dan dapat juga menurunkan rugi daya pada jaringan.

Untuk mendukung manfaat pembangkit terdistribusi dalam sistem pembangkit diperlukan perencanaan yang baik, dimana

terdapat faktor teknis seperti : Voltage Profile, Power Losses, Short_Circuit Currents, Relay Protection, Power Quality, Voltage Dips dan berbagai macam masalah lainnya yang harus dianalisa sehingga keandalan dan realibilitas pelayanan kepada konsumen juga dapat terjaga dengan baik.

Dengan adanya pembangkit terdistribusi ini maka kondisi sistem tenaga menjadi lebih rumit untuk dipahami. Oleh karena itu, sangat diperlukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan pembangkit terdistribusi terhadap perubahan apapun didalam sistem. Secara konvensional, dianggap bahwa tenaga listrik pada sistem distribusi selalu mengalir dari gardu induk ke ujung penyulang, baik dalam operasi maupun perencanaannya. Pengoperasian DG mengakibatkan aliran daya terbalik dan profil tegangan yang kompleks pada sistem distribusi. Kesulitan yang muncul dalam sistem tergantung pada strategi penempatan pembangkit terdistribusi.

Sehubungan dengan berbagai keuntungan yang ditawarkan oleh DG maka penelitian secara meluas dibidang ini terus berkembang untuk memaksimalkan keuntungannya dan menghindari situasi yang tidak diinginkan. Duloo et.al (2014) terfokus pada pengaruh yang berbeda dari DG pada sistem distribusi termasuk pengoperasian dan pengontrolan,

perubahan pada kapasitas hubung singkat, stabilitas dan performansi relay [1]. Selain itu, Gomez et. al (2013) melakukan investigasi perubahan pada arus gangguan untuk model power system [2]. Deng et. al. (2012) melakukan analisa aspek proteksi dari feeder dengan DG terinterkoneksi [3]. Zayandehroodi et. al. (2011) melakukan analisa terhadap 4 bus untuk perubahan arus gangguan dengan interkoneksi system terdistribusi [4].

2 Pemodelan Sistem

Dalam melakukan pemodelan sistem terdapat konfigurasi simulasi sistem dengan Software ATP. Parameter yang digunakan pada simulasi adalah sebagai berikut :

Lokasi Gangguan, gangguan dapat terjadi di titik manapun pada jaringan distribusi. Dengan panjang penghantar dan kondisi beban sepanjang jaringan maka lokasi gangguan berupa hubung singkat pada simulasi dilakukan pada jaringan tegangan menengah 25 kV.

Resistansi Gangguan tergantung pada lokasi gangguan. Pada penelitian ini, resistansi gangguan dipilih dengan nilai normal resistansi jaringan distribusi sekitar 10 ohm.

Waktu Gangguan, sama dengan lokasi gangguan waktu gangguan dapat terjadi kapan saja. Pada penelitian ini, waktu simulasi Software ATP diasumsikan yaitu dimulai dari 0 - 0.2 detik dengan gangguan hubung singkat dimulai pada 0.05 - 0.2 detik.

Parameter komponen-komponen ATP Draw untuk Beban dapat dilihat pada Tabel 1 dan Parameter DG dapat dilihat pada Tabel 2. Adapun pemodelan system pada ATP dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Parameter beban.

Titik Beban	S (MVA)	$\cos \phi$	V (kV)
1	1.85	0.75	0.3778
2	1.80	0.80	0.3796
3	0.90	0.90	0.384
4	1.70	0.90	0.38
5	0.90	0.80	0.3772
6	0.95	0.85	0.3768
7	1.80	0.80	0.3676
8	0.85	0.95	0.372
9	1.90	0.70	0.362
10	1.95	0.80	0.3716
11	1.90	0.95	0.3808
12	1.75	0.85	0.3664
13	0.90	0.80	0.36
14	1.70	0.85	0.36
15	0.90	0.95	0.3872
16	1.95	0.80	0.3724
17	1.70	0.95	0.3804

HV Equivalent : 110 kV, 1500 MVA,

X/R = 10

Substation Transformers : 110/25 kV,
20 MVA, 8%, Yd, X/R = 10

Distribution Transformers : 25/0.4 kV,
1 MVA, 2 MVA, 3 MVA, 6%, Dy, X/R = 10

DG Transformers : 25/6 kV, 1 MVA, 2 MVA, 3MVA,
8%, Yd, X/R = 10

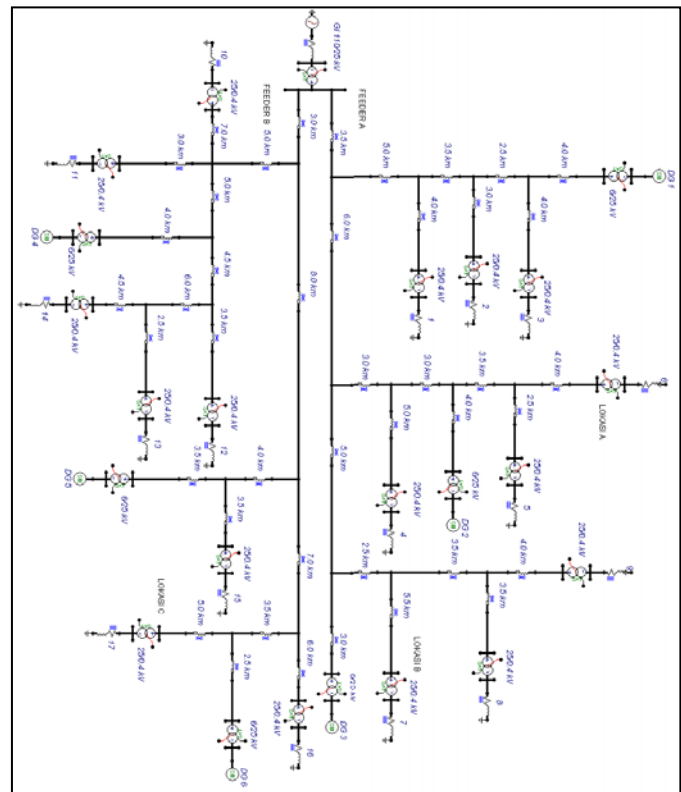
Line : $Z_{1/2} = 0.61 + j 0.39 \Omega/\text{Km}$

$Z_0 = 0.76 + j 1.56 \Omega/\text{Km}$

DG (Synchronous Generator)

Tabel 2. Parameter DG.

Parameter	Satuan
Rated frequency (f)	50 Hz
Rated voltage (V)	6.0 kV
Number of poles	4
Armature resistance (R_a)	0.0041 pu
Armature leakage resistance (X_l)	0.1200 pu
d- axis synchronous reactance (X_d)	1.7000 pu
d-axis transient reactance (X_d')	0.2383 pu
d-axis sub-transient reactance (X_d'')	0.1847 pu
d-axis open circuit transient time constant (T_{d0}')	3.1949 s
d-axis open circuit sub-transient time constant (T_{d0}'')	0.02872s
Zero-sequence reactance (X_0)	1.4000 pu



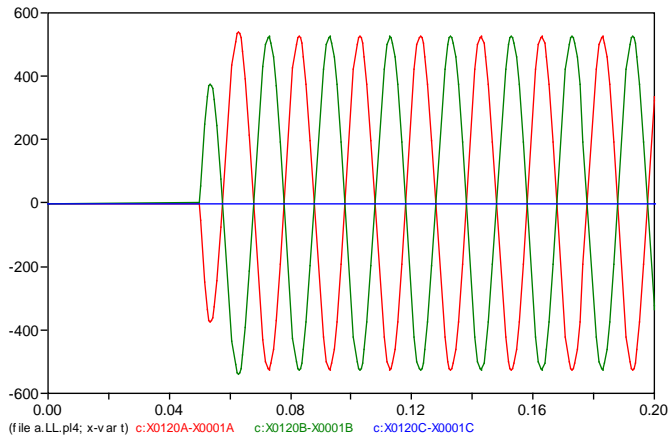
Gambar 1. Pemodelan sistem dengan ATP.

3 Hasil dan Pembahasan

Simulasi hubung singkat tanpa DG

Gambar 2 menunjukkan nilai dari magnitude arus hubung singkat pada sistem distribusi yang pengukurannya ditinjau dari lokasi gangguan A dimana di dalamnya belum terpasang DG.

Hubung singkat dua fasa.

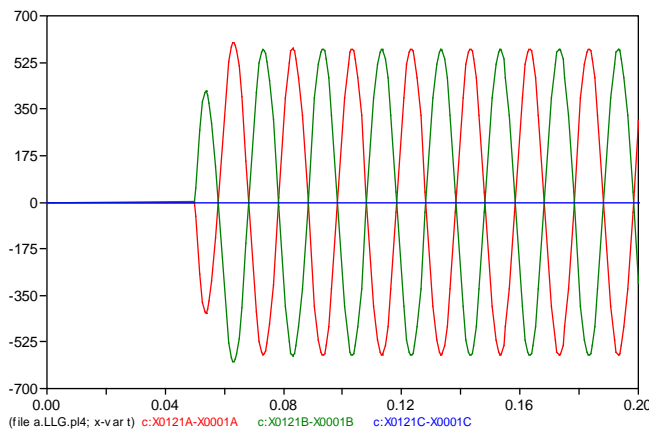


Gambar 2. Arus pada gangguan hubung singkat dua fasa lokasi A di 25 kV tanpa DG.

Nilai dari arus ketiga fasa itu adalah :

$I_a = 538.4695 \text{ A}$; $I_b = 525.7284 \text{ A}$;
 $I_c = 0.000202 \text{ A}$.

Hubung singkat dua fasa ke tanah.

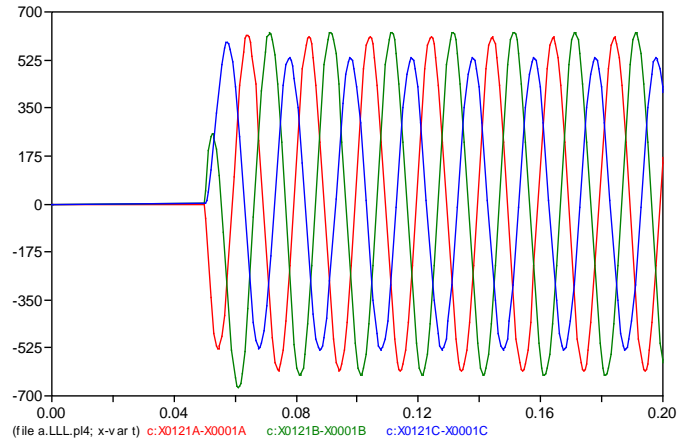


Gambar 3. Arus pada gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah lokasi A di 25 kV tanpa DG.

Nilai dari arus ketiga fasa itu adalah :

$I_a = 600.1544 \text{ A}$; $I_b = 576.4498 \text{ A}$;
 $I_c = 0.000303 \text{ A}$.

Hubung singkat tiga fasa.



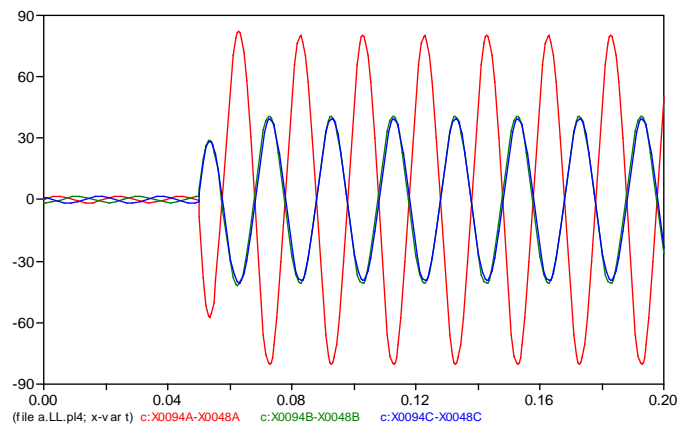
Gambar 4. Arus pada gangguan hubung singkat tiga fasa lokasi A di 25 kV tanpa DG.

Nilai dari arus ketiga fasa itu adalah :

$I_a = 616.691 \text{ A}$; $I_b = 626.4725 \text{ A}$;
 $I_c = 589.6016 \text{ A}$.

Gambar 5 menunjukkan nilai dari magnitude arus hubung singkat pada sistem distribusi yang pengukurannya ditinjau di sisi 110 kV dimana didalamnya belum terpasang DG.

Hubung singkat dua fasa.

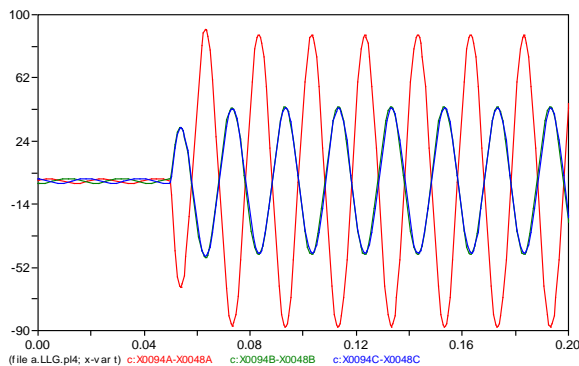


Gambar 5. Arus pada gangguan hubung singkat dua fasa lokasi A di 110 kV tanpa DG.

Magnitude dari grafik arus itu adalah :

$I_a = 82.10291 \text{ A}$; $I_b = 40.64901 \text{ A}$;
 $I_c = 39.60443 \text{ A}$.

▪ Hubung singkat dua fasa ke tanah.



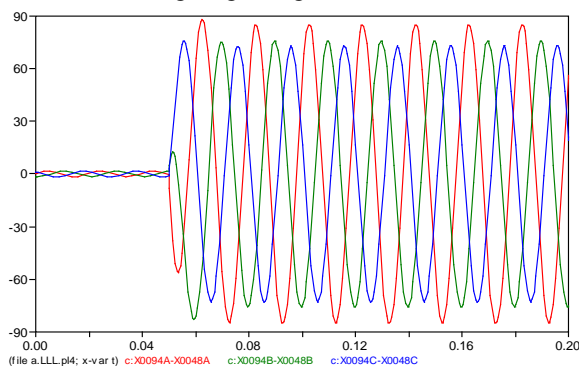
Gambar 6. Arus pada gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah lokasi A di 110 kV tanpa DG.

Magnitude dari grafik arus itu adalah :

$I_a = 91.40398 \text{ A}$; $I_b = 44.32013 \text{ A}$;

$I_c = 43.59739 \text{ A}$.

▪ Hubung singkat tiga fasa.



Gambar 7. Arus pada gangguan hubung singkat tiga fasa lokasi A di 110 kV tanpa DG

Magnitude dari grafik arus itu adalah :

$I_a = 87.98672 \text{ A}$; $I_b = 75.70299 \text{ A}$;

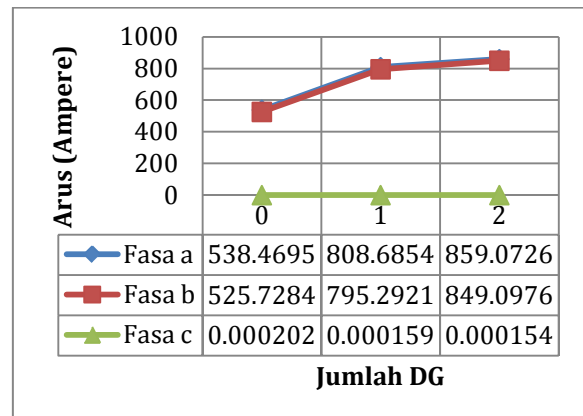
$I_c = 75.50236 \text{ A}$.

Gambar 8 menunjukkan peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat pada lokasi a, b dan c dengan tiga jenis gangguan hubung singkat yaitu hubung singkat dua fasa, dua fasa ke tanah dan tiga fasa dimana grafik simulasi dari peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat dimulai dengan tanpa DG, satu DG dan dua DG yang dipasang pada sistem distribusi.

Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat.

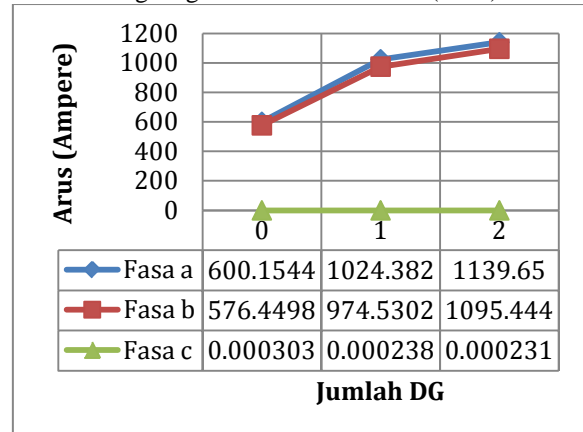
Grafik peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat pada lokasi A.

▪ Hubung singkat dua fasa (LL)



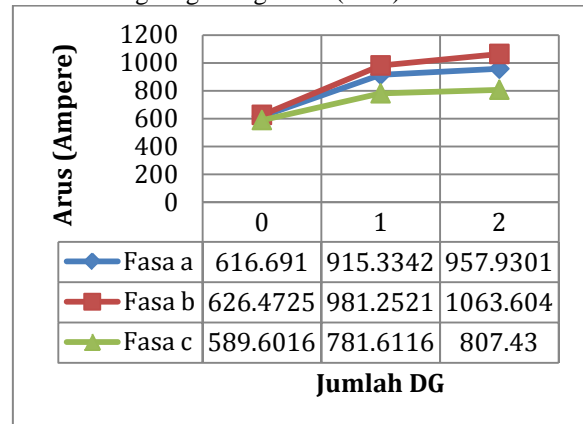
Gambar 8. Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat dua fasa (LL) pada lokasi a.

▪ Hubung singkat dua fasa ke tanah (LLG)



Gambar 9 Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (LLG) pada lokasi a.

▪ Hubung singkat tiga fasa (LLL)

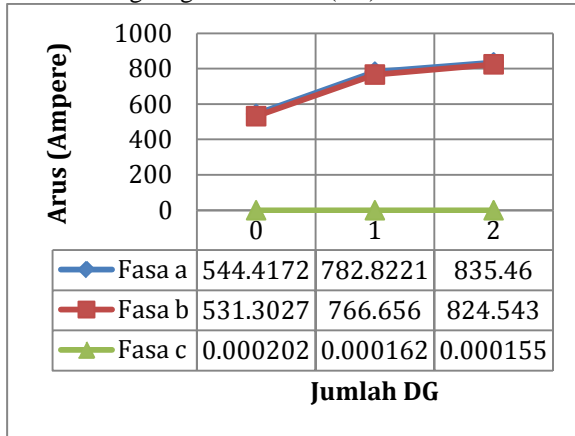


Gambar 10. Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat tiga fasa (LLL) pada lokasi a.

Grafik peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat pada lokasi B.

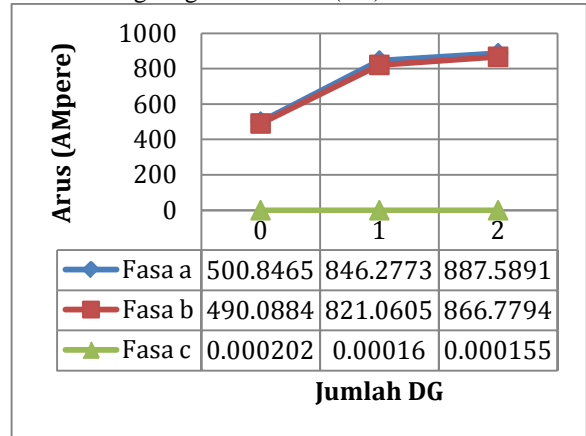
Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat pada lokasi C dapat dilihat pada Gambar 13.

▪ Hubung singkat dua fasa (LL)



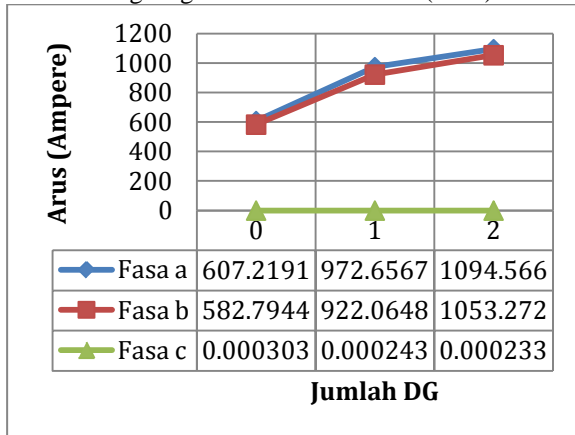
Gambar 11. Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat dua fasa (LL) pada lokasi b.

▪ Hubung singkat dua fasa (LL)



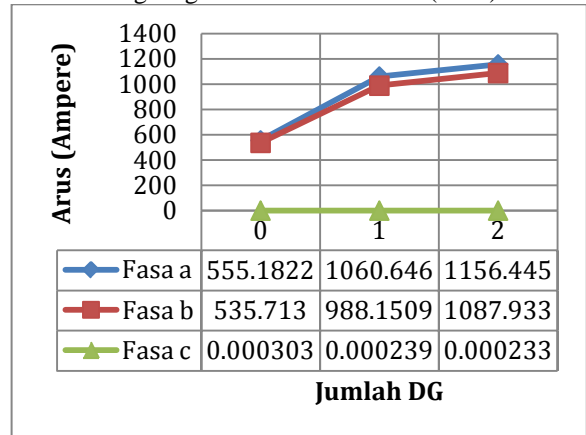
Gambar 14. Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat dua fasa (LL) pada lokasi c.

▪ Hubung singkat dua fasa ke tanah (LLG)



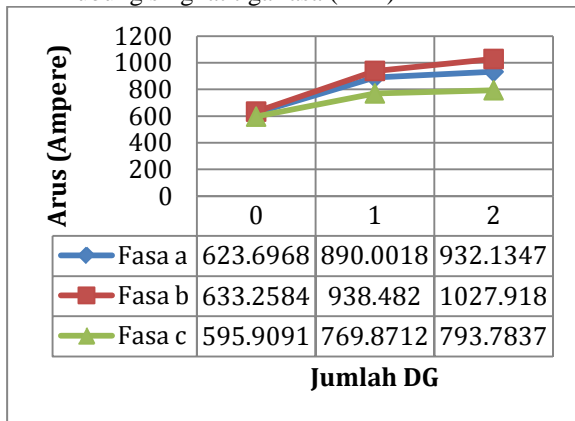
Gambar 12. Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (LLG) pada lokasi b.

▪ Hubung singkat dua fasa ke tanah (LLG)



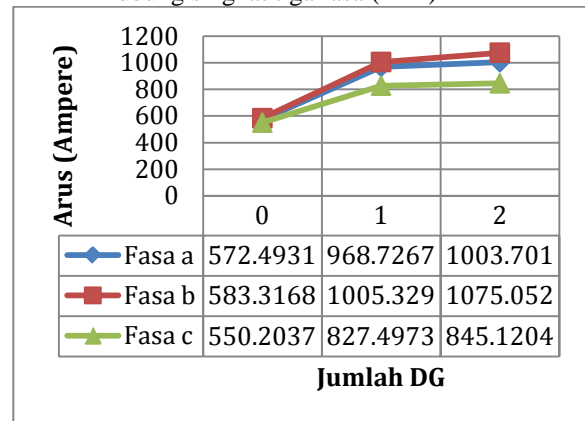
Gambar 15. Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (LLG) pada lokasi c.

▪ Hubung singkat tiga fasa (LLL)



Gambar 13. Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat tiga fasa (LLL) pada lokasi b.

▪ Hubung singkat tiga fasa (LLL)



Gambar 16. Peningkatan magnitude arus gangguan hubung singkat tiga fasa (LLL) pada lokasi c.

Tabel 3. Perbandingan magnitude arus hubung singkat (%) dengan lokasi dan jenis gangguan serta jumlah DG berbeda yang terpasang dalam sistem distribusi ditinjau dari lokasi gangguan pada sisi 25 kV.

Lokasi	Fasa	Tanpa DG - 1 DG		
		Nilai Gangguan (%)		
		LL	LLG	LLL
A	a	50.18	70.69	48.43
	b	51.27	69.06	56.63
	c	-21.29	-21.45	32.57
B	a	43.79	60.18	42.70
	b	44.30	58.21	48.20
	c	-19.80	-19.80	29.19
C	a	68.97	91.04	69.21
	b	67.53	84.46	72.35
	c	-20.79	-21.12	50.40

Lokasi	Fasa	1 DG - 2 DG		
		Nilai Gangguan (%)		
		LL	LLG	LLL
A	a	6.23	11.25	4.65
	b	6.77	12.41	8.39
	c	-3.14	-2.94	3.30
B	a	6.72	12.53	4.73
	b	7.55	14.23	9.53
	c	-4.32	-4.12	3.11
C	a	4.88	9.03	3.61
	b	5.57	10.10	6.94
	c	-3.13	-2.51	2.13

Lokasi	Fasa	Tanpa DG - 2 DG		
		Nilai Gangguan (%)		
		LL	LLG	LLL
A	a	59.54	89.89	55.33
	b	61.51	90.03	69.78
	c	-23.76	-23.76	36.95
B	a	53.46	80.26	49.45
	b	55.19	80.73	62.32
	c	-23.27	-23.10	33.21
C	a	77.22	108.30	75.32
	b	76.86	103.08	84.30
	c	-23.27	-23.10	53.60

Simulasi pada saat sistem tanpa DG, arus gangguan yang terjadi hanya kontribusi dari power grid saja. Magnitude arus gangguannya ditentukan oleh impedansi antara power grid dengan lokasi terjadinya gangguan. Impedansi ini meliputi impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol dari power grid, transformator gardu induk, dan saluran.

Pada penyulang A, arus gangguan yang paling kecil dihasilkan oleh gangguan pada lokasi a (bus yang terjauh dari power grid sejauh 23 Km), sedangkan arus gangguan yang paling besar dihasilkan oleh gangguan pada lokasi b (bus yang terdekat dengan power grid sejauh 22.5 Km). Pada penyulang B, lokasi c (bus yang terjauh dengan power grid sejauh 26.5 Km) arus gangguannya lebih kecil dibandingkan pada lokasi a dan b pada penyulang A. Semakin jauh bus tersebut dari power grid, maka impedansi salurannya akan semakin besar. Semakin besar impedansi salurannya maka arus gangguannya akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

Pemasangan sebuah DG pada sistem distribusi mengakibatkan perubahan arus gangguan. Arus gangguan yang terjadi pada suatu bus merupakan kontribusi dari power grid dan DG. Magnitude arus gangguannya, ditentukan oleh impedansi antara power grid dengan lokasi terjadinya gangguan serta ditentukan oleh impedansi antara DG dengan lokasi terjadinya gangguan. Kontribusi DG terhadap arus gangguan lebih kecil dibandingkan dengan kontribusi power grid. Variasi lokasi pemasangan sebuah DG pada salah satu bus di penyulang A mengakibatkan perubahan magnitude arus gangguan. Semakin dekat lokasi pemasangan DG dengan lokasi terjadinya gangguan maka arus gangguannya akan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin dekat dengan DG, maka impedansi salurannya akan semakin kecil sehingga kontribusi DG terhadap arus gangguan juga akan semakin besar.

Jumlah DG yang terpasang pada sistem juga berpengaruh terhadap magnitude arus gangguan. Hal ini disebabkan karena arus gangguan yang terjadi merupakan kontribusi dari 3 buah sumber yaitu dari power grid dan 2 buah DG. Kedua DG yang dipasang pada sebuah bus dalam sistem tersebut mempunyai kapasitas yang berbeda sehingga kontribusinya terhadap arus gangguan adalah berbeda. Impedansi urutan dari kedua DG adalah konstan walaupun lokasi terjadi gangguannya berubah-ubah. Dengan demikian, Impedansi saluranlah yang akan menentukan kontribusi dari masing-masing DG. Pada saat DG dipasang pada penyulang yang berbeda, juga mengakibatkan kenaikan arus gangguan. Kontribusi masing-masing DG terhadap arus gangguan menjadi tidak sama. Kontribusinya juga ditentukan oleh besarnya impedansi antara DG tersebut dengan lokasi terjadinya gangguan. Semakin dekat DG dengan lokasi terjadinya gangguan maka kontribusinya akan semakin besar. Arus gangguannya akan semakin kecil bila salah satu DG dipasang menjauhi lokasi terjadinya gangguan. Gangguan hubung singkat pada saluran distribusi juga berpengaruh pada perubahan magnitude arus di sisi transmisi baik sebelum maupun sesudah DG terpasang pada sistem.

6 Simpulan

Pada saat sistem belum terpasang DG, arus gangguan hanya ditentukan oleh lokasi terjadinya gangguan saja. Semakin dekat lokasi gangguan dengan power grid, maka arus gangguannya akan semakin besar begitupun sebaliknya semakin jauh lokasi gangguan dengan power grid, maka arus gangguannya akan semakin kecil.

Pemasangan DG pada sistem mengakibatkan kenaikan arus gangguan khususnya ketika gangguannya terjadi di dekat lokasi pemasangan DG.

Jumlah DG yang terpasang pada sistem distribusi juga berpengaruh terhadap magnitude arus gangguan, magnitude arus gangguan hubung singkat semakin besar ketika dua DG terpasang dibandingkan dengan tanpa DG dan setelah terpasang satu DG.

Perubahan magnitude arus pada sistem distribusi setelah mengalami gangguan yaitu terjadinya lonjakan magnitude arus yang besar dibandingkan dengan arus normalnya selain terasa pada lokasi gangguannya juga perubahan magnitude arusnya juga terasa pada sisi 110 kV.

Tipe gangguan hubung singkat dari simulasi menunjukkan perbedaan perubahan nilai arus yang dirasakan dilokasi gangguan pada sistem distribusi maupun yang dirasakan dilokasi 110 kV, dikarenakan magnitude arus

hubung singkat yang berbeda pada tiap tipe dan lokasi gangguan.

Kepustakaan

- [1]. Dulau, Lucian Ioan, Mihail Abrudean, and Dorin Bica., "Effects of Distributed Generation on Electric Power Systems." *Procedia Technology* 12 (2014): pp. 681-686.
- [2]. Gomez, Juan C., Jorge Vaschetti, Carlos Coyos, and C. Ibarlucea., "Distributed Generation: Impact on Protections and Power Quality." *Latin America Transactions, IEEE (Revista IEEE America Latina)* 11, no. 1 (2013): 460-465.
- [3]. Menghua Deng, Jun Qian, Zhenping Yan, Tao Yu, Jiaqing Zhou, Junchao Zhang and Liyi Li., "A research of feeder protection 10kV distribution networks including distributed generation." In *Electricity Distribution (CICED), 2012 China International Conference on*, pp. 1-4. IEEE, 2012.
- [4]. Zayandehroodi, Hadi, Azah Mohamed, Hussain Shareef, and Marjan Mohammad jafari. "Impact of distributed generations on power system protection performance." *International Journal of the Physical Sciences* 6, no. 16 (2011): pp. 3873-3881.
- [5]. http://wiki.aanval.com/wiki/snort_vs_suricata (di akses pada tanggal 30 agustus 2017).

Analisis Interferensi TV Digital Terhadap Long Term Evolution (LTE) Pada Frekuensi 700 MHz

Triyono, Dwi Astuti Cahyasiwi, Emilia Roza, Kun Fayakun

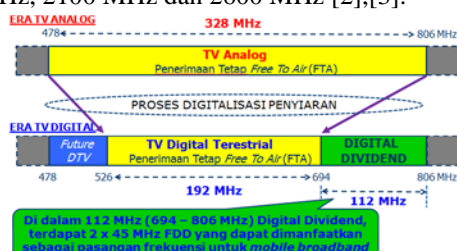
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka
Jalan Tanah Merdeka No.6, Kp Rambutan, Jakarta Timur, Indonesia
Telp; (021) 8400941 Fax : (021) 87782739

Abstrak – Long Term Evolution (LTE) merupakan teknologi telekomunikasi paling baru saat ini yang bekerja pada rentang frekuensi mulai dari FDD (Frequency Division Duplex) LTE 850 MHz, FDD LTE 900MHz, FDD LTE 1.800MHz, dan TDD (Time Division Duplex) LTE 2.300MHz. LTE juga bisa memanfaatkan spektrum 700 MHz yang akan dikosongkan oleh pemerintah terkait rencana digitalisasi penyiaran televisi di Indonesia. Koeksistensi TV Digital dan LTE pada frekuensi 700 MHz memerlukan studi yang menyeluruh, karena adanya potensi interferensi adjacent channel antara kedua sistem tersebut. Penelitian bertujuan untuk melihat pengaruh interferensi transmisi TV Digital terhadap penerima LTE melalui simulasi SEAMCAT. Melalui hasil simulasi dapat dilihat bahwa, dari nilai probabilitas interferensi 48.23 % dan C/I 10.82 berarti jarak terdekat antara pengganggu dengan yang terganggu 0.24 km dan jarak antara pemancar dengan penerima terganggu 0.5 km. Sedangkan pada jarak terjauh untuk pengganggu dengan yang terganggu 1.1 km dan jarak antara pemancar dengan penerima terganggu 2.7 km, dengan nilai probabilitas interferensi sebesar 48.23 % dan nilai C/I 10.91 dB. Berarti untuk jarak yang lebih dekat atau lebih jauh dari itu, pengguna LTE akan terinterferensi oleh pemancar TV Digital.

Kata kunci: Long Term Evolution (LTE); TV Digital; Interference; SEAMCAT.

1 Pendahuluan

Pada tahun 2018 mendatang, pemerintah melalui Menteri Komunikasi dan Informasi menyatakan bahwa akan mengkonversi seluruh TV Analog yang ada di Indonesia, menjadi TV Digital. Jika rencana pemerintah tersebut terlaksana, maka akan ada kekosongan frekuensi yang sebelumnya digunakan oleh TV Analog (*digital dividend*) sebesar 112MHz (frekuensi 694 – 806 MHz), dimana frekuensi 700MHz akan digunakan untuk alokasi jaringan Long Term Evolution (LTE) di Indonesia. Jaringan LTE bisa optimal, dengan alokasi bandwidth minimal 20 MHz. Beberapa penelitian telah menganalisis penggunaan frekuensi LTE pada rentang frekuensi 700 MHz, 800 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz dan 2600 MHz [2],[3].



Gambar 1 Digital Dividend

Frekuensi 700 MHz merupakan frekuensi yang baik untuk digunakan sebagai frekuensi kerja LTE di Indonesia, karena memiliki *propagation loss* yang lebih kecil, sehingga memiliki jangkauan koneksi paling luas dibandingkan dengan frekuensi 2100 MHz dan 2600 MHz dan cakupan *coverage areadownlink* yang lebih luas dibandingkan pada frekuensi 2600 MHz. [2]. Sedangkan dilihat dari data *link budget* LTE FDD bandwidth 2x20 MHz lebih baik dibandingkan LTE TDD bandwidth 20 MHz yang dapat menyimpan 110 eNodeB untuk area seluas 500 km² dan kecepatan data 100 Mbps. LTE TDD 20 MHz lebih baik dari LTE TDD 2x10 MHz yang menyimpan 55 eNodeB pada area dan kecepatan data yang sama [3].

Di Indonesia frekuensi 700 MHz masih ditempati oleh TV Analog sehingga perlu ada aturan dari pemerintah agar TV Analog beralih ke TV Digital. Jika aturan tersebut dapat terlaksana, maka akan ada penggunaan pita frekuensi berdampingan (*adjacent channel*) antara TV Digital dan LTE yaitu pada frekuensi 700 MHz. Hal ini akan menimbulkan potensi interferensi yang disebabkan adanya *adjacent interference* tersebut. LTE akan selalu

menginterferensi TV Digital pada pita frekuensi 700 MHz karena daya pemancar LTE lebih besar dibanding TV Digital. (4). Pada penelitian ini, peneliti akan menganalisa interferensi TV digital terhadap LTE yang terjadi di Indonesia, dengan skenario untuk melihat efek interferensi yang disebabkan oleh transmisi TV Digital terhadap *receiver* LTE. Dimana TV Digital yang akan menjadi pengganggu dan *User Equipment* (UE) LTE menjadi yang terganggu.

1.1 Permasalahan

Permasalahan yang muncul dari latar belakang diatas adalah:

1. Bagaimana interferensi yang terjadi antara TV Digital terhadap performansi UE LTE
2. Berapa besar probabilitas interferensi yang terjadi antara TV Digital dengan UE LTE pada frekuensi 700 MHz.
3. Berapa jarak terdekat dan terjauh TV Digital dengan UE LTE dilihat dari interferensinya.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan bertujuan untuk :

1. Mengetahui pengaruh interferensi TV Digital terhadap UE LTE dengan melihat kriteria C/I dan mencari nilai probabilitas interferensinya
2. Mengetahui berapa jarak terdekat dan terjauh transmisi TV Digital dengan UE LTE yang tidak mengganggu performansi.

1.3 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah yang akan diterapkan pada penelitian ini adalah :

1. Perancangan skenario melihat dari sisi *downlink* transmisi TV Digital yang menginterferensi *receiver* UE LTE.
2. *Local Environment* dari *receiver* UE LTE adalah 80% *outdoor* dan 20% *indoor*.

Analisis difokuskan pada karakteristik C/I (*Carrier to Interference*) *receiver* UE LTE tanpa menghitung nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*).

2 Rujukan - Rujukan

2.1 Televisi Digital Indonesia

Penggunaan frekuensi untuk televisi digital diatur dalam Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika (KOMINFO) No. 23/PER/M.KOMINFO/11/2011 tentang Rencana Induk (*Masterplan*) Frekuensi Radio untuk Keperluan Televisi Siaran Digital Terrestrial pada Pita Frekuensi Radio 478 – 694 MHz. Departemen Komunikasi dan Informatika menetapkan standar penyiaran televisi digital terrestrial penerimaan tetap tidak berbayar (*free-to-air*) di Indonesia adalah *Digital Video Broadcasting-Second Generation Terrestrial* (DVB-T2), menggantikan standar DVB-T yang telah ditetapkan sebelumnya [1].

Penerimaan siaran *broadcast* HDTV pada dasarnya sama saja dengan TV analog, hanya saja perangkat yang di pakai dan cara pemrosesan sinyalnya

yang berbeda. Stasiun TV analog atau digital memancarkan gelombang elektromagnetik termodulasi dengan frekuensi tertentu sesuai dengan frekuensi yang dipakai oleh kanal tersebut. Kemudian sinyal diterima oleh perangkat penerima sinyal, lalu diolah oleh *set of box*, dan akhirnya ditampilkan pada layar televisi dan speaker [9]. Perbedaannya adalah pada TV digital menggunakan modulasi digital, dimana gelombang informasi merupakan data-data digital berupa bit-bit biner.

DVB-T mampu mengirimkan sejumlah besar data pada kecepatan tinggi secara *point-to-multipoint*, secara langsung dari pemancar bumi (terrestrial) ke pemirsa di rumah. Fungsi pemancar bumi adalah untuk mentransmisikan data digital MPEG-2 yang telah dimodulasi menjadi gelombang VHF/UHF melalui antena pemancar [8]. Sistem modulasi digital digunakan adalah modulasi *Orthogonal Frequency Division Multiplex* (OFDM) dengan pilihan tipe modulasi QPSK, 16QAM atau 64QAM. Dengan menggunakan sistem ini, bandwidth yang digunakan (sekitar 6 - 8 MHz) dapat menjadi efisien yang memungkinkan pemakaian satu kanal untuk beberapa konten [9]. Karakteristik utama dalam memenuhi DVB transmisi TV Digital dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini [9].

Tabel 1 Karakteristik utama pada transmisi TV Digital DVB⁽⁹⁾

Parameter	Satelit (DVB-S)	Kabel (DVB-C)
Lebar Kanal	26-54 MHz	8 MHz (7 MHz)
Tipe Modulasi	QPSK (=4 QAM)	64, 32 atau 16 QAM

Pengalokasian frekuensi untuk TV Digital dan LTE akan memanfaatkan *digital dividend* hasil dari migrasi TV Analog menjadi TV Digital. TV Analog yang menggunakan *bandwidth* sebesar 328 MHz, sedangkan bandwidth TV digital hanya 192 MHz. Sehingga *bandwidth* sebesar 136 MHz yang tersisa. Bandwidth sebesar 112 MHz tersebut dialokasikan untuk *digital dividend*, seperti terlihat pada gambar 1. [10].

2.2 Long Term Evolution (LTE)

Long Term Evolution (LTE) merupakan standar protokol komunikasi seluler yang dibangun oleh 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP) sebagai kelanjutan dari teknologi 3G (UMTS), seringkali disebut sebagai teknologi seluler generasi keempat atau 4G [5].

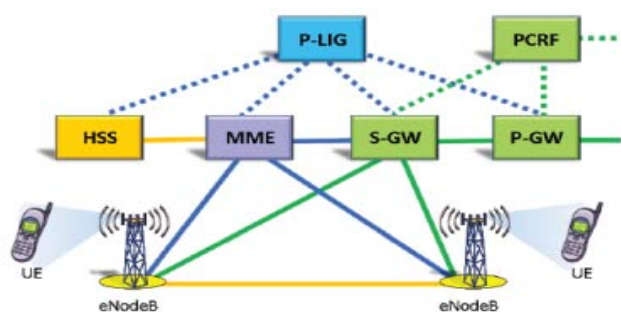
Pengembangan LTE ditujukan untuk memenuhi kebutuhan kecepatan data yang semakin tinggi dibandingkan dengan generasi sebelumnya. LTE mampu memberikan kecepatan pengiriman data lebih dari 100 Mbps untuk *downlink* dan lebih dari 50 Mbps untuk *uplink* dan beroperasi dengan bandwidth antara 1,4 MHz sampai 20 MHz [5]. LTE mempunyai layanan kecepatan data yang lebih baik [6] yang mampu mengakomodasi semua perangkat berbasis IP, sehingga mendukung pertukaran data ke semua teknologi *broadband*.

Berbeda dengan teknologi komunikasi seluler sebelumnya yang menggunakan model *circuit-switch*, LTE telah didesain untuk mendukung model *packet-switch* saja sehingga seluruh jaringan pada teknologi komunikasi LTE menggunakan *Internet Protocol* (IP) sebagai dasar

pertukaran data. Di Indonesia sendiri, LTE beroperasi pada spektrum frekuensi didalam standar IMT 2000 antara lain 450 MHz, 950 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2100 MHz dan dapat juga beroperasi pada frekuensi lain seperti 700 Mhz dan 2,5 GHz [5].

Terdapat dua komponen utama yang menyusun arsitektur LTE, yaitu *core network* (CN) dan *access network* (AN). CN bertanggung jawab terhadap seluruh kendali dari *user equipment* (UE) yang terhubung pada jaringan LTE, misalnya proses pensinyalan, alokasi nomor IP dan sebagainya yang memiliki node dengan fungsi berbeda-beda, antara lain MME, S-GW, HSS, P-GW, dan PCRF [5].

MME (*Mobility Management Entity*) bertanggung-jawab terhadap pengaturan sinyal control antara UE dan CN, termasuk mengatur proses penetapan koneksi, menjaga kelangsungan koneksi pemutusan koneksi, dan kemanan data selama koneksi berlangsung.



Gambar 2 Arsitektur Jaringan LTE

Semua paket data yang berasal dari UE akan melewati S-GW (*Serving Gateway*). S-GW berfungsi sebagai jangkar mobilitas local pada saat UE berpindah antara eNodeB atau berfungsi sebagai *base station*. S-GW juga melakukan fungsi *administrative* seperti melakukan koleksi informasi yang berkaitan dengan biaya akses. Fungsi penting lain dari S-GW adalah sebagai penghubung dari LTE ke teknologi komunikasi generasi ketiga dan sebelumnya.

P-GW (*Packet Data Network Gateway*). bertanggung-jawab pada alokasi IP setiap UE, *Quality of Service* (QoS) dan biaya akses berdasarkan aliran data (*flow-based charging*), dan melakukan pembagian aliran sesuai dengan kebutuhan QoS dari masing-masing aliran data.

HSS (*Home Subscriber Server*) menyimpan data profil QoS dan batasan-batasan untuk melakukan roaming dari setiap pengguna.

PCRF (*Policy Control and Charging Rules Function*) bertanggung-jawab terhadap setiap aliran data setiap pengguna seperti didefinisikan di dalam QoS, misalnya kecepatan pertukaran data yang dibutuhkan, waktu tunda minimum proses pertukaran data dan sebagainya.

Access Network terdiri atas beberapa eNodeB dan UE. eNodeB berfungsi sebagai *base station* yang terkoneksi satu sama lain dan terkoneksi juga kesemua MME yang berada di dalam *core network*. Teknologi radio akses yang digunakan di dalam LTE menggunakan standar yang disebut *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network*

(E-UTRAN). E-UTRAN bertanggung-jawab terhadap semua fungsi yang berkaitan dengan radio akses misalnya alokasi *bandwidth*, kompresi paket, pensinyalan dari eNodeB ke MME dan keamanan radio akses [5].

Desain teknologi LTE memisahkan proses *downlink* dan *uplink* pada dua pipa spektrum yang berbeda. Kecepatan *downlink* bisa lebih dari 100 Mbps, sementara kecepatan *uplink* lebih dari 50 Mbps. *Uplink*-nya berbasis pada teknologi SC-FDMA (*Single Carrier Frequency Division Multiple Access*), sedangkan *downlink*-nya berbasis OFDM (*Orthogonal frequency division multiplexing*), yang membuat baterai *handset* lebih tahan lama meski digunakan untuk koneksi data [6].

Sementara untuk antenna, LTE menggunakan konsep MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) yang memungkinkan antenna untuk melewatkan data berukuran besar dengan memecah datasebelum dikirim secara terpisah. LTE dirancang untuk mendukung *carrier bandwidth* yang fleksibel mulai dari 1,4 MHz sampai 20 MHz, dibanyak band spektrum untuk penyebaran FDD (*frequency division duplexing*) dan TDD (*time division duplexing*) seperti terlihat pada tabel 2.

Tabel 2 Band Frekuensi LTE ⁽⁷⁾

E-UTRA Operatin g Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
	F _{UL, low} – F _{UL, high}	F _{DL, low} – F _{DL, high}	
1	1920–1980 MHz	2110 – 2170 MHz	FDD
2	1850–1910 MHz	1930 – 1990 MHz	FDD
3	1710–1785 MHz	1805 – 1880 MHz	FDD
4	1710–1755 MHz	2110 – 2155 MHz	FDD
5	824 – 849 MHz	869 – 894 Mhz	FDD
6 ¹	830 – 840 MHz	875 – 885 MHz	FDD
7	2500–2570 MHz	2626 – 2690 MHz	FDD
8	880 – 915 MHz	925 – 960 MHz	FDD
9	1749.9–1784.9 MHz	1844.9 – 1879.9 MHz	FDD
10	1710–1770 MHz	2110 – 2170 MHz	FDD
11	1427.9–1447.9 MHz	1475.9 – 1495.9 MHz	FDD
12	699 – 716 MHz	729 – 746 MHz	FDD
13	777 – 787 MHz	746 – 756 MHz	FDD
14	788 – 798 MHz	758 – 768 MHz	FDD
15	Reserved	Reserved	FDD
16	Reserved	Reserved	FDD
17	704 – 716 MHz	734 – 746 MHz	FDD
18	815 – 830 MHz	860 – 875 MHz	FDD
19	830 – 845 MHz	875 – 890 MHz	FDD
20	832 – 862 MHz	791 – 821 MHz	FDD
21	1447.9 – 1462 MHz	1495.9 – 1510.9 MHz	FDD
22	3410 - 3490 MHz	3510 – 3590 MHz	FDD
23	2000 – 2020 MHz	2180 – 2200 MHz	FDD
24	1626.5– 1660.5 MHz	1525 – 1559 MHz	FDD
25	1850 – 1915 MHz	1930 – 1995 MHz	FDD
26	814 – 849 MHz	895 – 894 MHz	FDD
27	807 – 824 MHz	852 – 869 MHz	FDD
28	703 – 748 MHz	758 – 803 MHz	FDD
29		717 – 728 MHz	FDD ²
30	2305 – 2315 MHz	2350 – 2360 MHz	FDD
31	452.5 – 457.5 MHz	462.5 – 467.5 MHz	FDD
32		1452 – 1496 MHz	FDD ²
33	1900 – 1920 MHz	1900 – 1920 MHz	TDD
34	2010 – 2025 MHz	2010 – 2025 MHz	TDD
35	1850 – 1910 MHz	1850 – 1910 MHz	TDD
36	1930 – 1990 MHz	1930 – 1990 MHz	TDD
37	1910 – 1930 MHz	1910 – 1930 MHz	TDD

38	2570 – 2620 MHz	2570 – 2620 MHz	TDD
39	1880 – 1920 MHz	1880 – 1920 MHz	TDD
40	2300 – 2400 MHz	2300 – 2400 MHz	TDD
41	2496 – 2690 MHz	2496 – 2690 MHz	TDD
42	3400 – 3600 MHz	3400 – 3600 MHz	TDD
43	3600 – 3800 MHz	3600 – 3800 MHz	TDD
44	703 – 803 MHz	703 – 803 MHz	TDD

NOTE 1: Band 6 is not applicable
NOTE 2: Restricted to E-UTRA operation when carrier aggregation is configured. The downlink operating band is paired with the uplink operating band (external) of the carrier aggregation configuration that is supporting the configured Pcell.

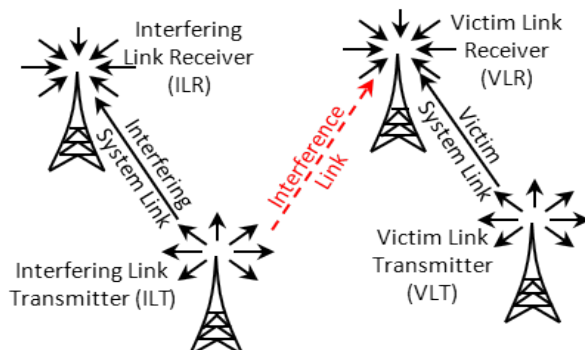
Dalam penelitian ini, operasi band yang digunakan adalah Band 12 yang memiliki rentang frekuensi UL 699 MHz – 716 MHz dan rentang frekuensi DL 729 MHz – 746 MHz, khusus untuk frekuensi DL, akan digunakan nilai ratio 737 MHz.

2.3 Interferensi

Interferensi merupakan *noise* yang timbul karena operasional dari sistem komunikasi yang lain. Interferensi akan mempengaruhi besar daya sinyal yang diterima pada suatu *receiver*. Besar kecilnya interferensi akan bergantung pada jarak antara sistem penerima dan sistem pengirim dibandingkan dengan faktor lainnya, seperti cuaca dan kondisi lingkungan [11].

Skema interferensi yang akan dibahas pada penelitian ini akan dikelompokkan menjadi 4 karakteristik, seperti terlihat pada gambar 3 yaitu :

1. *Interfering Link Transmitter (ILT)*;
2. *Interfering Link Receiver (ILR)*;
3. *Victim Link Receiver (VLR)*;
4. *Victim Link Transmitter (VLT)*;



Gambar 3. Skema Interferensi

Dari 4 karakteristik di atas, pengaruh gangguan yang akan di analisis dalam penelitian ini adalah *interference link*.

Dalam komunikasi *wireless*, Interferensi terbagi menjadi 2 macam diantaranya *co-channel interference (CCI)* dan *adjacent-channel interference (ACI)*. CCI merupakan interferensi yang disebabkan oleh sinyal frekuensi *carrier* sama dengan sinyal informasinya, sedangkan ACI merupakan interferensi yang disebabkan oleh pengaruh dari frekuensi kanal yang berdekatan.

Interferensi co-channel dapat terjadi saat transmisi dilakukan pada frekuensi yang sama di area yang sama. Ketika ukuran masing-masing sel sama dan BTS mengirimkan kekuatan yang sama, rasio gangguan *co-*

channel dari daya yang ditransmisikan tergantung pada radius sel dan jarak antara pusat-pusat terdekat sel *co-channel*.

Interferensi yang disebabkan oleh pengaruh dari frekuensi kanal yang berdekatan, menimbulkan kerusakan atau kehilangan data. Dalam Interferensi *Adjacent Channel*, sinyal yang diharapkan dan sinyal saluran yang berdekatan mungkin sebagian dikorelasikan dengan fading [12].

dRSS merupakan kekuatan sinyal terima yang diinginkan oleh *Victim Link Transmitter (VLT)* yang dikirim oleh *access point (AP)* ke *mobile station (MS)* UE LTE [12]. Nilai dRSS dihasilkan dari perhitungan kuat sinyal terima oleh *Victim Link Receiver (VLR)* yang menjadi nilai sensitivitas dari penerima UE LTE. Nilai dRSS akan menjadi salah satu input parameter hitung pada penelitian ini. Nilai dRSS diperoleh dengan rumus 1 di bawah ini [13].

$$dRSS = f(P_{VLT}^{Supplied}, g_{VLT \rightarrow VLR}, PL_{VLT \rightarrow VLR}, g_{VLR \rightarrow VLT})$$

$$dRSS = P_{VLT}^{Supplied} + g_{VLT \rightarrow VLR}(f_{VLR}) + PL_{VLT \rightarrow VLR}(f_{VLR}) + g_{VLR \rightarrow VLT}(f_{VLR}) \quad (1)$$

Dimana :

f = frekuensi yang diterima di *victim receiver* (UE LTE)
 $g_{VLT \rightarrow VLR}$ = *gain antenna wanted transmitter* dalam arah *victim receiver*

$P_{VLT}^{supplied}$ = distribusi tingkat daya maksimal yang diberikan pada antenna penerima yang diinginkan

$PL_{VLT \rightarrow VLR}$ = rugi-rugi jalur antara *transmitter* yang diinginkan dengan *victim receiver*

iRSS merupakan sinyal interferensi yang diterima *victim receiver* dari beberapa transmitter penginterferensi. Nilai iRSS dihasilkan dari besar nilai sinyal *unwanted* yang diterima oleh VLR dari pemancar TV Digital (ILT).

iRSS dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut [14]:

$$emission_{ILT}(f_{ILT} - f_{VLR}) = unwanted_{rel} + P_{ILT}^{output} \quad (2)$$

Dimana jumlah interferensi sinyal (*unwanted_{rel}*) diperoleh dari :

$$unwanted_{rel} = 10 \log \left\{ \frac{10}{\ln 10} \sum_i^{N-1} \frac{(P_{i+1}^{linier} - P_i^{linier})(\Delta f_{i+1} - \Delta f_i)}{P_{i+1}^{dbc} - P_i^{dbc}} \right\} \quad (3)$$

Keterangan:

P_{i+1}^{linier} = Daya linier yang dihasilkan transmitter pengganggu i+1

P_i^{linier} = Daya linier yang dihasilkan transmitter pengganggu ke i

P_{it}^{output} = Power transmitter antenna pengganggu

P_{i+1}^{dbc} = Emission mask yang dinormalisasi (dBc/MHz)

Δf_{i+1} = Selisih frekuensi *victim receiver* dengan *interfering transmitter* ditambah $\frac{1}{2}$ kali *bandwidth victim receiver*

$\Delta f_i =$ Selisih frekuensi *victim receiver* dengan *interfering transmitter* dikurang $\frac{1}{2}$ kali *bandwidth victim receiver*

Carrier to Interference (C/I) merupakan sebuah nilai karakteristik dari suatu teknologi yang memanfaatkan sinyal pembawa (*carrier*) dalam melakukan proses pertukaran data. Proses pertukaran data yang menggunakan jaringan nirkabel akan lebih rentan terkena interferensi karena prosesnya terjadi di lingkungan luar ruangan. Untuk mengetahui interferensi yang terjadi antara TV Digital terhadap *receiver* UE LTE, maka akan dikumpulkan data mengenai hubungan antara jarak daerah cakupan dari TV Digital terhadap nilai C/I dari *receiver* UE LTE. Untuk mendapatkan nilai C/I dapat dilakukan dengan persamaan berikut ini [13]:

$$\frac{C}{I} (dB) = 10 \log \left(\frac{10^{dRSS/10}}{10^{iRSS_{composite}/10}} \right) \quad (4)$$

Dalam penelitian ini, karakteristik C/I yang digunakan pada *receiver* UE LTE (*Handset*) sebesar 10 dB. Nilai karakteristik tersebut nantinya akan menjadi pembanding dengan C/I dari hasil simulasi.

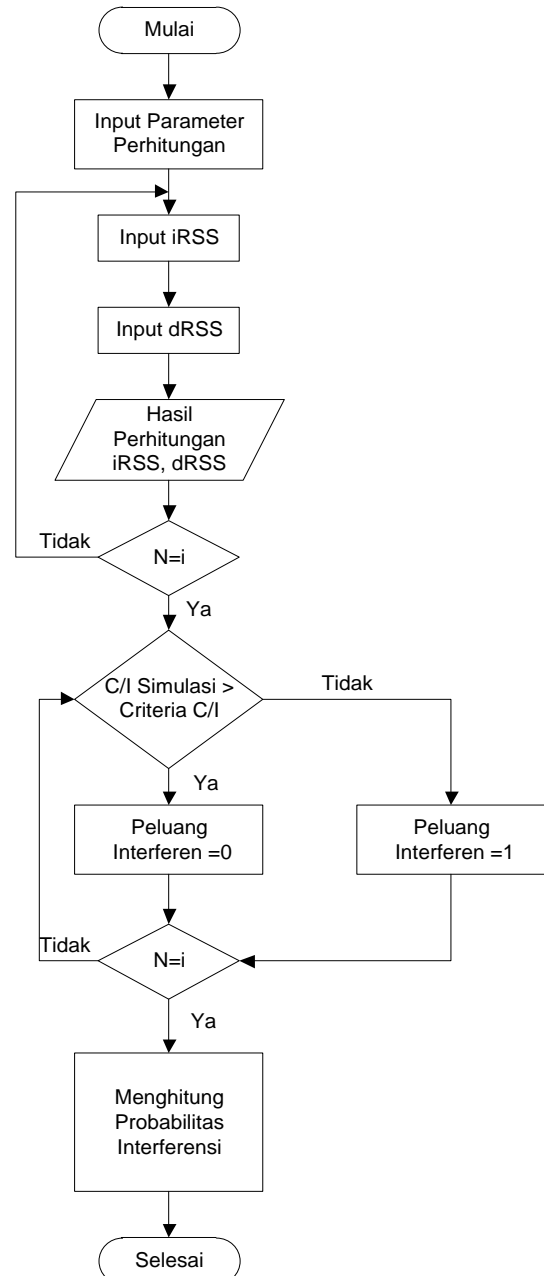
Interference Calculation Engine (ICE) akan melakukan perhitungan interferensi berdasarkan data dRSS dan iRSS yang diperoleh [13]. Probabilitas terjadinya interferensi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P \left(\frac{dRSS}{iRSS_{composite}} > \frac{C}{I} \middle| dRSS > sens_{vr} \right) \quad (5)$$

Dimana $iRSS_{composite}$ merupakan jumlah dari semua sinyal yang menginterferensi *receiver* LTE dan $sens_{vr}$ merupakan nilai sensitivitas dari *receiver* LTE. rancangan penelitian

Analisis interferensi yang terjadi antara TV Digital dengan LTE dimulai dengan menetapkan skenario yang akan digunakan dalam penelitian, yaitu melihat sisi *downlinktransmitter* TV Digital yang menginterferensi *receiver* dari UE LTE. *Local Environment* dari *receiver* tersebut berada pada posisi *outdoor* 80% dan *indoor* 20%. Analisis difokuskan pada karakteristik *Carrier to Interference* (C/I) yang dimiliki oleh *receiver* UE LTE.

Model skenario pada penelitian ini akan disimulasikan menggunakan *SpectrumEngineering Monte-Carlo Analysis Tools* (SEAMCAT) untuk menilai probabilitas sistem radio komunikasi. Tahapan pada skenario pemodelan, dapat dilihat pada alur penelitian di bawah ini.



Gambar 4. Alur Penelitian

Berdasarkan gambar 4 diatas, penelitian dimulai dengan menginput nilai parameter yang dimiliki oleh TV Digital dan UE LTE. Setelah menginput kedua parameter, tahap selanjutnya adalah menghitung nilai dRSS dan iRSS. Setelah semua nilai diperoleh, kemudian dilanjutkan pada proses *Interference Calculation Engine* (ICE).

Proses pada ICE akan menghitung nilai perbandingan antara C/I simulasi dengan kriteria C/I yang dimiliki oleh UE LTE. Dari hasil perbandingan tersebut, akan dikondisikan menjadi dua hasil peluang interferensi. Jika nilai C/I simulasi > kriteria C/I, maka proses perhitungan akan dilanjutkan ke probabilitas interferensi hingga selesai, sedangkan jika nilai C/I simulasi < kriteria C/I, maka proses simulasi akan dilanjutkan sesuai dengan banyak data yang diinginkan.

Dalam penelitian ini, proses perhitungan dRSS dan iRSS akan dilakukan sebanyak satu perhitungan manual dengan menggunakan rumus-rumus yang ada pada Dasar Teori. Sedangkan keseluruhan proses perhitungan pada penelitian ini, menggunakan perangkat software (SEAMCAT). Arsitektur SEAMCAT terdiri dari 4 tahapan proses, yaitu (14):

1. *Event Generation Engine*;
2. *Distribution Evaluation Engine*;
3. *Interference Calculation Engine*;
4. *Limits Evaluation Engine*;

Event Generation Engine (EGE) mengambil input skenario interferensi yang dibuat dan melakukan proses perhitungan *desired Receiver Signal Strength* (dRSS) *victim receiver* (UE LTE). Perhitungan *interfering Receiver Signal Strength* (iRSS) yang dihasilkan TV Digital juga dilakukan pada bagian ini, dimana proses dilakukan sebanyak N kali sehingga hasilnya akan memberikan nilai statistik yang memadai. Kemudian data *array* yang dihasilkan oleh EGE diuji oleh *Distribution Evaluation Engine* (DEE) secara statistik untuk mengetahui apakah data tersebut memiliki korelasi yang baik. Dan diakhir proses, data *array* tersebut dijadikan masukan bagi perhitungan probabilitas interferensi pada proses *Interference Calculation Engine* (ICE) [14].

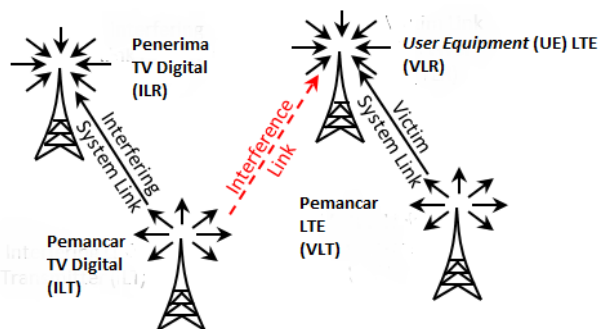
SEAMCAT mempunyai dua parameter yang penting dalam simulasi, yaitu :

a) **Victim Link**

Merupakan area kerja aktif antara sisi pengirim (*wanted transmitter*) dengan sisi penerima (*victim receiver*). *Victim link* ini seperti ruang atau area yang digunakan untuk simulasi.

b) **Interfering Link**

Merupakan area kerja aktif interfering antara sisi pengirim interfering (*interfering transmitter*) dengan sisi penerima (*wanted receiver*). *Interfering link* ini sama seperti *victim link* berupa ruang atau area yang digunakan untuk simulasi.



Gambar 5. Skema Victim Link dan Interfering Link

Dari gambar 5 terlihat ada 4 karakteristik dalam skenario penelitian ini, yaitu *Interfering Link Receiver* (ILR), *Interfering Link Transmitter* (ILT), *Victim Link Receiver* (VLR) dan *Victim Link Transmitter* (VLT) (13). ILR akan dimodelkan sebagai penerima dari TV Digital, kemudian ILT merupakan pemancar dari TV Digital. Untuk VLR akan dimodelkan sebagai pengguna dari jaringan LTE

(UE LTE) yang terganggu oleh pemancar TV Digital (ILT). Dan terakhir VLT merupakan pemancar jaringan LTE yang ada pada Base Station (BS).

3 Parameter Hitung

Pada table 3 akan memperlihatkan parameter dari pengguna LTE yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 3 . Parameter receiver UE LTE(1)

Antenna Height	1,5 m
Operation Frequency	737 MHz (band 12)
Receive Power	23 dB
Sensitivity	-98 dBm
Reception Bandwidth	200 kHz
Interference Criteria (C/I)	10 dB
Local Environment	80% indoor, 20% outdoor (wallLoss = 5 dB; stdDev=10)

Selain dari sisi pengguna, dalam penelitian ini juga akan melibatkan pemancar sinyal LTE yang akan menjadi *Victim Link Transmitter* (VLT). VLT ini akan memancarkan sinyal yang diinginkan dari penerima LTE. Pemancar LTE harus memiliki parameter yang standar agar dapat difungsikan di Indonesia [1] dapat dilihat pada Tabel berikut ini.

Tabel 4. Parameter Pemancar LTE⁽¹⁾

Frekuensi Kerja	800 MHz – 2300 MHz
Uplink	824 MHz – 2400 MHz
Downlink	869 MHz – 2400 MHz
Output Power :	Tidak ada batas
Wide Area Base Station (BS)	≤ + 38 dBm
Medium Range (BS)	≤ + 24 dBm (untuk 1 transmit antenna port)
Local Area (BS)	≤ + 21 dBm (untuk 2 transmit antenna port)
	≤ + 18 dBm (untuk 4 transmit antenna port)
	≤ + 20 dBm (untuk 1 transmit antenna port)
	≤ + 17 dBm (untuk 2 transmit antenna port)
Home (BS)	≤ + 14 dBm (untuk 4 transmit antenna port)
Power Dynamic Range (band)	
1.4	7.7 dB
3	11.7 dB
5	13.9 dB
10	16.9 dB
15	18.7 dB
20	20 dB

Selanjutnya parameter hitung sinyal pengganggu dalam penelitian ini adalah pemancar TV Digital. Pada Tabel akan memperlihatkan parameter dari pemancar TV Digital.

Tabel 5. Parameter pemancar TV Digital⁽¹⁵⁾

Parameter	Nilai
Antenna Height	300 m
Antenna Peak Gain	28 dBi
Power Transmit	33 dBm
Local Environment	100% outdoor

Setelah ketiga parameter tersebut ditentukan, maka langkah selanjutnya adalah menentukan parameter skenario yang akan digunakan. Parameter skenario dalam penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 6

Tabel 6. Parameter Skenario

Mode	Corr (victim link → ILTx)
Position Relative to	Victim Link Receiver
Range between VLR & ILT	3 km, 3.25 km, 3.75 km dan 4 km
Minimum Coupling	1,5 dB
Propagation Model	Extended Hata
General Environment	Urban
Propagatiom Environment	Above Roof
Loss between adjacent floor	18.3 dB
Empirical Parameters	0.46
Size of the room	4 m
Height of each floor	3 m

3.1 Data array dRSS

Untuk mencari nilai dRSS, bisa dilakukan dengan menggunakan rumus 1.

Perhitungan propagasi loss $PL_{VLT \leftrightarrow VLR}$ dalam implementasi model Extended Hata pada SEAMCAT antara transmitter dan receiver sebagai berikut [13]:

$$f_{propage}(f, h_1, h_2, d, env) = L + T(G(\sigma)) \quad (8)$$

Dimana :

$$f = 737 \text{ MHz}$$

$$h_1 = 300 \text{ m}$$

$$h_2 = 1.5 \text{ m}$$

$$d = 2.7 \text{ km}$$

$$env = 18.3 \text{ dB}$$

$$\sigma = 9^{(13)}$$

$$L = \text{Median path loss (dB)}$$

Nilai L sudah menjadi konstanta pada perhitungan propagasi Extended Hata dengan menggunakan Rumus sebagai berikut.

$$L = 69.9 + 26.2 \log(737) - 13.82 \log(\max\{30, Hb\}) + [44.9 - 6.55 \log(\max\{30, Hb\})](\log(d)) - a(Hm) - b(Hb) \quad (9)$$

Dimana :

$$a(Hm) = (1.1 \log(737) - (-0.7 \times \left(\frac{1.5}{10}\right) - (1.56 \log(737) - 0.8) + \left(0.20 \log\left(\frac{1.5}{10}\right)\right)) \quad (10)$$

$$a(Hm) = (3.15 - (0.105 - 4.47 - 0.8) + (-0.164))$$

$$a(Hm) = 8.361$$

$$b(Hb) = \min\left(0.20 \log\left(\frac{300}{30}\right)\right)$$

$$b(Hb) = -(-0.20) = 0.20$$

Dikarenakan nilai $b(Hb)$ yang terlalu kecil, maka akan digunakan nilai tinggi antenna pemancar TV Digital yaitu

300 m [13]. Kemudian sisipkan nilai $a(Hm)$ dan $b(Hb)$ ke dalam Rumus L

$$L = (145.02 - 31.82) + (29.83 - 8.361 - 300)$$

$$L = (113.2 - 278.5) = -165.3$$

Selanjutnya sisipkan nilai L kedalam Rumus

$$f_{propage}(f, h_1, h_2, d, env) = L + T(G(\sigma))$$

$$f_{propage} = -165.3 + 9 = -156.3$$

Setelah semua nilai diketahui, sisipkan kembali kedalam Rumus dRSS

$$dRSS = 23 + 15 - 156.3 + 15 = -103.3 \text{ dBm}$$

Nilai dRSS dapat langsung diketahui pada SEAMCAT setelah menginput semua parameter yang dibutuhkan. Nilai tersebut akan diperoleh melalui skenario perubahan jarak antara transmitter LTE terhadap UE LTE. Jarak yang diskenariokan pada penelitian ini dibagi menjadi dua kondisi yaitu jarak terdekat dan jarak terjauh dari VLT-VLR. Jarak terjauh akan ditentukan dengan hasil dRSS yang diperoleh, untuk dibandingkan dengan nilai sensitivitas *downlink* perangkat LTE yaitu sebesar -98 dBm [3]. Sedangkan untuk kondisi jarak terdekat, akan dilihat dari hasil dRSS yang paling kuat.

Proses pencarian data array dRSS dilakukan yang merupakan koneksi langsung antara pemancar LTE dengan penerima UE LTE. Sehingga data yang akan dicari berdasarkan kondisi jarak tersebut dapat dilihat pada tabel 7 (jarak terjauh dan jarak terdekat).

Tabel 7. Data array dRSS (jarak terjauh dan terdekat)

VLT → VLR (km) terjauh	VLT → VLR (km) terdekat
2.7 km	1.5 km
2.5 km	1.0 km
2.3 km	0.5 km
2.1 km	0.4 km
2.0 km	0.3 km

3.2 Data array iRSS

iRSS merupakan sinyal interferensi yang diterima *victim receiver* dari beberapa *transmitter* penginterferensi. Dalam penelitian ini, nilai iRSS didapat dari transmitter TV Digital yang menginterferensi receiver LTE. Seperti halnya dRSS, nilai iRSS juga akan diskenariokan berdasarkan jarak yang sama dengan parameter hitung dari dRSS.

Dalam perhitungan SEAMCAT, terdapat dua data iRSS yaitu $iRSS_{unwanted}$ dan $iRSS_{blocking}$, nilai keduanya akan digabung menjadi $iRSS_{composite}$ yang akan menjadi input pada diagram alir ICE untuk mencari nilai probabilitas interferensi. Perhitungan iRSS secara manual, dapat menggunakan Rumus 2 dan Rumus 3. Setelah semua nilai diketahui, sisipkan kedalam rumus

$$unwanted_{rel} = 10 \log \left\{ \frac{10}{\ln 10} \sum_i^{N-1} \frac{(P_{i+1}^{linier} - P_i^{linier})(\Delta f_{i+1} - \Delta f_i)}{P_{i+1}^{dbc} - P_i^{dbc}} \right\}$$

$$unwanted_{rel} = 10 \log \left\{ 4.34 \frac{(3-2)(100 - (-100))}{-32.8 - 69} \right\}$$

$$unwanted_{rel} = 10 \log \left\{ 4.34 \frac{200000}{-101.8} \right\} = 39$$

Kemudian sisipkan kedalam rumus

$$emission_{ILT}(f_{ILT} - f_{VLR}) = -(39 + 69) = -108 \text{ dBm}$$

Untuk memenuhi banyak data yang diinginkan, keseluruhan nilai iRSS akan dicari dengan menggunakan software bantu SEAMCAT.

3.3 Probabilitas Interferensi

Menghitung probabilitas interferensi adalah tahap akhir dari penelitian ini, dengan melihat nilai persentase yang dihasilkan oleh SEAMCAT untuk probabilitas interferensi, penelitian ini dapat menghasilkan kesimpulan berapa besar peluang interferensi yang terjadi antara TV Digital dengan LTE pada frekuensi 700 MHz.

Berdasarkan nilai dRSS dan iRSS_{composite}, maka probabilitas interferensi dapat ditentukan juga melalui rumus 5 diatas. Melalui rumus tersebut nilai dRSS dan iRSS_{composite} akan dibandingkan dengan nilai C/I yang dimiliki oleh *Handset (receiver LTE)*, dan nilai mutlak dRSS harus lebih besar dari nilai *sensitivity receiver LTE* yaitu sebesar -98.0 dBm.

Nilai *sensitivity* tersebut akan menjadi tolak ukur dari probabilitas interferensi, jika nilai C/I Simulasi > C/I Kriteria, maka peluang interferensi akan dikatakan 0 dan jika sebaliknya maka peluang interferensi akan dinyatakan 1. Setelah melakukan simulasi dengan semua data parameter hitung yang ada, didapatkan hasil dRSS dan iRSS.

3.4 Hasil dRSS

Hasil dRSS yang diperoleh, dapat dilihat pada Tabel 8

Tabel 8. Nilai dRSS pada jarak terjauh

VLT → VLR (km)	dRSS (dBm)
2.7 km	-97.78
2.5 km	-96.21
2.3 km	-94.52
2.1 km	-93.83
2.0 km	-93.09

Berdasarkan Tabel 8, perubahan nilai dRSS dipengaruhi oleh jarak antara VLT dengan VLRnya, semakin jauh jarak antara keduanya maka nilai dRSS akan semakin kecil, sedangkan jika jarak antara kedua semakin dekat, maka nilai dRSS akan semakin besar.

Kemudian untuk kondisi jarak terdekat akan ditentukan melalui nilai dRSS paling kuat yang dihasilkan dari VLT-VLR. Berdasarkan hasil perhitungan simulasi menunjukkan nilai dRSS yang paling besar adalah -75.00 dBm, pada jarak 0.5 km. Sehingga pada kondisi jarak terdekat ini rentang jarak akan dimulai dari 1.5 km, 1.0 km,

0.5 km, 0.4 km dan 0.3 km. Keseluruhan nilai dRSS yang diperoleh dari kondisi jarak terdekat dapat dilihat pada tabel 9 di bawah ini.

Tabel 9 Nilai dRSS pada jarak terdekat

VLT → VLR (km)	dRSS (dBm)
1.5 km	-88.72
1.0 km	-83.10
0.5 km	-75.00
0.4 km	-75.00
0.3 km	-75.00

Berdasarkan Tabel 9, kondisi jarak yang lebih dekat dari 0.5 km menghasilkan pola yang sama pada grafik, kemudian akan terjadi penurunan nilai dRSS seiring jarak yang semakin jauh antar VLT-VLR sampai 1.5 km.

Nilai iRSS yang diperoleh, berubah sesuai dengan perubahan jarak antara ILT-VLR. Berdasarkan kondisi nilai dRSS, nilai iRSS juga akan disimulasikan pada jarak VLT-VLR terdekat dan terjauh, dengan ini berarti akan ada dua kondisi nilai iRSS yang dihasilkan.

Kondisi jarak terjauh dari ILT-VLR adalah 1.1 km dengan nilai iRSS sebesar -108.69 dBm. Penentuan jarak sejauh 1.1 km tersebut, didasarkan oleh selisih dari nilai dRSS pada jarak terjauh (-97.78 dBm) dengan nilai iRSS pada kondisi jarak yang sama (-108.69 dBm) untuk memperoleh nilai C/I simulasi. Sehingga kondisi jarak terjauh ini dimulai dari 0.7 km, 0.8 km, 0.9 km, 1.0 km dan 1.1 km.

Keseluruhan hasil iRSS pada kondisi jarak terjauh ini dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10 Nilai iRSS terhadap VLT-VLR jarak terjauh

ILT-VLR (km)	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
VLT-VLR (km)	iRSS (dBm)				
2.7	-101.99	-103.86	-106.24	-107.58	-108.69
2.5	-101.98	-104.00	-105.69	-107.61	-108.88
2.3	-101.85	-104.18	-105.75	-107.33	-109.04
2.1	-101.99	-103.96	-105.77	-107.47	-108.90
2.0	-101.80	-104.08	-106.01	-107.46	-109.01

Berdasarkan tabel 10 dapat terlihat pola penurunan nilai iRSS yang terjadi antara TV Digital dengan UE LTE jika jarak antara keduanya semakin jauh.

Pada tahap selanjutnya, akan dicari jarak yang paling dekat antara ILT-VLR, dengan kondisi jarak VLT-VLR 0.5 km. Acuan yang digunakan untuk mencari jarak ILT-VLR yang terdekat adalah kriteria C/I, yang nilainya harus lebih besar atau sama dengan 10 dB. Didapatkan batas jarak terdekat dari ILT-VLR adalah 0.24 km, karena pada jarak tersebut, menghasilkan nilai selisih antara dRSS dengan iRSS sebesar 10.82 dB, lebih dari batas nilai kriteria C/I. Sehingga kondisi jarak terdekat ILT-VLR akan dimulai dari rentang jarak 0.21 km, 0.22 km, 0.23 km, 0.24 km dan 0.25 km. Keseluruhan hasil iRSS pada kondisi jarak terdekat ini dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11 Nilai iRSS terhadap VLT-VLR jarak terdekat

ILT-VLR (km) \ VLT-VLR (km)	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
	iRSS (dBm)				
1.5	-83.56	-84.38	-84.87	-85.68	-86.04
1.0	-83.78	-84.20	-85.25	-85.66	-86.28
0.5	-83.47	-84.36	-84.82	-85.82	-86.27
0.4	-83.67	-84.29	-84.81	-85.66	-86.16
0.3	-83.55	-84.10	-84.95	-85.60	-86.08

3.5 Hasil Perhitungan C/I

Nilai C/I sangat dipengaruhi oleh nilai dRSS dan iRSS menggunakan Rumus 4. Sebagai contoh menghitung nilai C/I:

Diketahui:

dRSS = -92.31 dB

iRSS = -101.86 dB

C/I = dRSS - iRSS
 = -92.31 - (-101.86)
 = 9.55 dB

Hasil yang didapatkan nilai C/I pada kondisi jarak terjauh adalah sebesar 10.91 dB. Nilai ini sudah bisa dikatakan aman dari interferensi, karena sudah melebihi nilai kriteria C/I 10 dB. Ini berarti kondisi pengguna LTE yang berada pada jarak dibawah 1.1 km, sudah mendapatkan interferensi dari pemancar TV Digital. Keseluruhan nilai C/I yang dihasilkan pada simulasi ini dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12 Hasil C/I (jarak terjauh)

ILT-VLR (km) \ VLT-VLR (km)	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
	C/I (dB)				
2.7	4.21	6.08	8.46	9.80	10.91
2.5	5.77	7.79	9.48	11.40	12.67
2.3	7.33	9.66	11.23	12.81	14.52
2.1	8.16	10.13	12.18	13.64	15.07
2.0	8.71	10.99	12.88	14.37	15.92

Berdasarkan tabel 12 dapat dilihat pola kenaikan nilai C/I dipengaruhi oleh kondisi jarak antara ILT-VLR yang semakin jauh. Sedangkan batas kriteria C/I UE LTE ditunjukkan dengan garis merah pada nilai 10 dB.

Untuk hasil C/I pada kondisi jarak terdekat diperoleh sebesar 10.82 dB dengan jarak ILT-VLR 0.24 km dan jarak VLT-VLR 0.5 km. Berarti untuk jarak yang lebih dekat dari itu, pengguna LTE akan terinterferensi oleh pemancar TV Digital. Keseluruhan hasil C/I pada kondisi jarak terdekat dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13 Hasil C/I jarak terdekat

ILT-VLR (km) \ VLT-VLR (km)	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
	C/I (dB)				
1.5	-5.16	-4.34	-3.85	-3.04	-2.68
1.0	0.68	1.00	2.15	2.56	3.18

0.5	8.47	9.36	9.82	10.82	11.27
0.4	8.67	9.29	9.81	10.66	11.16
0.3	8.55	9.10	9.95	10.80	11.08

Hasil probabilitas interferensi merupakan persentase yang menunjukkan nilai besar interferensi yang didapatkan oleh UE LTE. Nilai probabilitas interferensi pada kondisi jarak terjauh dapat dilihat pada tabel 14.

Tabel 14 Nilai Probabilitas Interferensi jarak terjauh

ILT-VLR (km) \ VLT-VLR (km)	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
	Prob. Interferensi (%)				
2.7	68.51	63.22	55.80	51.86	48.23
2.5	63.92	58.24	52.40	46.49	42.38
2.3	59.31	52.39	47.62	42.65	37.40
2.1	56.86	51.21	42.41	39.53	35.14
2.0	54.94	48.36	44.04	37.11	32.51

Berdasarkan tabel 14 nilai probabilitas interferensi paling besar adalah 68.51 % sedangkan yang paling kecil adalah 32.51 %. Ini terjadi karena kondisi jarak antara ILT-VLR yang semakin jauh, menyebabkan probabilitas interferensi yang semakin kecil. Untuk kondisi pada jarak terjauh ini, nilai probabilitas yang dihasilkan adalah sebesar 48.23 %, dimana nilai tersebut berdasarkan C/I yang didapatkan pada Tabel sebelumnya.

Untuk nilai probabilitas interferensi pada jarak terdekat, dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15 Nilai Probabilitas Interferensi jarak terdekat

ILT-VLR (km) \ VLT-VLR (km)	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25
	Prob. Interferensi (%)				
1.5	85.08	84.74	84.07	81.85	81.72
1.0	74.40	73.82	70.83	69.99	69.68
0.5	54.77	52.31	50.90	47.92	47.30
0.4	54.99	52.54	51.55	48.77	48.09
0.3	54.93	52.56	51.13	48.98	47.99

Berdasarkan tabel 15 didapatkan nilai probabilitas paling besar adalah 85.08 % dan yang paling kecil adalah 47.99 %. Berdasarkan hasil simulasi, nilai probabilitas interferensi yang sesuai dengan C/I pada pada tabel 15 didapatkan sebesar 47.92 %. Dengan jarak ILT-VLR 0.24 km dan jarak VLT-VLR 0.5 km.

4 Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan.

Dari hasil simulasi dan analisis serta perhitungan yang sudah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Jarak terjauh antara transmiter dan penerima LTE dari hasil simulasi adalah 2.7 km dengan nilai sensitivitas - 97.78 dBm
2. Hasil C/I yang didapatkan pada jarak terjauh adalah 10.91 dB, Sedangkan pada jarak terdekat sebesar 10.82 dB.

3. Nilai probabilitas interferensi yang didapatkan pada jarak terjauh adalah sebesar 48.23 %, sedangkan pada jarak terdekat sebesar 47.92%.
4. Jarak terjauh antara VLT-VLR adalah 2.7 km dengan jarak pengganggu terjauh adalah 1.1 km.
5. Jarak pengganggu terdekat adalah 0.24 km dengan syarat jarak antara VLT-VLR kurang dari 0.5 km.

4. 2. Saran

Dalam penelitian ini, ada beberapa hal yang menjadi saran, diantaranya :

1. Data yang ada pada penelitian ini bisa disebarluaskan agar dapat dikembangkan oleh akademisi lainnya.
2. Hasil dari penelitian ini bisa menjadi salah satu acuan bagi pemerintah dalam menerapkan kebijakan alokasi frekuensi untuk LTE di Indonesia.
3. Pada penelitian selanjutnya, bisa dilakukan pengukuran secara langsung sehingga didapatkan hasil yang real dari interferensi TV Digital terhadap UE LTE.

Kepustakaan

- [1] Rudiantara.kominfo.go.id. [Online] 4 Februari 2015. [Dikutip: 25 September 2016.] <https://web.kominfo.go.id>
- [2] Analisis Pengalokasian Frekuensi Teknologi Long Term Evolution (LTE) Di Indonesia. Aryanta, Dwi. Bandung : Institut Teknologi Nasional Bandung, 2012, Vol. III. ISSN
- [3] Reframing Of Frequency 700 MHz Analysis for Long Term Evolution (LTE) in Indonesian Using Link Budget Calculation. Kusuma, Denny, et al., et al. Bandung : International Conference on Electrical Engineering and Informatics, 2011, Vol. I. ISSN
- [4] Interference Analysisbetween Digital Television and LTE System under Adjacent Channels in 700 MHz Band. Mathe, Dercio, et al., et al. Belem : International Conference on Emerging of Networking, 2014, Vol. I
- [5] Jusak.Teknologi Komunikasi Data Modern. Surabaya : ANDI Yogyakarta, 2012
- [6] Mengenal Teknologi Long Term Evolution (LTE). Usman, Uke Kurniawan. Bandung : Institut Teknologi Bandung, 2015, Vol. I. ISSN
- [7] IEEE. www.ieee.co.id. [Online] [Dikutip: 17 November 2016]
- [8] Rancang Bangun SOftware Sistem Monitoring TV Digital DVB-T2. .P, Galih Arindra, Endroyono dan Kusrahhardjo, Gatot. Surabaya : Institut Teknik Sepuluh Nopember, 2015, Vol. I. ISSN: 2337-2539
- [9] Muis, Saludin.TV DIGITAL Teori & Sistem. Yogyakarta : Graha Ilmu, 2013. ISSN
- [10] Analisis Jaringan LTE pada Frekuensi 700 MHz dan 1800 MHz Area Kabupaten Bekasi dengan Pendekatan Tekno Ekonomi. Salamah, Ketty Siti. Jakarta : Universitas Mercu Buana, 2016, Vol. I. ISSN
- [11] Solusi Menekan Interferensi Co-Channel dan Adjacent Channel pada Sistem Seluler WCDMA Multi Operator. Pratama, Wahyu, Endroyono dan Suwadi. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014, Vol. I.
- [12] Nofriando, Enggo.ANALISA INTERFERENSI LONG TERM EVOLUTION TERHADAP WIFI PADA FREKUENSI UNLICENSED. Jakarta : Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, 2015
- [13] ECO SEAMCAT. seamcat.org, tractool.seamcat.org. [Online] 6 August 2015. [Dikutip: 4 May 2016.] <http://tractool.seamcat.org>.
- [14] Cahyasiwi, Dwi Astuti.Analisis Interferensi Agregat UWB Terhadap WLAN 802.11a. Depok : Universitas Indonesia, 2009
- [15] Ikah, Ir. Jakarta : TVRI, 20 November 2016.

Rancang Bangun Antena Multiband V-Double Dipole Frekuensi 700 MHz dan 2,4 GHz

Sukmara*, Emilia Roza, Dwi Astuti Cahyasiwi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka
Jalan Tanah Merdeka No.6, Kp Rambutan, Jakarta Timur, Indonesia
Telp; (021) 8400941 Fax : (021) 87782739
E-mail: emilia_roza@uhamka.ac.id, dwi.cahyasiwi@uhamka.ac.id

* Penulis Koresponden

Abstrak – Perancangan ini merupakan pengembangan dari perancang bangun antena V-double dipole pada frekuensi kerja LTE (Long Term Evolution) 700 MHz, yang memiliki peluang untuk beresonansi juga pada frekuensi 2,4 MHz (wi-fi). Rancang bangun antena multiband V double dipole frekuensi 700 MHz dan 2,4 GHz menggunakan metodologi simulasi, perancangan prototype antena serta pengukuran. Media kawat tembaga yang digunakan 2 diameter yang berbeda, yaitu 4,3 mm dan 3,6 mm. Hasil simulasi diperoleh nilai VSWR sebesar 1.05 pada antena berdiameter 3,6 mm frekuensi 700 MHz dan 1.34 pada frekuensi 2,4 GHz lebih kecil dibandingkan dengan antena berdiameter 4,3 mm yaitu 1.6 pada frekuensi 700 MHz dan 1,37 pada frekuensi 2.4 MHz. Sedangkan pada pengukuran prototype antena terjadi pergeseran frekuensi resonansi dibandingkan dengan hasil pada simulasi yaitu sebesar 18,244 MHz pada antena berdiameter 4,3 mm frekuensi 700 MHz dan 40 MHz pada frekuensi 2,4 GHz, sedangkan pada pengukuran prototype antena berdiameter 3,6 mm frekuensi 700 MHz bergeser sebesar 70,211 MHz dan 355,092 MHz frekuensi 2,4 GHz.

Kata kunci: LTE , Antena , Frekwensi

1 Pendahuluan

Pertumbuhan kebutuhan masyarakat modern di Indonesia akan informasi dan komunikasi dengan pelayanan data yang cepat dan mobile terus meningkat, menurut APJII (Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia) peningkatan itu akan terus terjadi melihat pertumbuhan pengguna internet yang selalu meningkat setiap tahunnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 [1].



Gambar 1. Jumlah dan Penetrasi Pengguna Internet di Indonesia Tahun 2005 – 2014.

Hal ini menjadi tantangan untuk jasa layanan telekomunikasi agar memberikan layanan berupa sistem teknologi komunikasi yang dapat memberikan pelayanan yang lebih baik lagi. Sebagai jawaban atas tantangan tersebut, teknologi 4G LTE hadir memberikan kecepatan data yang tinggi dan latency yang rendah. 4G LTE adalah proyek dari 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Project*) yang merupakan pengembangan dari teknologi UMTS (3G) dengan kecepatan transfer data maksimum 2 Mbps dan HSPA (3.5G) dengan kecepatan transfer data mencapai 14 Mbps pada sisi downlink dan 5,6 Mbps pada sisi uplink, sedangkan LTE memiliki kecepatan transfer data mencapai 100 Mbps untuk downlink dan 50 Mbps untuk uplink. Selain itu, teknologi 4G LTE juga dapat memberikan coverage dan bandwidth yang lebih besar dibandingkan dengan teknologi 3G dan 3,5G [2].

Berdasarkan peraturan Menteri Komunikasi dan Informasi Republik Indonesia nomor 27 tahun 2015 tentang persyaratan teknis perangkat telekomunikasi berbasis standar teknologi Long Term Evolution, Base Station di Indonesia harus memenuhi rentang frekuensi LTE seperti pada Tabel 1 [3].

Tabel 1 Rentang Frekuensi Kerja LTE

LTE Band Number	Frekuensi	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Mode Duplex
1	2100	1920-1980	2110-2170	FDD
3	1800	1710-1785	1805-1880	FDD
5	800	824-849	869-894	FDD
8	900	880-915	925-960	FDD
40	2300	2300-2400	2300-2400	TDD

Pada rentang frekuensi kerja LTE pada Tabel 1 terdapat dua teknik duplex yang digunakan, yaitu frequency division duplex (FDD) dan time division duplex (TDD). FDD merupakan teknik duplex yang menggunakan dua frekuensi yang berbeda untuk melakukan komunikasi dalam dua arah, yang dapat mengirim dan menerima sinyal secara simultan dengan frekuensi yang berbeda-beda. Teknik ini membutuhkan *guard frequency* untuk memisahkan frekuensi pengiriman dan penerimaan secara simultan. Sedangkan TDD menggunakan frekuensi tunggal dan frekuensi tersebut digunakan oleh semua kanal untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data, setiap kanal tersebut dimultiplexing dengan menggunakan basis waktu sehingga setiap kanal memiliki *time slot* yang berbeda [4].

Peraturan Menteri Komunikasi dan Informasi Republik Indonesia nomor 22 tahun 2011 tentang penyelenggaraan penyiaran televisi digital terrestrial penerimaan tetap tidak berbayar (*free to air*), yang merencanakan adanya *reframing* dari TV analog menjadi TV digital.

Reframing adalah menata ulang frekuensi yang sebelumnya, untuk mendapatkan frekuensi yang lebih optimal. TV analog dengan rentang frekuensi 406 MHz sampai 806 MHz direframing menjadi TV digital dengan rentang frekuensi 406 MHz sampai 698 MHz [5], yang menghasilkan frekuensi sisa dari 698 MHz sampai 806 MHz (*digital dividend*), yang akan dimanfaatkan untuk layanan 4G LTE. Perencanaan *digital dividend* ini telah dilakukan di beberapa negara seperti Inggris, Korea Selatan, USA, Jepang dan Brazil, oleh karena itu pemerintah Indonesia menargetkan pada tahun 2018 frekuensi 700 MHz sudah siap untuk layanan 4G LTE [6], [7], [8].

Melihat latar belakang di atas, penggunaan teknologi LTE frekuensi 700 MHz di Indonesia sangat terbuka untuk dijadikan penelitian diantaranya perancangan perangkat yang mampu diaplikasikan pada teknologi LTE yaitu antenna.

Antena merupakan perangkat yang sangat penting dalam sistem telekomunikasi untuk mengirim ataupun menerima sinyal elektromagnetik. Pada penelitian antenna V-double [9] single band yang bekerja pada frekuensi 700 MHz akan dilanjutkan menjadi antenna multiband yang bekerja pada frekuensi 700 MHz dan 2,4 GHz. Frekuensi 2,4 GHz merupakan teknologi wi-fi standar IEEE 802.11 b/g, frekuensi ini dipilih karena pada penelitian tersebut, terdapat peluang untuk menambahkan frekuensi kerja 2,4 GHz.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka akan dirancang antenna yang dapat bekerja pada dua frekuensi

yaitu frekuensi 700 MHz dan 2,4 GHz. Bagaimana kesesuaian parameter antenna pada hasil simulasi dengan hasil pengukuran prototype antenna.

Perancangan antenna kawat ini bertujuan melakukan optimalisasi dimensi antenna agar memiliki parameter antenna yang baik pada frekuensi kerja 700 MHz dan frekuensi 2,4 GHz dengan terlebih dahulu melakukan simulasi menggunakan software Mmana-Gal Basic V 3.0.0.31, kemudian merancang dan membangun dua buah antenna dipole dengan bentuk V ganda, yang bekerja pada frekuensi 700 MHz (LTE) dan 2,4 GHz (wi-fi) yang memiliki $VSWR \leq 2$, $returnloss \leq -10$ serta bandwidth sebesar 18 MHz (pada *uplink* dan *downlink*) untuk LTE dan 83,5 MHz untuk *wi-fi*, selanjutnya membandingkan parameter antenna pada hasil simulasi dengan hasil pengukuran prototype antenna.

Dalam penelitian ini ada beberapa batasan masalah yang diambil sebagai patokan dalam perancangan yaitu parameter antenna yang diamati pada simulasi yaitu VSWR, return loss, bandwidth, gain, impedansi masukan dan pola radiasi, sedangkan pengujian pada antenna prototype mengukur VSWR return loss dan impedansi (smithchart) dengan alat ukur *network analyzer*, diameter kawat yang digunakan dalam pembuatan antenna 4,3 mm dan 3,6 mm.

Manfaat yang didapat dalam perancangan antenna multiband ini, yaitu memahami proses dalam merancang antenna kawat dengan simulasi software dan cara pembuatan prototype antenna.

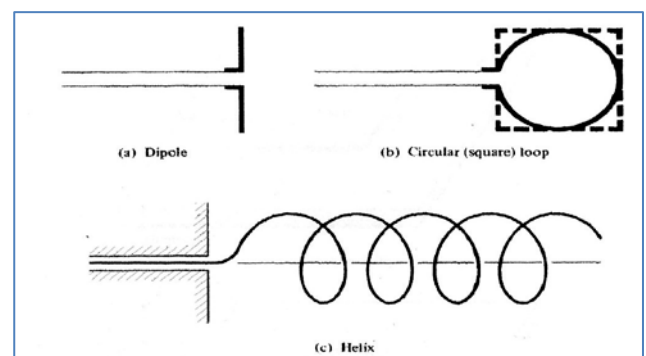
2 Rujukan - Rujukan

2.1 Antena

Antena adalah daerah transisi antara saluran transmisi dan ruang bebas, sehingga antenna berfungsi sebagai pemancar atau penerima gelombang elektromagnetik [10].

Pada sisi penerima antenna akan menerima gelombang elektromagnetik dan mengubahnya menjadi sinyal yang dapat diproduksi oleh radio penerima, sedangkan pada sisi pemancar antenna mengubah energi Radio Frequency (RF) menjadi medan elektromagnetik yang akan dipancarkan ke udara [11].

Antena memiliki beberapa jenis dengan bentuk yang berbeda-beda, salah satunya adalah antenna kawat. Antena kawat mempunyai beberapa jenis, seperti dipole, Circular (square) Loop dan helix yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut ini [10].



Gambar 2. Jenis Antena Kawat linier

Antena yang akan dirancang terbuat dari kawat antena yang berdiameter 4,3 mm dan 3,6 mm, sesuai dengan referensi dari ORARI (Organisasi Amatir Radio Indonesia) kawat yang dipakai dalam pembuatan antena sebaiknya berdiameter 2 mm atau lebih karena kekuatan material akan lebih kuat [12].

Ada 6 parameter untuk mengetahui kualitas antena antena yaitu:

a. *VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)*

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum $|V|_{\max}$ dengan minimum $|V|_{\min}$. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ).

$$\Gamma = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (1)$$

Keterangan:

$\Gamma = -1$: Merefleksikan negatif maksimum, ketika saluran terhubung singkat

$\Gamma = 0$: Tidak ada refleksi, ketika saluran dalam keadaan matched sempurna

$\Gamma = +1$: Refleksi positif maksimum, ketika saluran dalam rangkaian terbuka (14)

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 atau $SWR = 1$, yang berarti refleksi saluran dalam keadaan matching sempurna, namun hal ini sulit dicapai dalam pengaplikasiannya. Sehingga nilai VSWR yang bisa ditoleransi bernilai ≤ 2 .

b. *Impedansi input*

Impedansi input dari suatu antena didefinisikan sebagai impedansi pada bagian terminal antena atau perbandingan antara tegangan dan arus listrik pada terminal antena [15].

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad (2)$$

Keterangan:

Z_{in} = Impedansi masukan

R_{in} = Resistansi input

X_{in} = Reaktansi input

Resistansi input menyatakan tahanan disipasi. Daya dapat terdisipasi melalui dua cara, yaitu karena panas pada struktur antena yang berkaitan dengan perangkat keras dan daya yang meninggalkan antena kemudian tidak kembali (teradiasi). Reaktansi input menyatakan daya yang tersimpan pada medan dekat dari antena. Pada perancangan ini, akan menggunakan kawat coaxial RG8 dan konektor N-type, keduanya memiliki impedansi sebesar 50 ohm.

c. *Return Loss*

Return loss pada dasarnya memiliki asal yang saling bersinergi dengan VSWR yaitu terjadi disebabkan oleh gelombang yang ditransmisikan dan gelombang yang

direfleksikan yang sama-sama menentukan *matching* antara perangkat transmisi dengan antena. Kemudian dalam menentukan nilai performansinya berbanding lurus dengan VSWR yaitu semakin kecil hasil return loss maka semakin baik kualitas antena tersebut.

Nilai return loss dapat dicari dengan cara memasukkan koefisien tegangan ke dalam Persamaan 5 (14):

$$Return Loss = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (3)$$

Keterangan:

Γ = Koefisien tegangan

Nilai return loss yang baik adalah dibawah -9,54 dB, nilai ini adalah nilai terbesar yang bisa ditolelir. Maka dari itu penelitian antena ini menginginkan hasil return loss sebesar ≤ -10 dB untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

d. *Bandwidth*

Bandwidth merupakan daerah rentang frekuensi kerja dari suatu antena, dimana pada rentang tersebut VSWR yang dihasilkannya masih belum keluar dari batas yang ingin dicapai yaitu ≤ 2 .

Nilai bandwidth dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas dari suatu antena sudah diketahui, misalkan sebuah antena bekerja pada frekuensi tengah sebesar f_c , namun ia juga masih dapat bekerja dengan baik pada frekuensi f_1 (dibawah f_c) sampai dengan f_2 (diatas f_c), maka lebar bandwidth dari antena tersebut adalah $(f_2 - f_1)$. Tetapi apabila dinyatakan dalam persen, maka bandwidth antena tersebut dinyatakan dengan Persamaan 4 [16].

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

f_1 = frekuensi terendah dalam band

f_2 = frekuensi tertinggi dalam band

f_c = frekuensi tengah dalam band

e. *Gain*

Gain adalah perbandingan antara intensitas radiasi suatu antena pada suatu arah utama dengan intensitas radiasi dari antena isotropik yang menggunakan sumber daya masukan yang sama dan dinyatakan dengan Persamaan 5 [14].

$$G = D \eta \quad (5)$$

Keterangan:

G = Gain (penguatan)

D = Directivity (keterarahan)

η = Efisiensi antena

Ketika antena digunakan pada suatu sistem, maka antena harus efisien dalam memindahkan daya yang terdapat pada terminal input yang kemudian menjadi daya radiasi. Untuk menyatakan ini, gain didefinisikan sebagai 4π kali ratio dari intensitas pada suatu arah dengan daya yang diterima antena, dinyatakan dengan persamaan 6

$$G(\theta, \phi) = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_i} \quad (6)$$

Keterangan:

$U(\theta, \phi)$ = Intensitas radiasi

P_i = Daya input

f. Pola Radiasi

Pola radiasi didefinisikan sebagai sebuah fungsi matematika atau representasi grafik dalam fungsi koordinat ruang dari sifat radiasi antenna. Sifat radiasi meliputi kerapatan flux, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi. Biasanya sifat dari radiasi yang sangat penting ialah persebaran secara tiga dimensi atau dua dimensi dari energi yang diradiasikan antenna [10].

Dari keenam parameter antenna yang telah dijelaskan, hanya VSWR, bandwidth dan impedansi input yang akan dibahas dalam penelitian untuk acuan dalam perancangan sebuah antenna

2.2 LTE (Long Term Evolution)

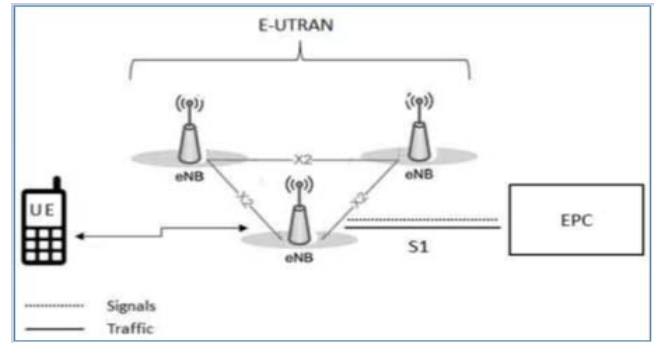
LTE merupakan salah satu produk dari Third Generation Partnership Project (3GPP), yang mempunyai layanan kapasitas gigabytes [17].

Arsitektur LTE memiliki dua bagian, yaitu jaringan radio evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network atau disingkat (E-UTRAN) dan core network untuk mendukung teknologi LTE yang disebut Evolved Packet Core atau disingkat EPC.

Menurut peraturan Menteri Komunikasi dan Informasi Republik Indonesia nomor 27 tahun 2015 tentang persyaratan teknis perangkat telekomunikasi berbasis standar teknologi Long Term Evolution, E-UTRAN berfungsi untuk mengatur komunikasi radio antara User Equipment (UE) dan EPC (Evolved Packet Core). EPC adalah core network untuk mendukung teknologi LTE [3].

Jaringan LTE dirancang untuk tujuan mendukung trafik packet switching dengan mobilitas tinggi, *Quality Of Service* (QoS), dan *latency* yang kecil. Pendekatan *packet switching* ini memperbolehkan semua layanan termasuk layanan voice menggunakan koneksi paket. Jaringan LTE dirancang hanya terdiri dari dua node yaitu eNodeB dan *Mobility Management Entity/gateway* (MME/GW).

eNodeB (eNB) merupakan interface dengan UE (*User Equipment*), yang berfungsi untuk mengontrol dan mengawasi pengiriman sinyal yang dibawa oleh sinyal radio dan berperan dalam autentikasi atau mengontrol kelayakan data yang akan melewati eNodeB, dan untuk mengatur scheduling. Sedangkan MME bertanggungjawab dalam proses aktivasi/deaktivasi dan autentikasi user (dengan bantuan HSS yang merupakan database utama yang ada pada jaringan LTE. MME juga berfungsi untuk mengatur *handover* dalam memilih [3].

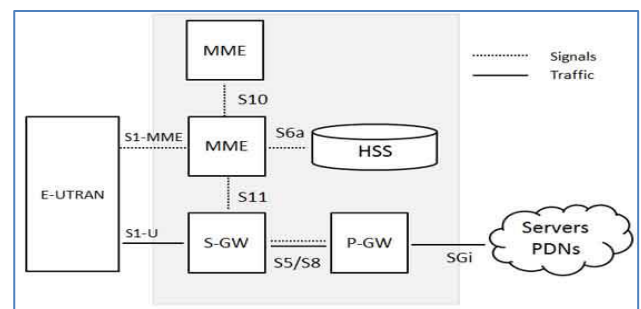


Gambar 3. Arsitektur dari EPC

Semua interface jaringan pada LTE adalah berbasis internet protocol (IP). eNodeB saling terkoneksi dengan interface X2 dan terhubung dengan MME/SGW melalui interface S1. Pada arsitektur LTE terdapat 2 logical gateway, yaitu *serving gateway* (S-GW) dan packet data *network gateway* (P-GW) yang melalui interface S5/S8. S-GW bertugas untuk melanjutkan dan menerima paket ke dan dari eNodeB yang melayani *user equipment* (UE), sedangkan P-GW menyediakan interface dengan jaringan Packet Data Network (PDN). Packet Data Network (PDN) dan *Gateway* (P-GW) berfungsi untuk berkomunikasi dengan network luar, seperti *packet data networks* PDN, menggunakan interface S-Gi. Selain itu PGW juga melakukan beberapa fungsi lainnya, seperti alokasi alamat, *packet filtering*, dan *routing* [4].

Spesifikasi LTE telah ditetapkan oleh 3GPP untuk *User Equipment* dan eNodeB. Adapun spesifikasi teknik LTE yang telah ditetapkan meliputi mode teknik akses dan mode akses radio [4].

Pada LTE teknik akses yang digunakan pada transmisi dalam arah *downlink* dan *uplink* berbeda. Arah *downlink* adalah arah komunikasi dari eNodeB ke UE, sementara arah *uplink* adalah arah dari UE menuju eNodeB seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 4. Arah Transmisi Downlink dan Uplink pada LTE

Pada arah downlink teknik akses yang digunakan adalah *Orthogonal Frequency Division Modulation Access* (OFDMA) dan pada arah uplink teknik akses yang digunakan adalah *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA).

Pada komunikasi seluler sangat penting untuk mempertimbangkan kemampuan jaringan untuk melakukan komunikasi dalam dua arah secara simultan atau dikenal dengan istilah komunikasi *full duplex*. Oleh karena itu untuk dapat melakukan komunikasi dua arah secara simultan,

dibutuhkan suatu teknik *duplex*. Pada umumnya terdapat dua teknik *duplex* yang digunakan, yaitu *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD).

FDD merupakan teknik *duplex* yang menggunakan dua frekuensi yang berbeda untuk melakukan komunikasi dalam dua arah. Teknik ini membutuhkan *guard frequency* untuk memisahkan frekuensi pengiriman dan penerimaan secara simultan, serta proses filtering frekuensi yang harus akurat. Sedangkan TDD menggunakan frekuensi tunggal dan frekuensi tersebut digunakan oleh semua kanal untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data. Setiap kanal tersebut dimultiplexing dengan menggunakan basis waktu sehingga setiap kanal memiliki *time slot* yang berbeda. [4].

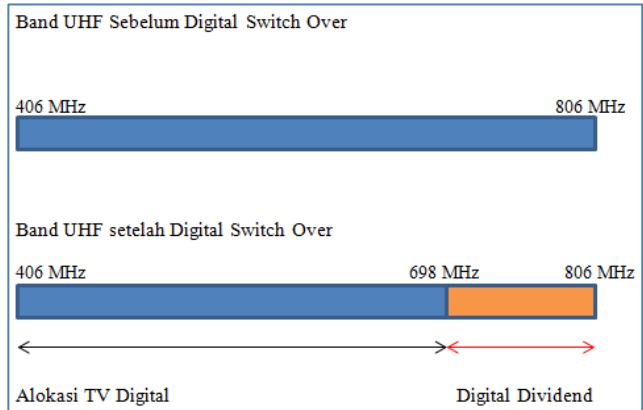
Teknik FDD lebih banyak menggunakan spektrum frekuensi yang tersedia, tetapi lebih unggul dalam menangani latency dibandingkan TDD karena harus lebih lama menunggu waktu pemrosesan dalam multiplexing.

Pada penelitian antenna multiband ini, akan dibuat sebuah antenna dengan dua frekuensi kerja salah satunya adalah frekuensi kerja 4G LTE 700 MHz yang berada pada band 12 sampai dengan 17 berdasarkan standar E-UTRA ditunjukkan pada Tabel 2 [18].

Tabel 2 Tabel Operasi E-UTRA

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit $F_{(UL\ low)} - F_{(UL\ high)}$	Downlink (DL) operating band BS receive UE transmit $F_{(DL\ low)} - F_{(DL\ high)}$	Duplex Mode
1	1920 - 1980 MHz	2010 - 2025 MHz	FDD
2	1850 - 1910 MHz	1930 - 1990 MHz	FDD
3	1710 - 1785 MHz	1805 - 1880 MHz	FDD
4	1710 - 1755 MHz	2110 - 2155 MHz	FDD
5	824 - 849 MHz	869 - 894 MHz	FDD
6	830 - 840 MHz	875 - 885 MHz	FDD
7	2500 - 2570 MHz	2620 - 2690 MHz	FDD
8	880 - 915 MHz	925 - 960 MHz	FDD
9	1749.9 - 1784.9 MHz	1844.9 - 1879.9 MHz	FDD
10	1710 - 1770 MHz	2110 - 2170 MHz	FDD
11	1427.9 - 1447.9 MHz	1475.9 - 1495.9 MHz	FDD
12	698 - 716 MHz	728 - 746 MHz	FDD
13	777 - 787 MHz	746 - 758 MHz	FDD
14	788 - 798 MHz	758 - 768 MHz	FDD
17	704 - 716 MHz	734 - 746 MHz	FDD
33	1900 - 1920 MHz	1900 - 1920 MHz	TDD
34	2010 - 2025 MHz	2010 - 2025 MHz	TDD
35	1850 - 1910 MHz	1850 - 1910 MHz	TDD
36	1930 - 1990 MHz	1930 - 1990 MHz	TDD
37	1910 - 1930 MHz	1910 - 1930 MHz	TDD
38	2570 - 2620 MHz	2570 - 2620 MHz	TDD
39	1880 - 1920 MHz	1880 - 1920 MHz	TDD
40	2300 - 2400 MHz	2300 - 2400 MHz	TDD

Frekuensi 700 MHz di Indonesia pada saat ini masih diduduki oleh TV analog, pada rentang frekuensi 470 - 806 MHz, namun Pemerintah Indonesia merencanakan adanya penataan ulang frekuensi (*reframing*) untuk dijadikan lebih optimal untuk digunakan pada teknologi TV digital.

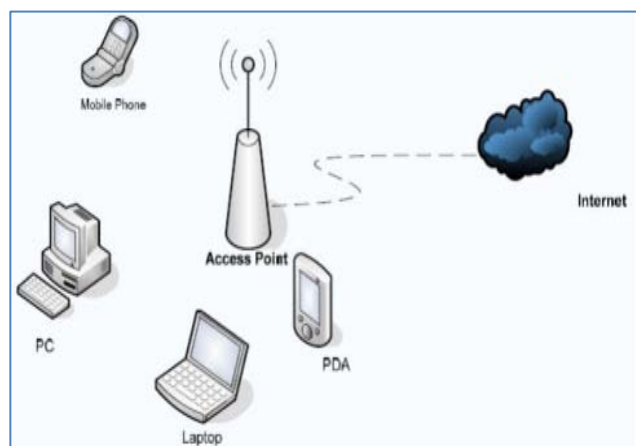


Gambar 5. Sisa Band Frekuensi Penyiaran Setelah Migrasi

Peralihan ke sistem penyiaran digital memunculkan istilah *digital dividend* (gambar 5), yang didefinisikan oleh *Radio Spectrum Policy Group* (RSPG) sebuah kelebihan spektrum yang tersedia melebihi yang dibutuhkan untuk mengakomodasi peralihan layanan siaran televisi analog ke digital pada pita UHF (band IV dan V: 470 - 806 MHz). Ketika sistem transmisi siaran TV analog UHF 470-806 MHz beralih ke digital (*analogue switch off*), terdapat 108 MHz spektrum frekuensi yang akan dibebaskan (5). Spektrum frekuensi yang potensial ini akan digunakan untuk frekuensi kerja 4G LTE di 700 MHz.

Frekuensi kerja wi-fi merupakan frekuensi kerja yang kedua selain LTE pada penelitian antenna multiband ini, wi-fi adalah sekumpulan standar yang digunakan untuk jaringan lokal nirkabel (*Wireless local area network* - WLAN) yang didasari pada spesifikasi IEEE 802.11. Wi-fi atau biasa disebut dengan WLAN dirancang bertujuan untuk didapatkan sistem komunikasi data menggunakan radio frekuensi berkecepatan tinggi sesederhana mungkin dan bebas lisensi.

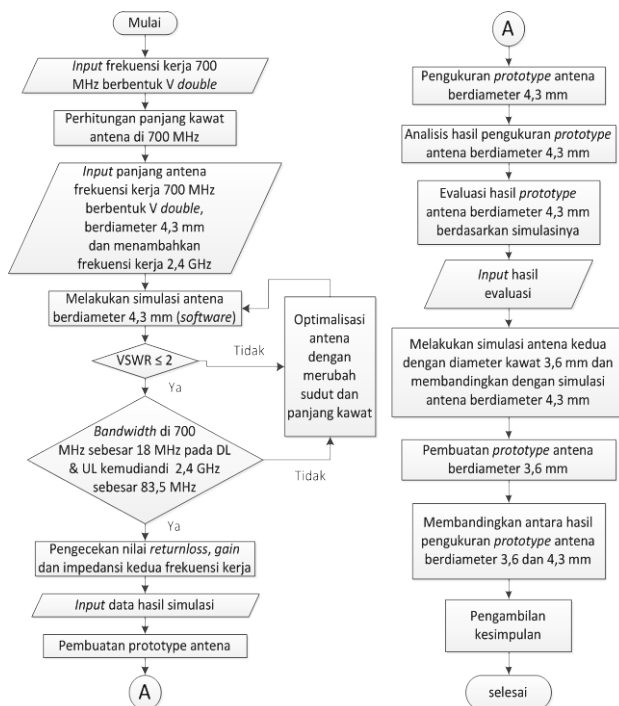
Wireless LAN (WLAN) adalah teknologi LAN yang menggunakan frekuensi dan transmisi radio sebagai media penghantarnya, pada area tertentu, menggantikan fungsi kabel. Konfigurasi jaringan WLAN terdiri dari akses point yang dihubungkan ke pengguna melalui media udara (frekuensi dan transmisi radio) seperti yang terlihat pada Gambar 6 [21].



Gambar 6. Jaringan WLAN

Frekuensi yang dipergunakan untuk aplikasi WLAN adalah 2,4 GHz dan 5,8 GHz yang secara internasional dimasukkan ke dalam wilayah license exempt (bebas lisensi) dan dipergunakan bersama oleh publik (frequency sharing), namun dalam penelitian ini antenna multiband hanya akan menggunakan frekuensi kerja wi-fi di 2,4 GHz.

Pada penelitian antenna multiband ini frekuensi kerja wi-fi yang digunakan adalah 2,4 GHz, oleh karena itu berdasarkan pada data Tabel 2.2 maka pada penelitian ini akan menggunakan standar IEEE 802.11 b/g yang mempunyai rentang frekuensi mulai dari 2,4 GHz sampai dengan 2,48 GHz dengan bandwidth 83,5 MHz

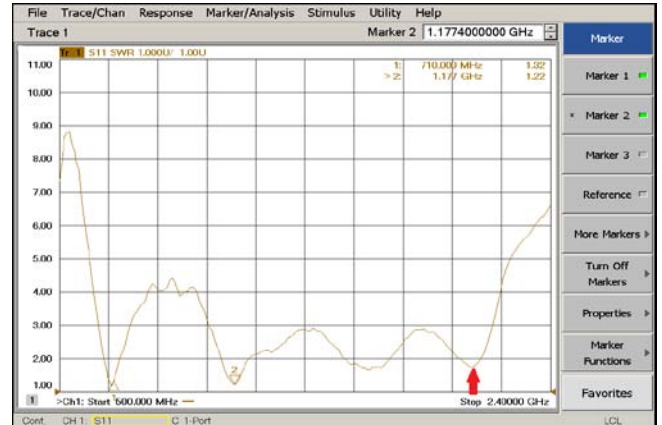


Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 penelitian antenna ini memiliki beberapa tahapan mulai dari perancangan, pembuatan dan pengukuran *prototype* antenna. Perancangan antenna *multiband* ini di tampilkan pada bagian kiri diagram alir, dari mulai hingga pembuatan *prototype* antenna dengan diameter 4,3 mm.

2.3 Frekuensi Kerja dan Bentuk Antena

Seperti yang terlihat pada langkah pertama untuk memulai perancangan adalah dengan menentukan frekuensi kerja dan bentuk antenna. Frekuensi kerja 700 MHz dan frekuensi kerja *wi-fi* di 2,4 GHz.



Gambar 8. Hasil Pengukuran pada PenelitianAntena Sebelumnya (9)

Pada gambar diatas terlihat bahwa pada frekuensi kerja *wi-fi* 2,4 GHz nilai VSWR mendekati 2. Maka dari itu pada penelitian ini akan dilakukan optimalisasi dimensi antenna (merubah panjang dan sudut kawat), dengan bentuk antenna yang sama yaitu V-double, hal ini dilakukan untuk mendapatkan pergeseran resonansi agar menghasilkan resonansi yang tepat dan memenuhi rentang frekuensi kerja *wi-fi* di 2,4 GHz serta dengan mempertahankan frekuensi kerja 700 MHz.

2.4 Perhitungan Panjang Kawat Antena

Perhitungan panjang kawat antenna ini dilakukan karena dalam pensimulasian *software* nanti membutuhkan data berupa panjang kawat antenna. Dalam perhitungan panjang kawat, frekuensi kerja yang digunakan adalah frekuensi 700 MHz digunakan rumus :

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (7)$$

Diketahui:

$$C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$f = 700 \text{ MHz}$$

$$\text{Sehingga : } \lambda = \frac{3 \times 10^8}{700 \times 10^6}$$

$$\lambda = 0.42857 \text{ meter}$$

Karena antenna dalam penelitian ini berbentuk V-double, maka antenna tersebut memiliki panjang $\frac{1}{4} \lambda$ pada empat bagian kawatnya dan didapatlah hasil sebagai berikut.

$$\lambda = 0.4285 \text{ meter}$$

$$\frac{1}{4} \lambda = 0.1071 \text{ meter}$$

Setelah melakukan perhitungan, panjang kawat antenna yang dibutuhkan adalah sebesar 0,1071 m atau 10,71 cm pada empat bagian kawatnya, panjang kawat antenna ini merupakan acuan awal sebelum dilakukannya optimalisasi dimensi antenna.

2.5 Input Data Kedalam Simulasi Antena

Data yang telah didapat, akan menjadi input pada simulasi yaitu frekuensi kerja 700 MHz untuk LTE dan 2,4 GHz untuk *wi-fi*, diameter kawat antenna 4,3 mm, panjang kawat

antena 10,71 cm bentuk antenna V-double dan impedansi 50 ohm.

3 Perancangan Dimensi Antena

Masih dimenu *calculate*, pilih *edit wire* untuk membuat dimensi antenna secara manual, buat antenna dengan bentuk V-double dengan panjang antenna 10,71 cm dan besaran sudut percobaan awal menggunakan sudut 45°.

Masukan panjang kawat yang sudah dihitung sebelumnya dengan sudut percobaan -45° (minus karena di bawah sumbu x). Kemudian pilih *projection XY*, karena tebal kawat tembaga yang tersedia memiliki jari-jari 2,15 mm, maka kolom R dimasukan nilai 2,15 mm. Setelah itu, pada tengah antenna yang terdapat angka 1 itu dimaksudkan sebagai konektor. Dilanjutkan dengan memasukan data impedansi *input*, sebesar 50 ohm pada kolom R (resistansi) dan nol pada kolom jX (reaktansi), impedansi pada saluran transmisinya (kabel *coaxial* dan konektor).

Parameter antenna dilihat terlebih dahulu adalah VSWR. Jika VSWR belum ≤ 2 perlu melakukan optimalisasi dimensi antenna.

Pada proses optimalisasi dimensi antenna, bagian yang diubah meliputi panjang, sudut antara kawat dan jarak konektor. Karena panjang kawat pada perhitungan adalah 10,71 cm, maka dalam optimalisasi panjang kawat yang digunakan mulai dari 11 cm sampai dengan 7 cm dengan jarak konektor 2 cm. Melihat dari penelitian sebelumnya (9) yang memiliki sudut 45° maka untuk sudut percobaan antenna dimulai dari sudut 50° sampai 30°.

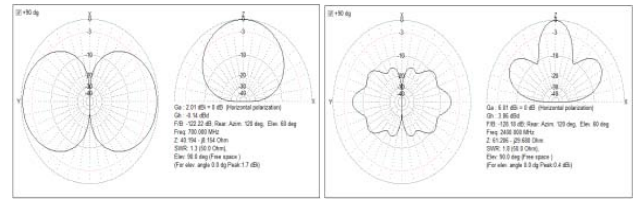
Pada proses optimalisasi panjang dan sudut kawat dilakukan pada jarak konektor 2 cm dan 1,5 cm. Dari uji coba diperoleh hasil pada jarak konektor 1,5 cm lebih baik hasilnya.

Langkah selanjutnya adalah melihat nilai *bandwidth* 18 MHz pada UL dan DL pada frekuensi kerja 700 MHz mengikuti standar E-UTRA band 12, pada rentang frekuensi di 698 - 746 MHz, dan *bandwidth* 83,5 MHz pada frekuensi kerja 2,4 GHz mengikuti standar IEEE 802.11 b/g dengan rentang frekuensi 2,4 - 2,485 GHz, pada dimensi antenna yang menghasilkan VSWR dan rentang frekuensi yang paling baik akan dibuat *prototype* antenanya.

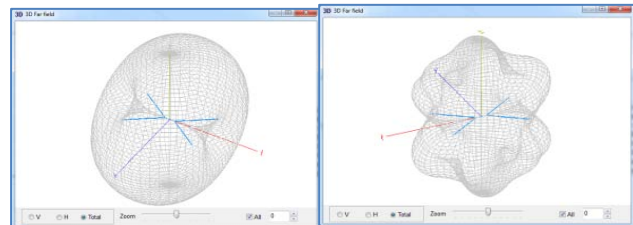
Dalam pengambilan nilai impedansi, titik yang diambil adalah frekuensi resonansi, sehingga didapat impedansi sebesar 65,69 - j9,331 ohm dengan *gain* sebesar 5,63 dBi. Hasil percobaan pada Frekuensi kerja 700 MHz diperoleh rentang frekuensi 674 - 784 MHz dengan *bandwidth* 110 MHz dan frekuensi kerja 2,4 GHz pada 2,397 - 2,513 GHz dengan *bandwidth* 116 MHz.

3.1 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna yang diinginkan adalah menyebar secara horizontal agar mencakup wilayah yang luas sesuai dengan sistem kerja *wi-fi* baik untuk mengirim atau menerima sinyal.



(a)



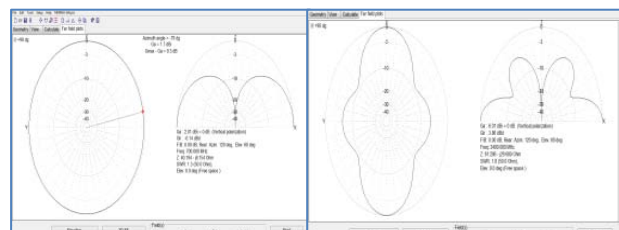
(b)

Gambar 9. Pola Radiasi (a) 2 dan (b) 3 Dimensi Frekuensi Kerja 700 MHz dan 2,4 GHz

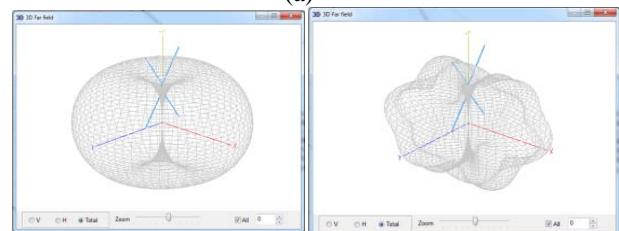
Pola radiasi pada frekuensi kerja 700 MHz dan frekuensi 2,4 GHz yang dihasilkan Software Mmana-Gal dapat ditampilkan dalam 2 dan 3 dimensi.

Dari gambar 9(b) terlihat bentuk dimensi antenna yang disimulasikan belum menghasilkan pola radiasi yang diinginkan yaitu menyebar secara horizontal, oleh karena itu perlu ada perubahan posisi antenna yang semula berada pada sumbu x akan diubah posisinya di sumbu z.

Setelah dilakukan perubahan posisi pada dihasilkan pola radiasi yang menyebar secara horizontal.



(a)



(b)

Gambar 10 Pola Radiasi (a) 2 dan (b) 3 Dimensi Frekuensi Kerja 700 MHz dan 2,4 GHz pada

3.2 Return Loss pada Simulasi Antena

Return loss dari optimalisasi dimensi antenna, didapat dengan melakukan perhitungan manual dengan nilai VSWR pada setiap frekuensi kerja sebagai acuannya. Nilai *return loss*nya dapat dihitung dengan rumus

$$| \Gamma | = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1}$$

$$RL = 20 \log | \Gamma |$$

Keterangan:

$|\Gamma|$ = Koefisien refleksi tegangan

RL = *Return Loss*

Pada frekuensi kerja 700 MHz, frekuensi resonansi 717,419 MHz dan VSWR 1,15, maka nilai *return loss*nya adalah

$$|\Gamma| = \frac{1,15 - 1}{1,15 + 1}$$

$$|\Gamma| = \frac{0,15}{2,15}$$

$$|\Gamma| = 0,06977$$

$$RL = 20 \log|0,069767|$$

$$RL = 20 (-1,15633)$$

$$RL = -23,1266 \text{ dB}$$

Sedangkan frekuensi kerja 2,4 GHz frekuensi resonansi 2,446263 GHz dan VSWR 1,37, maka nilai *return loss*nya adalah:

$$|\Gamma| = \frac{1,37 - 1}{1,37 + 1}$$

$$|\Gamma| = \frac{0,37}{2,37}$$

$$|\Gamma| = 0,156118$$

$$RL = 20 \log|0,156118|$$

$$RL = 20 (-0,806547)$$

$$RL = -16,13094 \text{ dB}$$

Nilai *return loss* pada frekuensi kerja 700 MHz adalah -23,1266 dB dan pada frekuensi kerja 2,4 GHz adalah -16,13094 dB, sudah sesuai dengan acuan *return loss* ≤ -10 .

Tabel 3. Hasil Simulasi Parameter Antena

	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz
Frekuensi resonansi	717,419 MHz	2,446263 GHz
VSWR frek. resonansi	1,15	1,37
Impedansi pada frekuensi resonansi	43,51+j0.03 Ω	65,69-j9,33 ohm
Rentang frekuensi.	674 - 784 MHz	2,397 - 2,513 GHz
Bandwidth	110 MHz	116 MHz
VSWR pada bandwidth	1,8	1,8
Return terbaik	-23,1266 dB	-16,13094 dB

Setelah semua parameter antena telah didapat, langkah selanjutnya adalah membuat *prototype* antena dengan mengacu pada hasil simulasi.

Pembuatan *Prototype* Antena dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Buat sketsa antena

Sketsa dibuat pada kertas untuk membantu mempresisikan ukuran dari kawat tembaga yang akan dipotong dan disolder,

b. Potong kawat

Potong kawat menjadi empat bagian sesuai ukurannya.

c. Sinkronkan papan akrilik dengan sketsa pada kertas

Ini dilakukan untuk mempresisikan sudutnya

d. Tempatkan konektor *male* dengan presisi sesuai sketsa. Sebelum menempatkan konektor ke akrilik, akrilik lebih dulu dilubangi sesuai dengan ukuran konektor, setelah ukuran lubang sudah sesuai dengan ukuran konektor, pasang dan kencangkan dengan baut dan mur yang sebelumnya telah disiapkan,

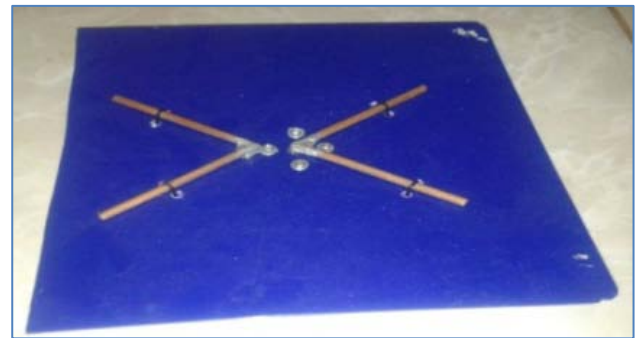
e. Solder kawat ke *core* pada konektor

Kawat yang telah dipotong sebelumnya, dihubungkan dengan konektor, satu di *core* dan satunya lagi di *ground*. Jika kawat memiliki *coating*, harus diampas terlebih dahulu bagian yang ingin disolder.

f. Pengecekan konektor dan kawat dengan multimeter. Pengecekan dilakukan untuk memastikan apakah kawat dan konektor sudah terhubung dan juga untuk mengecek agar *ground* dan *core*nya tidak terhubung,

g. Ikat dengan kabel tis agar tetap presisi

h. Setelah selesai maka hasilnya akan seperti ini.



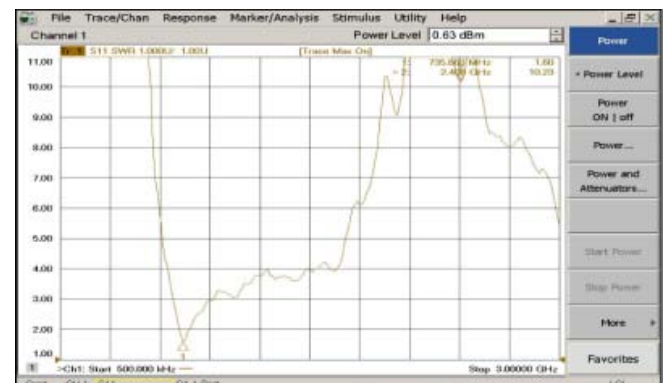
Gambar 11. Prototype Antena.

4 Implementasi dan Pengujian

4.1 Pengukuran Prototype Antena

Pengujian pada *prototype* antena adalah melakukan pengukuran parameter VSWR, *return loss* dan impedansi menggunakan alat ukur *Network Analyzer* di laboratorium Departemen Elektro Universitas Indonesia.

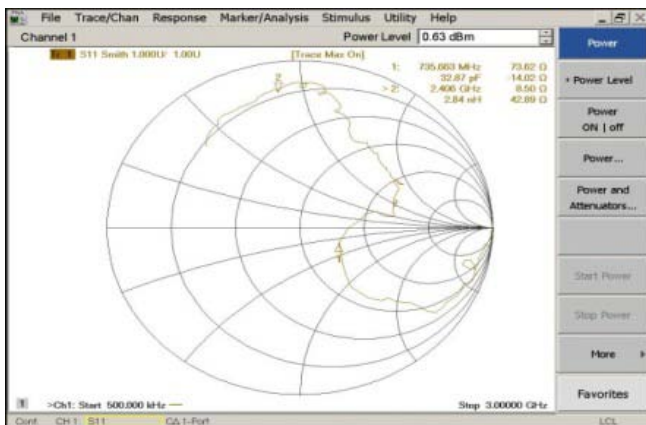
Hasil pengujian dengan *Network Analyzer* menghasilkan grafik seperti terlihat pada gambar 12, nilai-nilai hasil pengukuran diterangkan pada tabel 4, sedangkan impedansi ditampilkan dalam bentuk diagram *smith* pada gambar 13.



Gambar 12. Grafik Hasil pengukuran VSWR

Tabel 4. Hasil Pengukuran

	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz
Frekuensi resonansi	735,663 MHz	2,406 GHz
VSWR frek. Resonansi	1,6	10,23
Impedansi pada frekuensi resonansi	73,62 – j14,02 ohm	8,5 + j42,89 ohm
Rentang frekuensi.	720,380 - 765,3725 MHz	-
Bandwidth	44,9925 MHz	-
VSWR pada bandwidth	1,8	-
Return loss terbaik	-12,42 dB	-1,72 dB



Gambar 13. Diagram Smith Prototype Antena

Hasil pengukuran selanjutnya akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada simulasi.(tabel 5)

Tabel 5. Perbandingan Antara Hasil Pengukuran dengan Hasil Simulasinya

	Simulasi Antena Berdiameter 4,3 mm		Prototype Antena Berdiameter 4,3 mm	
	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz
Frek.resonansi	717,419 MHz	2,446263 GHz	735.663 MHz	2,406 GHz
Impedansi resonansi	43,51+j0.03 ohm	65,69-j9,33 ohm	73,62 – j14,02 ohm	8,5 + j42,89 ohm
Rentang frekuensi.	674 MHz - 784 MHz	2,397 – 2,513 GHz	720,380 - 765,3725 MHz	-
Bandwidth	110 MHz	116 MHz	44,9925 MHz	-
VSWR	1,8	1,8	1,8	-
Return loss	-23,1266dB	-16,13094 dB	-12,42 dB	-1,72 dB

Dari perbandingan hasil pengukuran dan hasil simulasi pada frekuensi 700 MHz terlihat bahwa nilai VSWR, hasil pengukuran lebih besar dari pada simulasi, bandwidth hasil pengukuran lebih kecil dari pada hasil simulasi sedangkan pada frekuensi 2,4 GHz VSWR, bandwidth dan Return loss tidak memenuhi standar yang direncanakan.

Nilai impedansi hasil simulasi 43,51-j0,0251 ohm dan 73,62-j14,02 ohm pada pengukuran impedansinya, ini berarti terjadi selisih cukup besar akan tetapi masih mendekati nilai 50 ohm yang merupakan nilai acuan. Sedangkan pada frekuensi kerja 2,4 GHz, nilai impedansi simulasi 65,69 - j9,33 ohm dan 8,5+j42,89 ohm pada pengukuran, nilai ini sangat jauh dari 50 ohm yang berarti pentransmisiannya buruk.

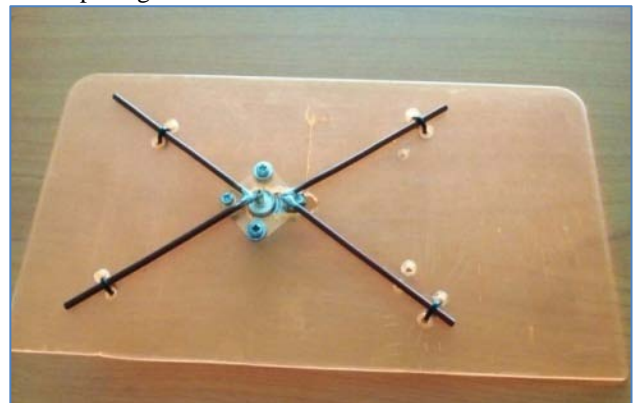
Dari perbandingan hasil pengukuran dan simulasi antena berdiameter 4,3 mm terlihat belum maksimalnya nilai parameter untuk frekuensi 2,4 MHz maka akan dibuat lagi sebuah antena dengan dimensi yang sama tetapi menggunakan kawat berdiameter 3,6 mm. Simulasi kembali dilakukan dengan merubah diameter antena yang akan digunakan. Hasil yang diperoleh pada simulasi akan kembali dibuat prototype antenanya lalu dilakukan pengukuran. Parameter yang dihasilkan dari kedua antena ini akan dibandingkan, untuk mengetahui nilai yang lebih mendekati kepada parameter yang menjadi acuan..

Hasil simulasi parameter untuk kawat yang berdiameter 3,6 mm terlihat pada table 6.

Tabel 6. Hasil Simulasi Antena

	Simulasi antena berdiameter 3,6 mm	
	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz
Frek.resonansi	719,789 MHz	2,461908 GHz
VSWR	1,15	1,34
Impedansi pada resonansi	43,32+j0,0012 ohm	66,83-j0,0116 ohm
Rentang frekuensi.	678 MHz – 783 MHz	2,399 GHz – 2,51 GHz
Bandwidth	105 MHz	111 MHz
Return loss terbaik	-23,1266 dB	-16,75474 dB

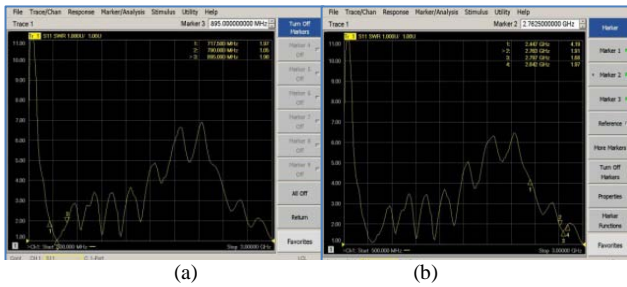
Dari hasil simulasi kemudian dirancang antena seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



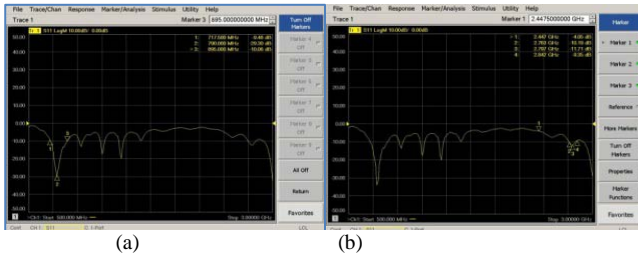
Gambar 14. Prototype Antena Berdiameter 3,6 mm

Kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengujian dengan mengukur parameter yang sama dengan pengukuran sebelumnya yaitu VSWR, return loss dan impedansi.

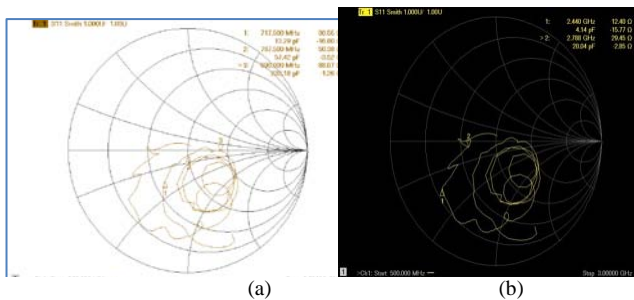
Hasil pengujian dengan Network Analyzer menghasilkan pada grafik VSWR pada gambar 15 dan grafik return loss pada gambar 16, nilai-nilai hasil pengukuran diterangkan pada tabel 7. sedangkan impedansi ditampilkan dalam bentuk diagram smith pada gambar 17.



Gambar 15. Pengukuran VSWR pada Frekuensi Kerja
(a) 700 MHz (b) 2,4 GHz



Gambar 16. Hasil Pengukuran Return Loss pada Frekuensi Kerja
(a) 700 MHz (b) 2,4 GHz



Gambar 17 Diagram Smith untuk Frekuensi Kerja
(a) 700 MHz (b) 2,4 GHz

Tabel 7 Perbandingan Hasil Pengukuran dengan Simulasi

	Simulasi Antena Berdiameter 3,6 mm		Prototype Antena Berdiameter 3,6 mm	
	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz
Frekuensi resonansi	719,789 MHz	2,461908 GHz	790 MHz	2,797 GHz
VSWR	1,15	1,34	1,05	1,68
Impedansi resonansi	$43,32 + j0,0012 \Omega$	$66,83 - j0,0116 \Omega$	$50,38 + j3,52 \Omega$	$29,45 - j2,85 \Omega$
Rentang frekuensi.	678 – 783 MHz	2,399 – 2,51 GHz	737,5 – 875 MHz	2,7625 – 2,825 GHz
Bandwidth	105 MHz	111 MHz	137,5 MHz	62,5 MHz
Return loss	-23,1266 dB	-16,75474 dB	-29,30 dB	-11,71 dB

Dari perbandingan hasil pengukuran dan hasil simulasi pada frekuensi 700 MHz terlihat bahwa nilai VSWR, hasil pengukuran lebih kecil dari pada simulasi, *bandwidth* hasil pengukuran lebih besar dari pada hasil simulasi tetapi frekuensi resonansi lebih 90 MHz dari yang direncanakan. sedangkan pada frekuensi 2,4 GHz VSWR, hasil pengukuran lebih besar dari pada simulasi, *bandwidth* hasil pengukuran lebih kecil dari pada hasil

simulasi *bandwidth* dan Return loss hasil pengukuran lebih kecil dari pada simulasi. tetapi frekuensi resonansi lebih 300 MHz dari yang direncanakan.

Selanjutnya akan dibandingkan Hasil Pengukuran kedua *Prototype* Antena seperti terlihat pada tabel 8.

Tabel 8 Perbandingan Antara Hasil Prototype Antena Berdiameter 3,6 mm dan 4,3 mm

	Prototype antena berdiameter 3,6 mm		Prototype antena berdiameter 4,3 mm	
	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz	Frekuensi kerja 700 MHz	Frekuensi kerja 2,4 GHz
Frekuensi resonansi	790 MHz	2,797 GHz	735,663 MHz	2,406 GHz
VSWR	1,05	1,68	1,6	10,23
Impedansi pada resonansi	$50,38 + j3,52 \Omega$	$29,45 - j2,85 \Omega$	$73,62 - j14,02 \Omega$	$8,5 + j42,89 \Omega$
Rentang frekuensi.	737,5 MHz- 875 MHz	2,7625 - 2,825 GHz	720,380 - 765,3725 MHz	-
Bandwidth	137,5 MHz	62,5 MHz	44,9925 MHz	-
Return loss	-29,30 dB	-11,71 dB	-12,42 dB	-1,72 dB

Dari perbandingan hasil pengukuran kedua antena pada frekuensi 700 MHz terlihat bahwa nilai VSWR, antena berdiameter 3,6 mm lebih kecil dari diameter 4, 3 mm, *bandwidth* antena berdiameter 3,6 mm lebih besar dari diameter 4, 3 mm sedangkan selisih frekuensi resonansi dihasilkan dengan yang direncanakan antena berdiameter 3,6 mm lebih besar dari diameter 4, 3. antena berdiameter 3,6 mm lebih kecil dari diameter 4, 3 sedangkan pada frekuensi 2,4 GHz VSWR, antena berdiameter 3,6 mm lebih kecil dari diameter 4, 3 mm, *bandwidth* antena berdiameter 3,6 mm lebih baik karena pada antena diameter 4,3 mm tidak didapatkan, sedangkan selisih frekuensi resonansi dihasilkan dengan yang direncanakan antena berdiameter 3,6 mm lebih besar dari diameter 4, 3.

5 Kesimpulan

Kesimpulan harus menjelaskan apa yang telah dilakukan serta dengan penjelasan yang baik. Didalam kesimpulan juga harus menjelaskan nilai yang telah dicapai dari tujuan penelitian yang telah dirancang atau telah dilaksanakan. Nilai hasil pencapaian ini harus dijelaskan secara terperinci. Penjelasan hanya diberikan dalam satu paragraf dan maksimum dua paragraph.

Penulis hendaknya menghindari gaya penulisan penomoran menggunakan angka dan huruf. Penggunaan kalimat harus jelas dan bernilai ilmiah.

Kepustakaan

- [1] (APJII), Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia. *Profil Pengguna Internet Indonesia 2014*. Indonesia : (APJII), Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia, 2015.
- [2] Suyuti, Saidah, Rusli and Syarif, Syafruddin. *Jurnal Ilmiah "Elektrikal Enjiniring" UNHAS*. 2011, Studi Perkembangan Teknologi 4G LTE dan Wimax di Indonesia, Vol. 09, p. 6.

- [3] Persyaratan Teknis Alat Dan Perangkat Telekomunikasi Berbasis Standar Teknologi Long Term Evolution. s.l. : Menteri Komunikasi dan Informatika, 2015.
- [4] Sandi, Siburian, 2011. *Evaluasi Kinerja MIMO-OFDM dengan Modulasi Adaptif pada Long term Evolution dalam Arah Downlink*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- [5] Damanik, Andreas Bastian, 2011., *Perencanaan Spektrum Digital Dividend pada Pita Frekuensi Ultra High Frequency di Wilayah Perbatasan Indonesia*. Depok : Universitas Indonesia, Tesis.
- [6] Aryanta, Dwi, 2012. *Analisis Pengalokasian Frekuensi Teknologi Long Term Evolution (LTE) di Indonesia*. 12, Bandung : Institut Teknologi Nasional Bandung, , Vol. 3. 977.2087.526608.
- [7] Hendraningrat, Denny Kusuma, et al., et al. 2011. *Reframing of Frequency 700 MHz Analysis for Long Term Evolution (LTE) in Indonesia Using Link Budget Calculu*. Bandung : Telkom Institute of Technology.
- [8] Dercio, M Mathe, Lilian, C Frietas and Jodo, C.W.A Costa, 2014. *Interference Analysis between Digital Television and LTE System under Adjacent Channels in the 700 MHz Band*. Belem, Brazil : Federal University of Para (UFPA).
- [9] Subastari, Canty, 2015. *Rancang Bangun Antena V-Double Dipole Pada Frekuensi Kerja Lte (Long Term Evolution) 710 MHZ*. 13, Jakarta : UHAMKA, , Vol. I.
- [10] Balanis, Constantine A. *Antenna Theory Analysis and Design*. New Jersey : John Wiley & Son .Inc, 2005.
- [11] Tri, Joko Yohanes, 2008. *Antena Wireless untuk rakyat*. Yogyakarta : Andi Offset.
- [12] Lesmana, Ridwan, 2001. *Antena Dipole*. Jakarta : LEMLOKTA.
- [13] ORARI, 1998. *Pengetahuan Dasar Radio Komunikasi (Antena Dipole dan Monopole)*. Jakarta : ORGANISASI AMATIR RADIO INDONESIA PUSAT.
- [14] Surjati, I, 2010. *Antena Mikrostrip Konsep dan Aplikasi*. Jakarta : Universitas Trisakti. ISBN:978-979-26-8952-0.
- [15] Kraus, John D. *ANTENNAS*. New Delhi : MC. Graw Hill, 1988.
- [16] Misra, D K. 2004. *Radio Frequency and Microwave Communication Circuit. Analis and Design*. New Jersey : Wiley-Interscience, Vol. Second Edition.
- [17] Schwarz and Rohde.
<http://www2.rohdeschwarz.com/product/AMUK59.html>. (16 november 2016).
- [18] 101, ETSI TS 136. Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA). *User Equipment (UE) radio transmission and reception*. 03, 2011-06, Vol. 10.
- [19] *Rencana Induk (Master Plan) Frekuensi Radio Penyelenggaraan Telekomunikasi Khusus Untuk Keperluan Televisi Siaran Analog Pada Pita Ultra High Frequency (UHF)*. S.L. : Menti Perhubungan Republik Indonesia, Km. 76 Tahun 2003.
- [20] Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia. *Kerangka Dasar Penyelenggaraan Penyiaran Televisi Digital Terrestrial Penerimaan Tetap Tidak Berbayar (Free To Air)*. S.L. : Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia, Nomor 39 Tahun 2009.
- [21] *Wireless Network 802.11*. Hartono, Rudi and Purnomo, Agus. s.l. : D3 TI FMIPA UNS, 2011.
- [22] *Antena Panel 2,4 GHz dengan Menggunakan Mikrostrip Biquad 4 Larik*. Juliarti, Linda. Thesis, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2010.

Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC Menggunakan Kontrol PID (*Proportional Integral Derivative*)

Rosalina *, Ibnu Qosim, Mohammad Mujirudin

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA
Jl. Tanah Merdeka no.6 Kp.Rambutan, Pasar Rebo, Jakarta Timur
Telp.021-87782739, Fax. 021-87782739, Mobile +6281283069764
E-mail : rosalina.husnul@yahoo.com, mujirudin@uhamka.ac.id

* Penulis Koresponden

Abstrak – Motor DC merupakan motor yang saat ini banyak digunakan untuk proses produksi dalam industri, karena mudah untuk diaplikasikan. Motor DC sering digunakan pada pemakaian yang memerlukan rentang kecepatan yang lebar. Selain itu, motor DC juga mempunyai kekurangan yaitu dalam hal pengaturan kecepatan dan besarnya saat putaran awal. Oleh karena itu untuk menekan tingginya overshoot pada putaran awal motor perlu dilakukan pengaturan sehingga kecepatan motor sesuai dengan set poin yang diinginkan dengan risetime yang tinggi dan overshoot yang lebih kecil. PID (*Proportional Integral Derivative*) merupakan salah satu kontroler untuk mengatur kecepatan motor. Kontrol PID mempunyai kelebihan – kelebihan tertentu untuk mengatur putaran motor yaitu kontrol proporsional mempunyai kelebihan risetime yang cepat, kontrol integral mempunyai kelebihan untuk memperkecil error, dan kontrol derivative mempunyai kelebihan untuk meredam overshoot / undershoot. Untuk itu agar dapat menghasilkan output dengan risetime yang tinggi dan error yang kecil kita dapat menggabungkan ketiga kontrol tersebut.

Kata kunci: motor DC, Proporsional, Integral, Derivative

1 Pendahuluan

Motor DC merupakan motor yang mudah untuk diaplikasikan. Karena kemudahannya, pada saat ini motor DC sering digunakan untuk macam – macam keperluan, seperti peralatan industri maupun rumah tangga. Namun dalam pengaplikasiannya kecepatan motor DC sering terjadi penurunan akibat dari beban yang ada, sehingga kecepatannya menjadi tidak konstan.

Dalam pemakaian motor, kadang – kadang diinginkan putaran yang dapat diubah – ubah sesuai dengan putaran beban dengan pengaturan perpindahan putaran yang halus. Hal tersebut diperlukan dengan tujuan antara lain untuk mengurangi besarnya arus *start*, meredam getaran dan hentakan mekanis saat *starting*. Oleh karena itu banyak dilakukan usaha bagaimana cara mengatur putaran motor tersebut. Salah satunya adalah dengan kontrol PID. Kontrol PID merupakan teknik kontrol yang sering digunakan dalam rekayasa kontrol. Kendali PID merupakan kombinasi dari tiga macam kendali yaitu *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative*.

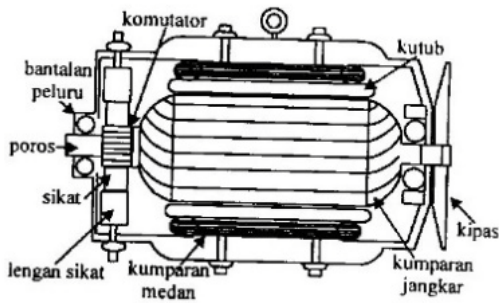
Banyak aplikasi yang membutuhkan jangkauan kecepatan yang lebar, dan kestabilan putaran terhadap nilai acuan (*set point*) yang diinginkan, sehingga diperlukan sebuah data tentang perbandingan nilai respon sistem kecepatan motor yang menggunakan kontrol PID dan tanpa menggunakan kontrol PID atau *open loop* sehingga penggunaan motor bisa lebih efisien.

2 Landasan Teori

2.1 Motor DC

Motor arus searah (motor DC) adalah mesin yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanis. Sebuah motor listrik berfungsi untuk mengubah daya listrik menjadi daya mekanik. Pada prinsip pengoperasiannya, motor arus searah sangat identik dengan generator arus searah. Kenyataannya mesin yang bekerja sebagai generator arus searah akan dapat bekerja sebagai motor arus searah. Oleh sebab itu, sebuah mesin arus searah dapat digunakan baik sebagai motor arus searah maupun generator arus searah.

2.1.1 Konstruksi Motor DC

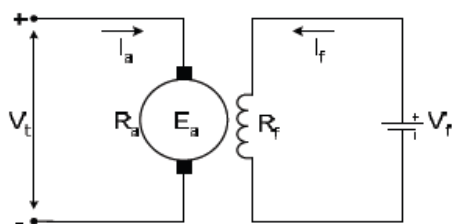


Gambar 1. Konstruksi motor DC

Konstruksi motor arus searah terdiri dari beberapa komponen:

1. Badan Motor yaitu tempat meletakkan sebagian besar komponen mesin dan melindungi bagian mesin
2. Kutub Fungsinya untuk menahan kumparan medan di tempatnya, kemudian menghasilkan distribusi fluks magnet yang lebih merata diseluruh jangkar dengan menggunakan permukaan yang melengkung. Inti kutub dari lamisani plat-plat baja yang terisolasi satu sama lain, Sepatu kutub dilaminasi dan dibalut ke ini kutub.
3. Inti jangkar yang terbuat dari bahan *ferromagnetik*, dengan maksud agar komponen-komponen (lilitan jangkar) terletak dalam daerah yang induksi magnetnya besar, supaya ggl induksi dapat bertambah besar.
4. Kumparan yang merupakan tempat dibangkitkannya ggl induksi.
5. Kumparan medan adalah susunan konduktor yang dibelitkan pada inti kutub. Rangkaian medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi utama dibentuk dari kumparan pada setiap kutub.
6. Komutator terdiri dari sejumlah segmen tembaga yang berbentuk lempengan-lempengan yang dirakit ke dalam silinder yang terpasang pada poros. Dimana tiap-tiap lempengan atau segmen-segmen komutator terisolasi dengan baik antara satu sama lainnya.
7. Sikat-sikat ini berfungsi sebagai jembatan bagi aliran arus ke kumparan jangkar. Dimana permukaan sikat ditekan ke permukaan segmen komutator untuk menyalurkan arus listrik.
8. Fungsi dari celah udara adalah sebagai tempat mengalirnya fluksi yang dihasilkan oleh kutub-kutub medan.

2.1.2 Motor Arus Searah Penguatan Terpisah



Gambar 2. Rangkaian ekivalen Motor arus searah penguatan bebas

Persamaan umum motor arus searah penguatan terpisah

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (1)$$

$$V_f = I_f + R_f \quad (2)$$

Dimana:

V_t = teg. terminal jangkar motor arus searah (v)

I_a = arus jangkar (Amp)

R_a = tahanan jangkar (ohm)

E_a = gaya gerak listrik motor arus searah (volt)

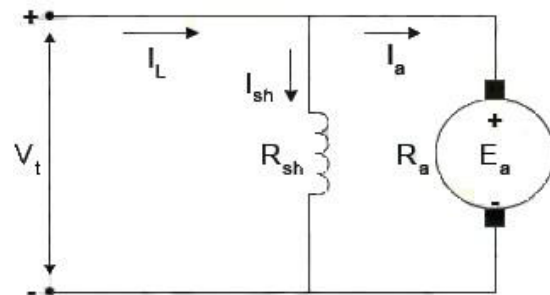
V_f = teg. terminal medan penguatan bebas (volt)

I_f = arus medan penguatan bebas (amp)

R_f = tahanan medan penguatan bebas (ohm)

Umumnya jatuh tegangan pada sikat relatif kecil sehingga besarnya dapat diabaikan.

2.1.3 Motor Arus Searah Penguatan Sendiri Shunt



Gambar 3 Motor arus searah penguatan shunt

Persamaan umum motor arus searah penguatan seri

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (3)$$

$$V_{sh} = V_t = I_{sh} \cdot R_{sh} \quad (4)$$

$$I_L = I_a + I_{sh} \quad (5)$$

Dimana:

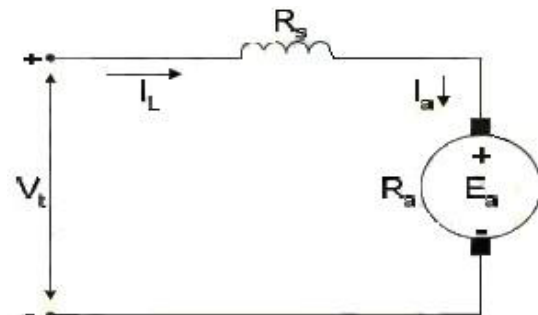
I_{sh} = arus kumparan medan shunt (ohm)

V_{sh} = teg. terminal medan motor arus searah (v)

R_{sh} = tahanan medan shunt (ohm)

I_L = arus beban (ampere)

Seri



Gambar 4 Motor arus searah penguatan seri

Persamaan umum motor arus searah penguatan seri.

$$V_t = E_a + I_a (R_a + R_s) \quad (6)$$

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a + R_s} \quad (7)$$

$$I_a = I_L = I_f$$

(8) dimana K_p adalah kepekaan *proportional* atau penguatan.

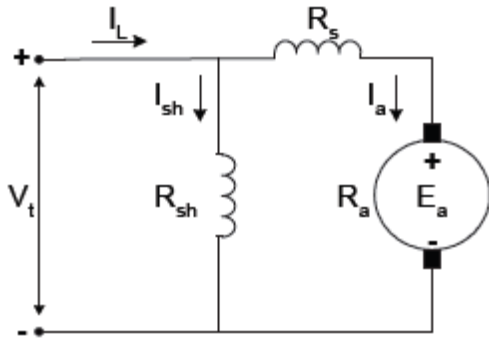
Dimana:

I_a = arus kumparan medan seri (ampere)

I_L = arus medan seri (ampere)

Kompon

Pada motor kompon mempunyai dua buah kumparan medan dihubungkan seri dan paralel dengan anker. Bila motor seri diberi penguat shunt tambahan seperti gambar dibawah disebut motor kompon panjang.



Gambar 5 Motor Arus Searah Penguatan Kompon Panjang

Persamaan umum motor arus searah penguatan kompon panjang

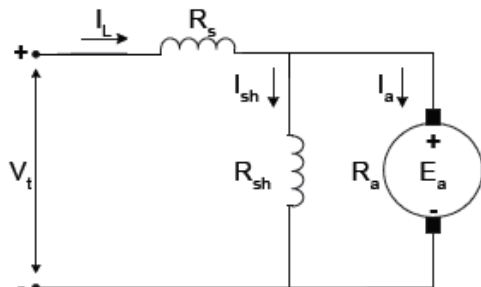
$$I_L = I_a + I_{sh} \quad (9)$$

$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_s) \quad (10)$$

$$P_{in} = V_t \cdot I_L \quad (11)$$

$$V_t = V_{sh} \quad (12)$$

Bila motor shunt diberi tambahan penguat seri seperti gambar dibawah disebut motor kompon shunt pendek



Gambar 6. Motor Arus Searah Penguatan Kompon Panjang

Persamaan umum motor arus searah penguatan kompon pendek

$$I_L = I_a + I_{sh} \quad (13)$$

$$V_t = E_a + I_a \cdot R_a + I_L \cdot R_s \quad (14)$$

$$P_{in} = V_t \cdot I_L \quad (15)$$

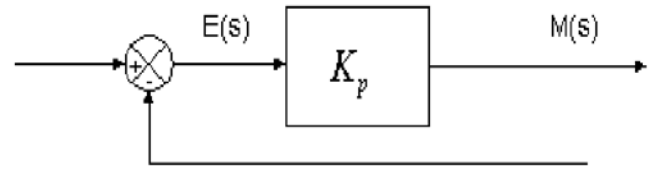
2.2 Kontrol Proportional

Untuk kontroler dengan kontrol *proportional*, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

$$m(t) = K_p e(t) \quad (16)$$

atau dalam besaran transformasi laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_p \quad (17)$$



Gambar 7 Diagram blok kontroler proporsional

2.3 Kontrol Integral

Pada kontroler dengan kontrol *integral*, harga keluaran kontroler $m(t)$ diubah dengan laju yang sebanding dengan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$. Jadi,

$$\frac{dm(t)}{dt} = K_i e(t) \quad (18)$$

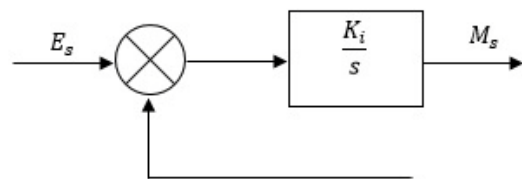
atau,

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (19)$$

dimana K_i adalah konstanta yang dapat diatur. Fungsi alih kontroler *integral* adalah:

$$\frac{M(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad (20)$$

Jika harga $e(t)$ diduakalikan, maka harga $m(t)$ berubah dengan laju perubahan menjadi duakali semula. Jika kesalahan penggerak nol, maka harga $m(t)$ tetap stasioner.



Gambar 8 Diagram blok kontroler integral

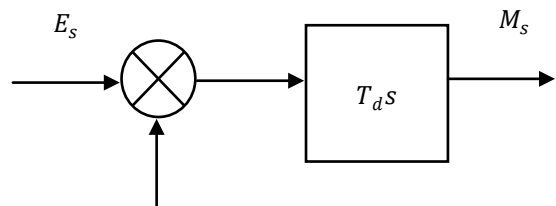
2.4 Kontrol Derivative

Untuk kontroler dengan kontrol *Derivative*, hubungan antara keluaran kontroler $m(t)$ dan sinyal kesalahan penggerak $e(t)$ adalah:

$$m(t) = K_d \frac{de}{dt} \quad (21)$$

atau dalam besaran transformasi laplace,

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_d s \quad (22)$$



Gambar 9. Diagram Blok Kontrol Derivative

3 Perancangan Sistem Kendali

3.1 Open Loop

Fungsi alih dari *open loop* adalah sebagai berikut:

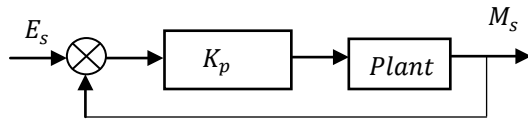
$$\begin{aligned} \frac{M_s}{E_s} &= \frac{K}{JLs^2 + (LB + JR)s + (RB + K^2)} \quad (23) \\ &= \frac{0.01}{(0.01 \times 0.5)s^2 + [(0.5 \times 0.10) + (0.01 \times 1)]s + [(1 \times 0.10) + (0.01)^2]} \\ &= \frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100} \end{aligned}$$

sehingga akar persamaanya adalah:

$$(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100$$

3.2 Kendali Proporsional, Integral

Pada pengendalian ini digunakan pengendali Proporsional dan Integral. Pengendali proporsional yang bersifat sebagai gain untuk mencapai *setpoint*, kendali Integral yang berfungsi untuk mempercepat respon. Diagram blok kendali *Proporsional, Integral* (PI) adalah sebagai berikut



Fungsi alih kontrol *Proportional, Integral* (PI)

$$Plant = \frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}$$

$$G(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s}\right) \left(\frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}\right)$$

$$= \frac{0.01(K_p s + K_i)}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}$$

$$Fungsi\ Alih = \frac{G(s)}{1 + G(s)}$$

$$= \frac{\frac{0.01(K_p s + K_i)}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}}{1 + \frac{0.01(K_p s + K_i)}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}}$$

$$= \frac{0.01(K_p s + K_i)}{(0.005)s^2 + (0.060 + 0.01K_p)s + (0.100 + 0.01K_i)}$$

$$= \frac{0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^2 + (0.060 + 0.01K_p)s + (0.100 + 0.01K_i)}$$

Masukan nilai K_p , K_i dan K_d sesuai dengan data berikut:

$$K_p = 132$$

$$K_i = 120$$

Sehingga didapat fungsi alih

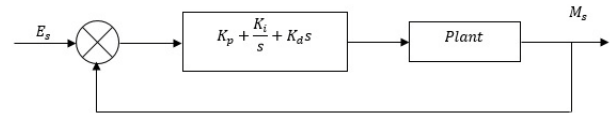
$$= \frac{1.32s + 1.2}{(0.005)s^2 + (1.38)s + 1.3}$$

Akar persamaanya:

$$(0.005)s^2 + (1.38)s + 1.3$$

3.3 Kendali Proporsional, Integral, Derivative (PID)

Pada pengendalian ini digunakan pengendali *Proporsional, Integral*, dan *derivative*. Pengendali proporsional yang bersifat sebagai gain untuk mencapai *setpoint*, kendali *Integral* yang berfungsi untuk mempercepat respon, dan *derivatif* yang berfungsi untuk menghilangkan *osilasi* pada respon. Diagram blok pengendali PID adalah sebagai berikut:



Fungsi alih kontrol *Proportional, Integral, Derivative* (PID)

$$Plant = \frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}$$

$$= \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s\right) \left(\frac{0.01}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}\right)$$

$$= \frac{0.01K_d s^2 + 0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}$$

$$Fungsi\ Alih = \frac{G(s)}{1 + G(s)}$$

$$= \frac{\frac{0.01K_d s^2 + 0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}}{1 + \frac{0.01K_d s^2 + 0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^2 + (0.060)s + 0.100}}$$

$$= \frac{0.01K_d s^2 + 0.01K_p s + 0.01K_i}{(0.005)s^3 + (0.060 + 0.01K_d)s^2 + (0.100 + 0.01K_p)s + 0.01K_i}$$

Masukan nilai K_p , K_i dan K_d sesuai dengan data berikut:

$$K_p = 132$$

$$K_i = 120$$

$$K_d = 2.6$$

Sehingga didapat fungsi alih

$$= \frac{(0.026)s^2 + (1.32)s + 1.2}{(0.005)s^3 + (0.086)s^2 + (1.42)s + 1.2}$$

Akar persamaanya:

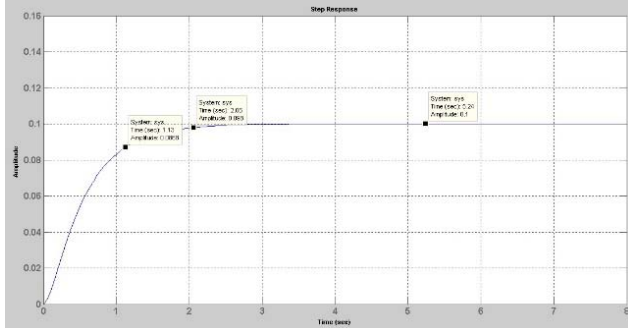
$$(0.005)s^3 + (0.086)s^2 + (1.42)s + 1.2$$

4. Simulasi Matlab

4.2 Analisis dengan Kendali PI

4.1 Uji Open Loop

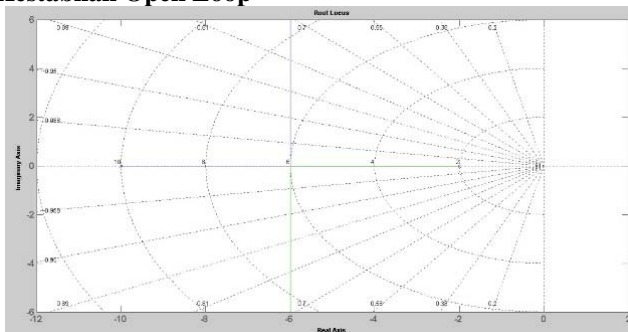
Respon Open Loop

Gambar 10 Respon keluaran *open loop*Tabel 1. Nilai respon keluaran *open loop*

Parameter	Nilai
Rise Time (<i>tr</i>)	1.1375 detik
Settling Time (<i>ts</i>)	2.0676 detik
Overshoot (<i>mp</i>)	0 %
Peak Time (<i>tp</i>)	5.2453 detik
Peak	0.1

Respon step *open loop* motor arus searah menunjukkan bahwa performansi motor arus searah masih kurang bagus karena masih membutuhkan *settling time* yang sangat lama yaitu sebesar 2.0676 detik. Agar sistem kecepatan motor arus searah mempunyai performansi yang baik, maka *rise time*, *settling time*, dan *peak time* harus mempunyai durasi yang lebih cepat.

Kestabilan Open Loop

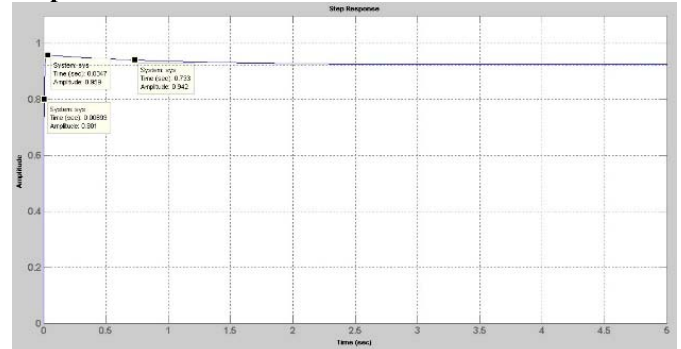
Gambar 11 Diagram kestabilan *rootlocus open loop*

$$K =$$

$$\begin{matrix} -3 \\ -10 \end{matrix}$$

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa sistem *open loop* bersifat stabil karena bagian nyata dari akar – akar persamaan semua bernilai negatif.

Respon kendali PI



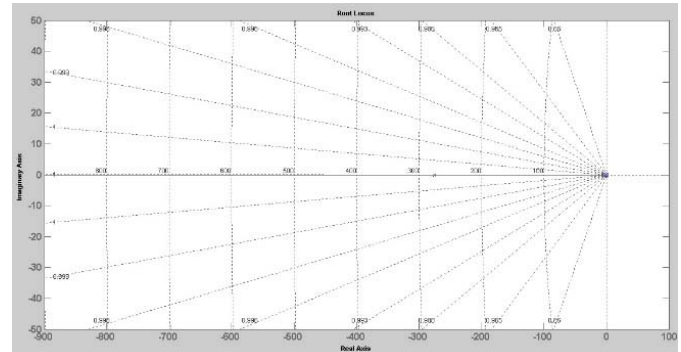
Gambar 12 Respon keluaran kendali PI

Tabel 2 Nilai Respon keluaran kendali PI

Parameter	Nilai
Rise Time (<i>tr</i>)	0.0069 detik
Settling Time (<i>ts</i>)	0.7314 detik
Overshoot (<i>mp</i>)	0 %
Peak Time (<i>tp</i>)	0.0347 detik
Peak	0.9587

Respon keluaran dari kendali *Proportional Integral* (PI) menunjukkan bahwa performansi motor arus searah sudah cukup baik karena membutuhkan *settling time* sebesar 0.7314 detik. Namun untuk mencapai nilai kestabilan masih membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 2.3 detik

Kestabilan Kendali PI

Gambar 13 Diagram kestabilan *root locus* kendali PI

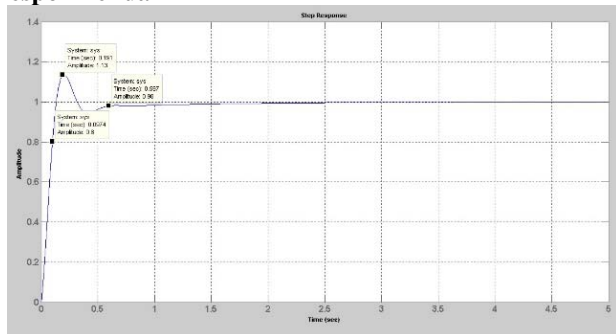
$$K =$$

$$\begin{matrix} -275.0547 \\ -0.9453 \end{matrix}$$

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa sistem kendali *Proportional Integral* bersifat stabil karena bagian nyata dari akar – akar persamaan semuanya bernilai negatif.

4.3 Analisis dengan Kendali PID

Respon kendali PID



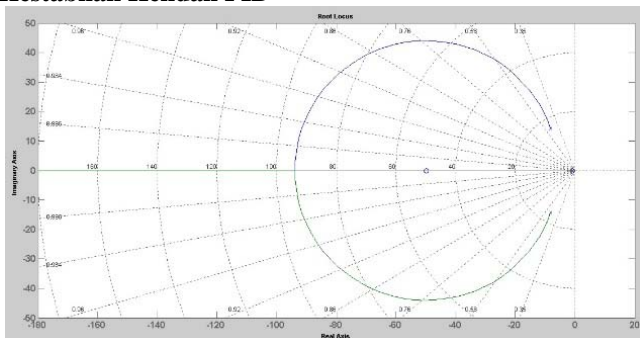
Gambar 14 Respon keluaran kendali PID

Tabel 3 Nilai respon keluaran kendali PID

Parameter	Nilai
Rise Time (t_r)	0.0974 detik
Settling Time (t_s)	0.5963 detik
Overshoot (mp)	13.5402 %
Peak Time (t_p)	0.1914 detik
Peak	1.1359

Pada respon keluaran dari sistem dengan kendali PID seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2 dan tabel 4.2 terlihat bahwa performansi yang dihasilkan sudah cukup baik dan respon dapat mencapai kestabilan dalam waktu 0.59 detik.

Kestabilan Kendali PID



Gambar 15 Diagram kestabilan *root locus* kendali PID

$$K = \begin{matrix} -8.1547 & +14.24691 \\ -8.1547 & -14.24691 \\ -0.8906 \end{matrix}$$

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa sistem kendali *Proportional Integral Derivative* bersifat stabil karena bagian nyata dari akar – akar persamaan bernilai negatif.

5. Kesimpulan

Respon keluaran Kontrol *Proportional Integral* (PI) maupun *Proportional Integral Derivative* (PID) cukup baik karena kendali PI membutuhkan *Rise Time* (t_r) sebesar 0.0069 detik, *settling time* sebesar 0.7314 detik, dan *peak time* sebesar 0.0347 detik. Sedangkan kendali PID membutuhkan *Rise Time* 0.0974 detik, *Settling time* sebesar

0.5963, *peak time* sebesar 0.1914 detik. Namun kendali PI membutuhkan waktu stabil yang lebih lama yaitu sebesar 2.3 detik.

Pengujian menggunakan *open loop*, kendali PI maupun PID menunjukkan bahwa sistem bersifat stabil karena semua bagian nyata dari akar – akar persamaan bernilai negatif.

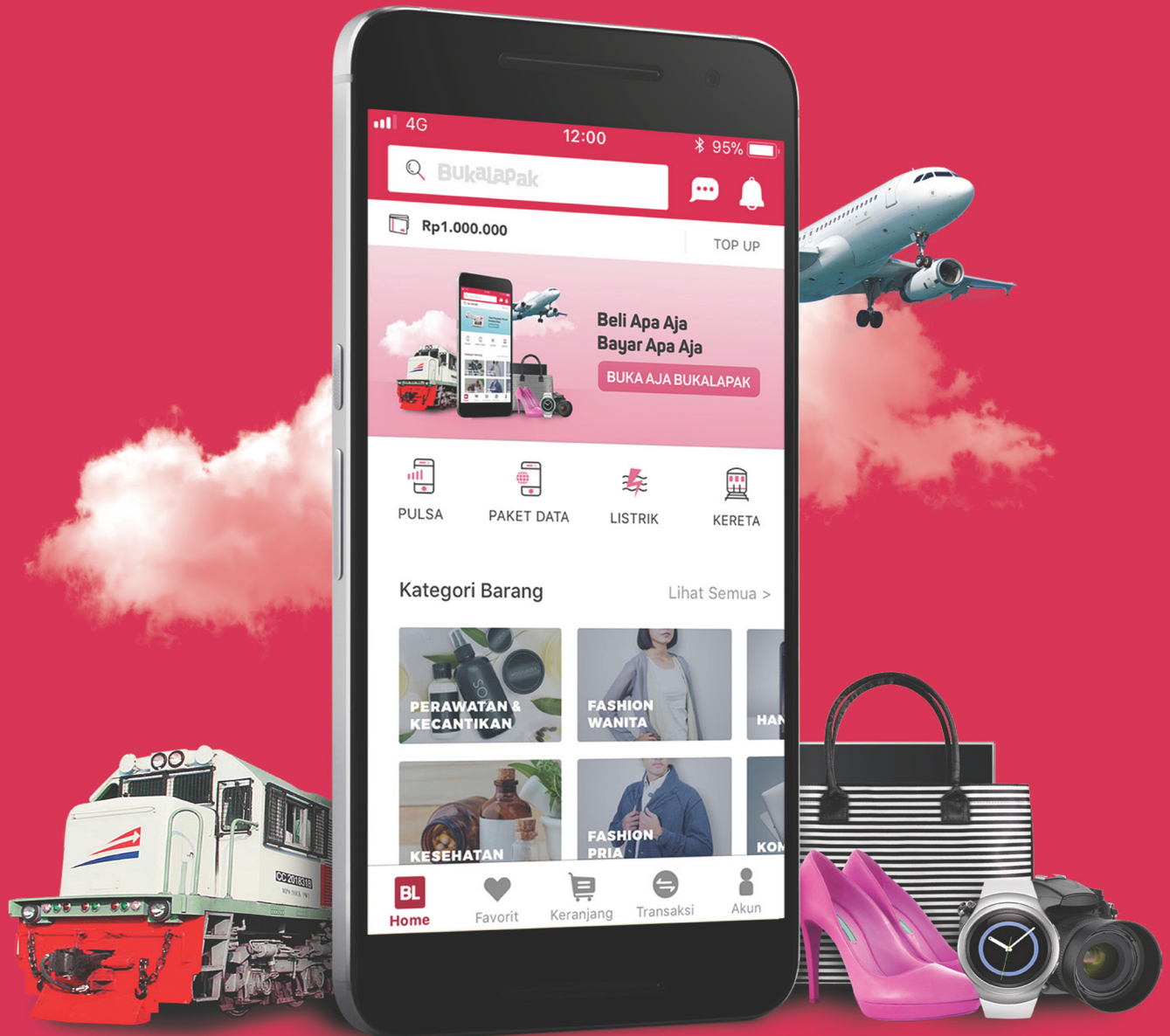
Kepustakaan

- [1] Y. Rijono, Dasar Teknik Tenaga Listrik, Yogyakarta: ANDI, 1997.
- [2] Zuhail dan Zhangischan, Prinsip Dasar Elektroteknik, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Ilmu, 2004.
- [3] H. Berahim, Pengantar Teknik Tenaga Listrik, Yogyakarta: ANDI, 1991.
- [4] H. D. Laksoni, Sistem Kendali dengan PID I, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2014.
- [5] K. Ogata, Modern Control Engineering (Part I), New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- [6] Endra dan dkk, "Simulasi Auto Tuning PID Controller Untuk Motor DC Menggunakan Metode Multiple Integration," Jurnal Teknik Komputer, vol. XVIII, pp. 123-139, 2008.
- [7] H. Wicaksono, Catatan Kuliah "Automasi 1", Surabaya: Universitas Kristen Petra, 2009.
- [8] D. Happyanto dan M. Purnomo, Teknik Kendali Motor Induksi Tiga Fasa, Jogjakarta: Graha Ilmu, 2014.
- [9] A. Sofwan dan R. S. Baqo, "jurnal elektronika," Sistim Pengendali Kecepatan Putaran Motor AC Satu Fasa Menggunakan Mikrokontroler AT85S8252, pp. 2-4, 2014.
- [10] H. D. Laksono, Sistem Kendali dengan PID II, Yogyakarta: TEKNO SAINS, 2016.
- [11] W. Setiawan dan P. Raharjo, Pengendali Motor DC dengan PID Controller, Yogyakarta: Inkubator Teknologi, 2014.
- [12] Waluyo dan dkk, "Analisis Penalaan Kontrol PID Pada Simulasi Kendali Kecepatan Putaran Motor DC Berbeban menggunakan Metode Heuristik," Jurnal Teknik Elektro, vol. I, pp. 79-92, 2013.

Bidang
Teknik Mesin

BELI APA AJA
BAYAR APA AJA
BUKA AJA

Bukalapak



Analisis Sifat Mekanis Magnesium Melalui Uji Tarik

Uum Sumirat^{*}, Asari Djohar, Iwa Kuntadi, Sigit Supriatno

Program Studi Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas Pendidikan Teknik dan Kejuruan
Universitas Pendidikan Indonesia
Jalan Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung 40154, Jawa Barat
Telp : 022 – 2013163, Faks: 022 - 2013651

Abstrack – Bone implant plates are only used temporarily during the healing process of a fractured bone. Once the healing process is complete, the implants need to be surgically removed. By using biodegradable material there will be no need for an implant removal surgery, because the implant plate will be degraded and destroyed naturally in the body. This biodegradable implant would need to be strong enough to handle the body's weight and movement to be able to replace the bone physiologic function until the fractured bone is completely healed. A possible biodegradable material that could be degraded and destroyed naturally in the body is magnesium. However, magnesium has its limitation, its ability to resist corrosive properties is faster than a fractured bone healing process. Therefore, the plastic deformation process is done by suppressing the plate with 1%, 2%, and 3% degradation. It will increase the magnesium's ability to resist the dynamic force and improve its mechanical properties, so that the biodegradable implant plate can perform its function as a substitute for the fractured bone until the healing process is completed and degraded naturally only afterwards. The corrosive body fluid environment and recurring loads retained by the implant plate during the bone fixation process leads to fatigue of the implant plate. The crack rate testing of deformed magnesium alloys after immersion process in the physiological fluid DMEM can provide useful information on magnesium mechanical strength enhancement and subsequently whether it is feasible to be used as biodegradable bone implant plate.

Keywords: magnesium, deformed, crack rate, biomaterial

Abstrak – Plat implan tulang hanya digunakan sementara selama proses penyembuhan patah tulang sampai tersambung kembali tulang yang patah. Setelah itu harus dilakukan operasi pengambilan kembali plat implan tersebut. Dengan menggunakan biodegradable material maka tidak perlu dilakukan operasi kembali karena plat implant dapat terdegradasi dan hancur di dalam tubuh. Sebagai pengganti fungsi tulang yang patah selama proses fiksasi, maka plat implan harus mampu menahan beban sampai tersambung kembali tulang yang patah. Salah satu material yang mempunyai kemampuan dapat terdegradasi dan hancur dalam tubuh adalah magnesium akan tetapi magnesium memiliki sifat tahan korosi yang lebih cepat dibandingkan dengan proses penyambungan tulang yang patah, oleh karena itu proses deformasi plastis dengan cara ditekan dengan degradasi 1%, 2%, dan 3% akan meningkatkan kemampuan magnesium dalam menahan gaya dinamis dan meningkatkan sifat mekanisnya, sehingga biodegradable plat implan ini dapat bertahan dan melakukan fungsinya sebagai pengganti tulang yang patah sampai proses penyembuhan berlangsung sempurna. Lingkungan cairan tubuh yang bersifat korosif dan adanya beban berulang yang ditahan oleh plat implan selama proses fiksasi mengakibatkan terjadinya kelelahan plat implant. Pengujian laju rambat retak pada magnesium paduan terdeformasi setelah melalui proses perendaman dalam cairan fisiologis DMEM dapat memberikan informasi mengenai peningkatan kekuatan mekanis magnesium sehingga akan menjawab kelayakan magnesium terdeformasi sebagai biodegradable material.

Kata kunci: Magnesium, Terdeformasi, Rambat retak, Biomaterial

1 Pendahuluan

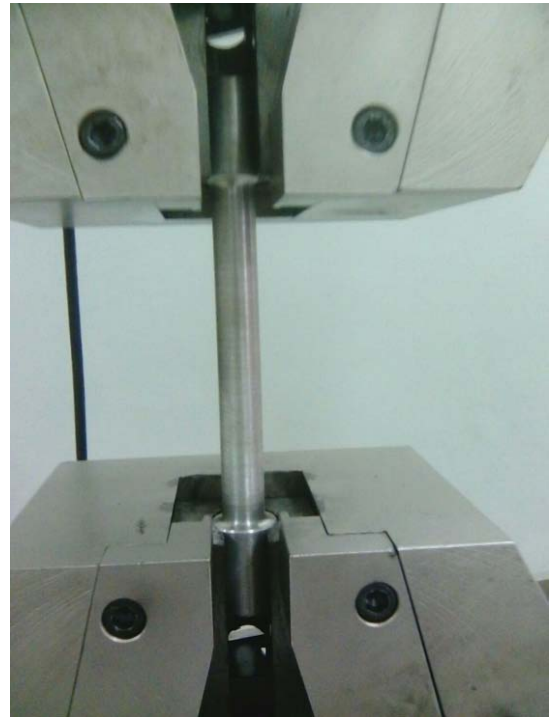
Magnesium beserta paduannya berpotensi sebagai material yang dapat digunakan sebagai konstruksi ringan mesin automotif dan industri karena sifat mekanisnya yang memiliki kepadatan yang rendah, kekuatan spesifik yang tinggi, tahan penyok, dan daya redam terhadap gelombang elektromagnetik.⁵⁾ Selain itu, magnesium memiliki sifat biodegradable sehingga menjadi perhatian para peneliti sebagai material plat implan dalam tubuh⁴⁾. Namun, magnesium murni akan mengalami degradasi yang tidak menguntungkan di bawah lingkungan fisiologis yang menyebabkan kekuatannya menurun.

Melalui proses ECAP (Equal Channel Angular Pressing), laju biodegradasi magnesium dalam lingkungan rendaman cairan fisiologis DMEM, dapat diperbaiki⁴⁾. Kekuatan puncak (*Ultimate Tensile Strength / UTS*), kekerasan vickers, dan kekuatan bendungnya pun membaik^{2 3)}.

Karena, plat implan akan menggantikan fungsi tulang sementara yang mengalami beban dinamis berulang, maka perlu dilakukan uji sifat mekanis secara dinamis pula melalui uji kelelahan dan analisa rambat retak. Sebagai langkah awal, analisa sifat mekanis secara statis perlu dilakukan kembali sebagai kontrol.

2 Prosedur Eksperimen

Material magnesium yang digunakan adalah magnesium murni komersial dengan tingkat kemurnian 99.9%. Untuk proses uji tarik, material dipotong dan dibubut menjadi specimen sesuai dengan ASTM E8/E8M (Metode Test Standard untuk Uji Tarik Material Metal). Specimen berbentuk silinder berdiameter 12,5mm, diameter pemegang 20mm dengan panjang *reduced section* 100mm dan panjang pemegang masing masing 20mm. Permukaan specimen adalah murni hasil bubut dan tidak dilakukan pengerjaan permukaan.



Gambar 1. Specimen pada Universal Testing Machine.

Dua buah specimen dilakukan uji tarik menggunakan Universal Testing Machine dengan base length 99mm dan kecepatan beban sebesar 5kg/s.

3 Hasil dan Diskusi



Gambar 2. Specimen 1



Gambar 3. Specimen 2



Gambar 4. Patahan Specimen 2

Specimen pertama mencapai tegangan fraktur tidak sampai benar benar putus (Gambar 2). Didapat data sebagai berikut :

Gaya puncak	765 kg
Tegangan puncak	6,04 kg/mm ²
Gaya elastik	544 kg
Tegangan Elastik	4,30 kg/mm ²

Sedangkan specimen kedua mencapai tegangan fraktur sampai putus (Gambar 3 dan 4). Didapat data sebagai berikut:

Gaya puncak	778 kg
Tegangan puncak	6,14 kg/mm ²
Gaya elastik	633 kg
Tegangan Elastik	4,99 kg/mm ²

4 Simpulan

Magnesium murni yang dibubut tanpa perlakuan deformasi plastis telah dilakukan uji tarik dan didapat bahwa magnesium mempunyai tegangan luluh sebesar 4,30 kg/mm² s.d. 4,99 kg/mm² dan tegangan ultimate sebesar 6,04 kg/mm² s.d. 6,14 kg/mm².

Kepustakaan

1. ASTM E8/E8M
2. Syaflida, Rahmi. 2012. Tesis: Analisis Sifat Mekanis Magnesium Setelah Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Melalui Uji Tarik dan Uji Kekerasan Dalam Cairan Fisiologis (in-Vitro). Jakarta: FKG-UI.
3. Cahyono, Novianto Agung. 2014. Tesis: Analisis Sifat Mekanis Magnesium Equal Channel Angular Pressing (ECAP) Sebagai Bahan Plate pada Fraktur Mandibula Melalui Uji Bending dan Uji Keuletan dalam Cairan Fisiologis Dulbecco's Moodified Eagle Medium (DMEM). Jakarta: FKG-UI.
4. Badeges, Arfan. 2012. Tesis: Analisis Proses Biodegradasi Magnesium yang Telah Melalui Proses Equal Channel Angular Pressing (ECAP) dalam Cairan Fisiologis (In Vitro). Jakarta: FKG-UI.

Pengaruh Berat *Bucket* Terhadap Putaran dan Torsi Pada Turbin Pelton

Ahmad Samil Mubarak*, M Yusuf Djeli, Dan Mugisidi

Program Studi Teknik Mesin, Faculty of Engineering (Universitas Muhammadiyah Prof DR. HAMKA,
Jl. Tanah Merdeka No.6, Kampung Rambutan, Pasar Rebo, Jakarta Timur
Telp.021-87782739, Fax. 021-840091

Abstrak – Perancangan ini bertujuan untuk mengetahui nilai perbandingan *bucket* turbin pelton dengan variasi *bucket* turbin berbahan resin murni dan *bucket* berbahan resin campuran serbuk kuningan dengan perbandingan jumlah nosel 7 mm, 10,5 mm, dan 14 mm untuk mengetahui nilai optimum putaran turbin dan nilai optimum torsi *bucket* resin murni dan *bucket* resin campuran kuningan. Perancangan diawali dengan membuat turbin pelton yang terdiri dari *bucket*, *runner*, dan poros. Parameter yang diukur dalam pengujian turbin pelton adalah debit aliran, tekanan air, putaran (rpm), dan torsi poros turbin. Hasil penelitian terhadap masing-masing *bucket* antara *bucket* resin murni dan *bucket* resin campuran kuningan pada debit 0,00031 m³/s menunjukkan bahwa turbin dengan *bucket* dengan bahan resin murni menghasilkan putaran terbesar 80 rpm. Sedangkan nilai torsi terbesar yaitu *bucket* resin campuran serbuk kuningan pada debit 0,00029 m³/s menghasilkan torsi terbesar 0,59 N.m.

Kata kunci: Turbin pelton, *bucket* resin murni, *bucket* resin campuran kuningan.

1 Pendahuluan

Energi air adalah energi yang telah dimanfaatkan secara luas dan digunakan sebagai pembangkit listrik. Potensi air sebagai sumber energi terutama digunakan sebagai penyedia energi listrik tenaga air maupun mikrohidro. Energi kinetik aliran air yang merupakan transformasi dari energi potensial gravitasi dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin atau kincir. Salah satu turbin yang memanfaatkan energi kinetik aliran air yaitu turbin pelton atau turbin *implus* dimana turbin ini menggunakan *head* melalui pancaran air dari nosel dan meneruskan tenaga menjadi energi mekanik berupa putaran roda turbin yang tersambung dengan poros dan diteruskan alternator untuk menghasilkan tenaga listrik.

Belakangan ini terdapat turbin pelton dengan beberapa model modifikasi untuk kinerja yang lebih baik tetapi tidak mengetahui faktor lain dari turbin yaitu mempertahankan kecepatan putar untuk menolak perubahan keadaan gerakannya untuk mendapatkan kinerja putaran dan nilai torsi yang optimum. Berat *bucket* sebagai ukuran kelembaman terhadap kinerja pada turbin pelton.

Hal itulah yang mendasari diperlakukannya pembuktian perancangan *bucket runner* menggunakan dua material yang berbeda dengan perbandingan *bucket* menggunakan resin murni dan *bucket* menggunakan resin campuran serbuk kuningan sebagai hasil perbandingan berat terhadap kinerja

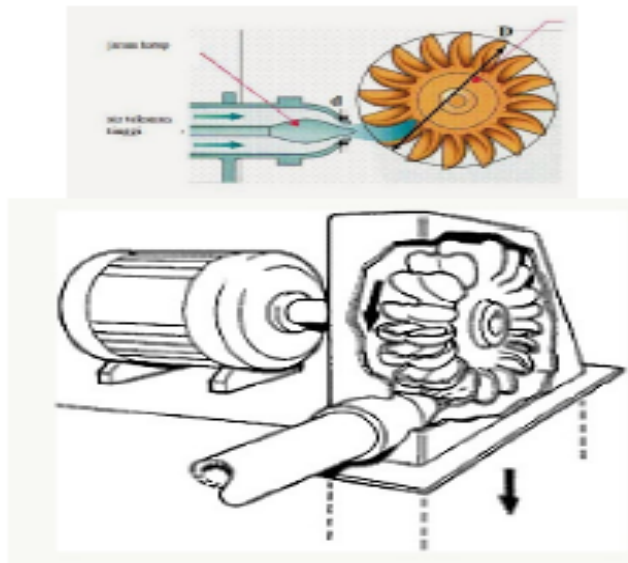
putaran dan nilai torsi yang optimum. Dalam menentukan berapa banyak *bucket* yang dipakai maka harus mengetahui diameter pitch sebagai acuan untuk mendapatkan berapa *bucket* yang dihasilkan dan diameter nosel yang dipakai (miroslav nechleba, 1957). Sehingga perancangan *bucket runner* dapat diterangkan alasan pengaruh perbandingan berat dan perbandingan variasi diameter *jet* nosel akan berpengaruh terhadap kinerja putaran yang dihasilkan turbin pelton dengan perbandingan berat *bucket* berbahan resin murni dan resin campuran serbuk kuningan terhadap variasi diameter nosel ukuran 7 mm, 10,5 mm, dan 14 mm serta mengetahui torsi optimum antara perbandingan berat *bucket* berbahan resin murni dan *bucket* berbahan resin campuran serbuk kuningan dengan variasi diameter nosel dengan ukuran 7 mm, 10,5 mm, dan 14 mm.

2 Dasar Teori

2. 1. Turbin Pelton (Turbin Implus)

Menurut Miroslav Nechleba, Dr. Techn., M. E., (1957), turbin pelton merupakan turbin implus yang terdiri dari *nozzle*, dimana air muncul dan memasuki nosel. *Runner* yang terpasang *bucket* sebagai *jet* mengenai *bucket* ditransfer energi *jet* ke *bucket runner*. Guna untuk mencapai efisiensi posisi *bucket* dengan *jet* air yang mengenai turbin. Menurut Dwi

Irawan, turbin Pelton adalah turbin impuls yang dipakai untuk tinggi air jatuh yang besar. Aliran fluida kerja dalam pipa akan keluar dengan kecepatan tinggi air jatuh (h) melalui nosel. Tekanan air diubah menjadi kecepatan, pancaran air dalam akan mengenai bagian tengah-tengah sudu dan sesuai dengan perimbangan tempatnya air pancar akan belok dan ada kemungkinan membalikannya air bisa diarahkan tegak lurus. Untuk itu penampang ember dan sudu-sudunya harus ditinjau, agar mendapatkan pemindahan gaya yang sebaik-baiknya. Turbin Pelton adalah turbin dengan kecepatan spesifik yang relatif rendah dan dengan menggunakan tinggi air jatuh yang sangat besar serta kapasitas air yang kecil dibandingkan dengan turbin jenis yang lain.

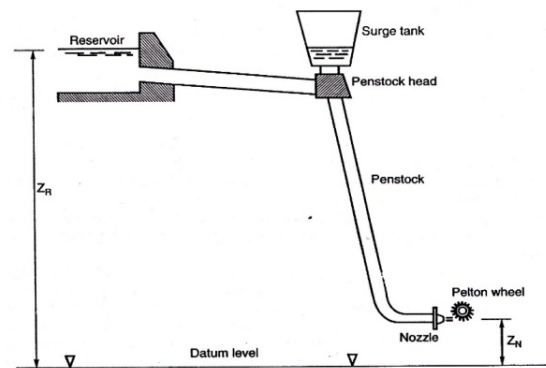


Gambar 1 Turbin pelton

Sumber: Muhammad Nauval Fauzi, Mahaputra, dan Sony Harbintoro, 2016

2. 2. Skema Pembangkit Listrik Turbin Pelton

Menurut Dixon.S. L. (1998), tata letak turbin pelton pembangkit listrik tenaga air adalah skema yang ditunjukkan pada Gambar 2 air yang dikirim melalui waduk dengan kecepatan konstan pada ketinggian Z_R (diatas permukaan laut) dan mengalir melalui pipa ke pintu air, dari pintu air melewati nosel, menggunakan nosel agar mendapatkan kecepatan tinggi fluida. Dalam mengurangi efek buruk dari besarnya aliran air dari waduk oleh karena itu menggunakan tangki penyimpanan air dekat pintu. Tinggi air nosel ke permukaan Z_n , besarnya head yaitu $H_G = Z_R - Z_n$.



Gambar 2 Skema turbin pelton

Sumber: Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery

2. 3. Parameter Perancangan Bucket Runner Turbin Pelton

2. 3. 1. Kecepatan Aliran Fluida (Debit)

$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

2. 3. 2. Head yang Dihasilkan Pompa

Menurut Jayan Sentanuhady dan Davin Sanchorehan, perancangan yang dilakukan harus mengetahui parameter utama yaitu variabel kontrol dari turbin pelton yaitu *gross head* (H_g). Pemilihan nilai head ini didasarkan pada standar Voith untuk turbin pelton (Jayan Sentanuhady dan Davin Sanchorehan).

Oleh karena itu harus mengetahui nilai head total yaitu kurang dari 6% (H_g). Nilai *net head* dapat di tentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_n = H_g - H_{tl} \quad (2)$$

2. 3. 3. Daya Turbin

Menurut Bono dan Gatot Suwoto, (2011), daya yang dibangkitkan oleh turbin dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip *impuls* momentum. Pada saat air mengenai sudu, maka sudu mulai bergerak, sudu yang bergerak ini selanjutnya posisinya digantikan oleh sudu berikutnya sehingga seolah-olah selalu berada ditempat yang sama, sehingga besarnya daya dapat dihitung.

Daya turbin dapat ditentukan oleh besarnya debit air, gaya gravitasi bumi, dan *net head* untuk mendapatkan daya yang dihasilkan turbin pelton. Daya yang dihasilkan sebagai parameter dari spesifikasi pompa yang dipakai untuk perancangan turbin pelton. Daya turbin air dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot g \cdot H_n \cdot Q \quad (3)$$

2. 3. 4. Diameter pitch

Diameter *pitch* yaitu perhitungan untuk menentukan diameter *runner* dengan mengetahui banyaknya *bucket* dan diameter nosel dari masing-masing diameter tersebut harus

diketahui kecepatan keluaran air untuk menentukan diameter *runner* dan diameter nosel.

Menurut Seith S.M., and Modi P.P., (1991), menyarankan

harga perbandingan $jet \left(m = \frac{D}{d} \right)$ yaitu perbandingan antara

diameter piringan dengan diameter nosel.

Menurut Miroslav Nechleba, Dr. Techn., M. E., (1957), perancangan *bucketrunner* dapat diketahui dengan mengetahui jarak sela antara *bucket* satu dengan *bucket* lainnya dengan jarak sela 0,7 sampai 0,8 dengan menentukan diameter *runner* banyaknya *bucket* yang terpasang dan diameter nosel yaitu menggunakan tabel sebagai berikut:

Tabel 2.1 *Jet ratio* dan jumlah *bucket*

<i>Jet ratio</i>	6	8	10	15	20	25
<i>No. Of bucket</i>	17 to 21	18 to 22	19 to 24	22 to 27	24 to 30	26 to 33

Perhitungan yang didapat nantinya dapat ditentukan dengan tabel diatas untuk menentukan berapa *bucket* yang dihasilkan dan diameter nosel yang didapat.

Menurut Miroslav Nechleba, Dr. Techn., M. E., (1957), untuk menentukan kecepatan keluaran air dari nosel dan diameter *pitch* dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$U_I = 0.45 \sqrt{2 \cdot g \cdot H_n} \quad (4)$$

$$D = \frac{60 \cdot U_I}{\pi \cdot N} \quad (5)$$

Menurut Sebin Sabu, Tom Alphonse Antony, Nikhil Jacob George, dan Ashwin Chandy Alex, (2014), untuk menentukan diameter *jet* nosel dapat diambil melalui diameter *pitch* dengan persamaan sebagai berikut:

$$D_{run} = \frac{D}{10} \quad (6)$$

3. Implementasi dan Pengujian

Tabel 1. Data keseluruhan hasil pengujian rata-rata *bucket* resin murni

Diameter Nosel	Debit (m ³ /s)	Preassure Gauge (kg/cm ²)	Putaran 1 (rpm)	Putaran 2 (rpm)	Torsi (N.m)
7 mm	0,00029	0,6	84	72	0,38
	0,00030	0,7	92	78	0,32
	0,00031	0,8	93	80	0,31
10,5 mm	0,00029	0,2	48	36	0,47
	0,00030	0,2	48	38	0,46
	0,00031	0,2	52	48	0,45
14 mm	0,00029	0,2	24	12	0,56
	0,00030	0,2	29	16	0,55
	0,00031	0,2	35	21	0,54

Tabel 2. Data keseluruhan hasil pengujian rata-rata *bucket* resin campuran serbuk kuning

Diameter Nosel	Debit (m ³ /s)	Preassure Gauge (kg/cm ²)	Putaran 1 (rpm)	Putaran 2 (rpm)	Torsi (N.m)
7 mm	0,00029	0,6	54	46	0,42
	0,00030	0,7	90	73	0,32
	0,00031	0,8	92	78	0,30
10,5 mm	0,00029	0,2	24	12	0,48
	0,00030	0,2	43	30	0,47
	0,00031	0,2	48	32	0,46
14 mm	0,00029	0,2	18	6	0,59
	0,00030	0,2	19	12	0,56
	0,00031	0,2	21	18	0,54

3.1 Pengaruh Diameter Nosel terhadap Putaran (rpm)

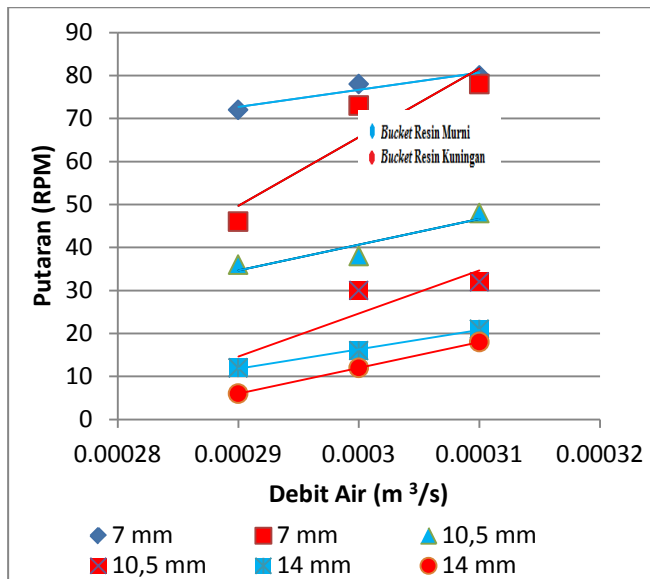
Tabel 3.3 Putaran yang dihasilkan turbin pelton (*Bucket* resin murni)

Diameter Nosel	Debit (m ³ /s)	Preassure Gauge (kg/cm ²)	Putaran (rpm)
7 mm	0,00029	0,6	72
	0,00030	0,7	78
	0,00031	0,8	80
10,5 mm	0,00029	0,2	36
	0,00030	0,2	38
	0,00031	0,2	48
14 mm	0,00029	0,2	12
	0,00030	0,2	16
	0,00031	0,2	21

Tabel 3.4 Putaran yang dihasilkan turbin pelton (*Bucket* resin campuran serbuk kuning)

Diameter Nosel	Debit (m ³ /s)	Preassure Gauge (kg/cm ²)	Putaran (rpm)
7 mm	0,00029	0,6	46
	0,00030	0,7	73
	0,00031	0,8	78
10,5 mm	0,00029	0,2	12
	0,00030	0,2	30
	0,00031	0,2	32
14 mm	0,00029	0,2	6
	0,00030	0,2	12
	0,00031	0,2	18

Pada tabel 3.3 dan tabel 3.4 dapat dilihat seluruh data hasil perhitungan. Dari hasil perhitungan dapat di jelaskan pada Gambar 3.1.



Gambar 4.1 Hasil perbandingan putaran turbin *bucket* murni dengan *bucket* resin campuran serbuk kuningan

Pada Gambar 3.1 bahwa perbedaan perbandingan putaran yang dihasilkan *bucket* resin murni lebih tinggi di bandingkan hasil putaran *bucket* resin campuran kuningan. Hal ini menunjukkan bahwa perbandingan berat *bucket* berpengaruh terhadap putaran yang dihasilkan karena beban yang lebih ringan terhadap tumbukan yang diberikan nosel terhadap *bucket* resin. Nilai rata-rata berat *bucket* resin murni di angka 13,6 gram sedangkan nilai rata-rata *bucket* resin campuran serbuk kuningan di angka 21,1 gram. Sehingga seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 grafik perbandingan berat *bucket* terhadap putaran menghasilkan putaran optimum yang tertinggi yaitu *bucket* dengan bahan resin murni karena berat *bucket* lebih ringan di bandingkan *bucket* serbuk kuningan.

3.2 Pengaruh Diameter Nosel terhadap Torsi

Menentukan nilai perbandingan berat *bucket* resin murni dan *bucket* resin campuran serbuk kuningan untuk menentukan nilai torsi optimum sebagai tenaga untuk menggerakkan alternator. Oleh karena itu turbin pelton salah satu pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga air, listrik yang dihasilkan turbin terhubung dengan alternator yang berputar membutuhkan nilai torsi optimum.

Nilai torsi dapat diketahui sebagai berikut:

$$T = F \times r$$

Dimana:

T : Torsi (N.m)

F : Gaya (Kg)

r : Jarak (m)

Pernyataan tersebut hasil pengujian torsi di lapangan dapat diketahui dengan tabel sebagai berikut:

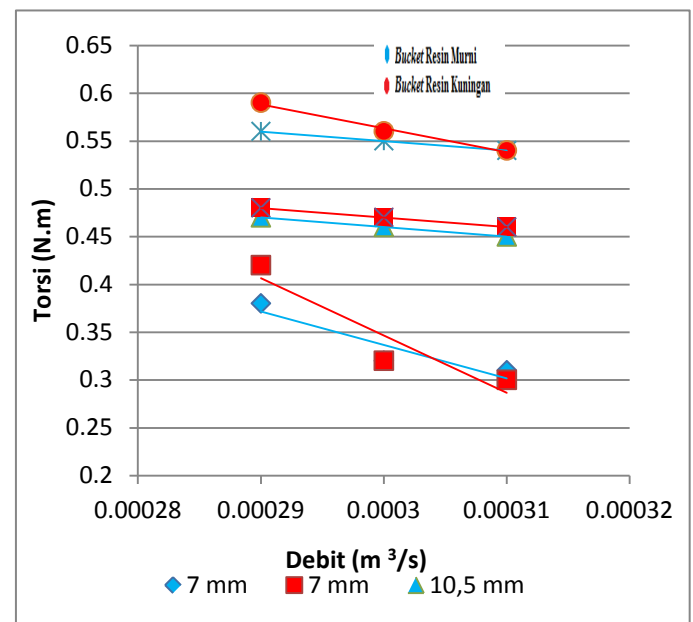
Tabel 3.5 Hasil pengujian torsi (*Bucket* resin murni)

Diameter Nosel	Debit (m³/s)	Preassure Gauge (kg/cm²)	Putaran (rpm)	Torsi N.m
7 mm	0,00029	0,6	72	0,38
	0,00030	0,7	78	0,32
	0,00031	0,8	80	0,31
10,5 mm	0,00029	0,2	36	0,47
	0,00030	0,2	38	0,46
	0,00031	0,2	48	0,45
14 mm	0,00029	0,2	12	0,56
	0,00030	0,2	16	0,55
	0,00031	0,2	21	0,54

Tabel 3.6 Hasil pengujian torsi (*Bucket* resin campuran serbuk kuningan)

Diameter Nosel	Debit (m³/s)	Preassure Gauge (kg/cm²)	Putaran (rpm)	Torsi N.m
7 mm	0,00029	0,6	46	0,42
	0,00030	0,7	73	0,32
	0,00031	0,8	78	0,30
10,5 mm	0,00029	0,2	12	0,48
	0,00030	0,2	30	0,47
	0,00031	0,2	32	0,46
14 mm	0,00029	0,2	6	0,59
	0,00030	0,2	12	0,56
	0,00031	0,2	18	0,54

Pada tabel 3.5 dan 3.6 maka dapat di simpulkan nilai yang dihasilkan dari masing-masing *bucket*, yaitu antara *bucket* resin murni dan *bucket* resin campuran kuningan pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 4.2 Hasil perbandingan torsi *bucket* resin murni dan *bucket* resin campuran serbuk kuningan.

Pada Gambar 3.2 menunjukkan grafik hubungan antara debit dengan torsi. Terdapat enam grafik yang membedakan

nosel 7 mm, 10,5 mm, dan 14 mm dengan perbandingan debit air 0,0029 m³/s, 0,0003 m³/s, dan 0,00031 m³/sterhadap berat *bucket* nilai torsi. Nilai torsi didapat oleh poros yang berputar searah jarum jam artinya dimana energi yang dihasilkan poros karena gerakannya disebut energi kinetik. Bahwa kerja yang dilakukan oleh gaya (F) sama dengan perubahan energi kinetik. Hal tersebut dapat dijelaskan bahwa poros yang berputar dikenakan beban maka akan mengalami perubahan putaran, perubahan tersebut dikarenakan adanya beban yang di pakai untuk mengambil nilai torsi. Dimana nilai torsi yaitu nilai gaya dikali dengan nilai jari-jari dari turbin pelton. Dari pernyataan tersebut dapat diketahui dari keenam grafik, pada Gambar 3.2 memiliki kecenderungan yang sama yaitu debit air menurun putaran turbin pun menurun dengan nilai torsi meningkat. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa masing-masing debit air berpengaruh terhadap putaran turbin, terlihat pada grafik semakin kecil debit maka putaran menurun sehingga torsi lebih besar.

Hasil dari perbandingan berat *bucket* dapat diketahui pada Gambar 3.2 dimana *bucket* resin campuran serbuk kuning cenderung lebih besar nilai torsi dibandingkan nilai torsi yang diperoleh *bucket* resin murni. Hal tersebut dapat diketahui karena pengaruh perbandingan berat yaitu dimana nilai rata-rata berat *bucket* resin murni 13,6 gram dan rata-rata berat *bucket* resin campuran kuning di angka 21,1 gram dan nilai dari momen inersia berat *bucket* sebagai ukuran kelembaman terhadap kinerja turbin, sehingga nilai *bucket* resin kuning diangka 0,012 kg.m² sedangkan *bucket* resin murni diangka 0,0095 kg.m². Hal itulah yang mendasari pada Gambar 3.2 bahwa *bucket* resin serbuk kuning lebih besar nilai torsi dibandingkan *bucket* resin campuran serbuk kuning. Dimana nilai torsi tertinggi pada *bucket* resin campuran serbuk kuning dengan debit 0,00029m³/s dengan nilai torsi 0,59 N.m dibandingkan dengan nilai tertinggi resin murni yaitu dengan debit 0,00029m³/s dengan nilai torsi 0,56 N.m. dari pernyataan tersebut dapat diketahui bahwa pengaruh berat dan besarnya diameter nosel berpengaruh terhadap besarnya nilai torsi yang didapat.

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan tujuan yang telah dikemukakan pada pendahuluan, simpulan yang didapat dari perancangan ini adalah sebagai berikut:

1. Putaran yang dihasilkan oleh turbin pelton *bucket* resin murni dengan putaran tertinggi adalah untuk nosel 7 mm = 80 rpm, untuk *bucket* resin campuran kuning putaran tertinggi yaitu nosel 7 mm = 78 rpm. Semakin berat *bucket* turbin pelton yang di pakai maka akan semakin kecil putaran yang dihasilkan. Putaran turbin pelton yang menurun disebabkan karena pengaruh berat *bucket* terhadap putaran yang dihasilkan.
2. Torsi yang dihasilkan oleh turbin pelton *bucket* resin murni dengan nilai torsi tertinggi adalah untuk nosel 14 mm = 0,56 N.m, untuk *bucket* resin campuran kuning nilai torsi tertinggi yaitu nosel 14 mm = 0,59 N.m.

Semakin kecil putaran dan berat *bucket* yang digunakan maka akan semakin besar nilai torsi yang didapat. Bahwa nilai torsi besar pengaruh terhadap berat *bucket* turbin dengan kecilnya putaran yang dihasilkan.

Saran

Dalam perancangan ini hanya digunakan *bucket* dengan variasi 2 sampel *bucket*. Maka dari itu peneliti menyarankan agar untuk perancangan selanjutnya menggunakan sampel *bucket* dengan variasi lebih dari 2 sampel dan mengetahui daya yang dihasilkan.

Kepustakaan

1. Dixon.S. L. (1998). *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*. United States of America: Butterworth-Heinemann.
2. Irawan Dwi. *Prototype Turbin Pelton Sebagai Energi Alternatif Mikrohidro di Lampung*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Metro. Vol. 3 No.1
3. Kamal Samsul &Prajitno. (2013). *Evaluasi Unjuk Kerja Turbin Air Pelton Terbuat Dari Kayu Dan Bambu Sebagai Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan Untuk Pedesaan*. Jurnal Manusia Dan Lingkungan. Jurusan Teknik Mesin Dan Industri, Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta.
4. Mahajan Pushpendra, Anurag Nema, &Anantharam. *Design and Analysis of Pelton Turbine for Organic Rankine Cycle application*.International Engineering Research Journal. Page No 514-519.
5. Meeran Faiz Ahmed, Muhammad Arslan, Ali Raza Mansha, &Aamir Sajjad. (2015).*Design and Optimization of Pelton Wheel Turbine for Tube-Well*. Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering.
6. Miroslavnechleba. (1957). *Hydraulic TurbinesTheir Design and Equipment*. Slovak Technical University in Bratislava. London: Artia-Prague.
7. Nasir Bilal Abdullah. (2013). *Design of High Efficiency Pelton Turbine for Microhydropower Plant*. Hawijah Technical Institute, Kirkuk, Iraq.
8. Poea Steward Ceri, G.D Soplanit, &Jotje Soplanit. (2013). *Perencanaan Turbin Air Mikro Hidro Jenis Pelton Untuk Pembangkit Listrik Di Desa Kali Kecamatan Pineleng Dengan Head 12 Meter*. Teknik Mesin, Universitas Sam Ratulangi. Manado.
9. Sabu Sebin, Tom Alphonse Antony, Nikhil Jacob George, &Ashwin Chandy Alex. (2014). *Design and Modelling of a Pelton Wheel Bucket*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Vol. 3 Issue 3, March-2014.
10. Sari Sri Purnomo & Rendi Yusuf. *Pengaruh Jarak Dan Ukuran Nozzle Pada Putaran Sudu Terhadap Daya Listrik Turbin Pelton*. Teknik Mesin Universitas Gunadarma.
11. Sentanuhadi Jayan &Davin Sanchorehan. *Analysis and Numerical Simulation for Low Head Pelton Turbine*. Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada.
12. Sularso, Suga Kiyokatsu. (1991). *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
13. Titherington D, Rimmer JG. (1984). *Mekanika Terapan*. Jakarta: Erlangga.
14. Young Hugh D, Roger A, Freedman, T.R Sandin, &A LewisFord. (2002). *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.

Uji Eksperimental Pengaruh Fresnel Pada Modul Surya10 W Peak Dengan Posisi Sesuai Pergerakan Arah Matahari

Muhidal Wasi, Dan Mugisidi, Rifky

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta.
Jl. Tanah Merdeka no.6 Pasar Rebo Jakarta Timur
Telp. +62-21-87782739, Fax. +62-21-87782739, Mobile +6285716494818

Abstrak – Sistem sel surya merupakan teknologi yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Radiasi matahari yang terpancar terbagi dan menyebar sehingga tidak terfokuskan, serta tidak terserap sepenuhnya. Oleh karena itu dibutuhkan metode untuk meningkatkan daya keluaran sel surya. Penggunaan dan pengaturan posisi lensa Fresnel yang tegak lurus dari matahari untuk tiap penyinaran matahari yang akan diserap oleh panel surya, sehingga dapat peningkatan pada arus dan tegangan yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh lensa Fresnel yang digunakan terhadap penyerapan cahaya pada panel surya (solar cell) dan peningkatan nilai pada tegangan serta arus yang dihasilkan. Untuk melakukan uji experimental research (penelitian percobaan) dari pancaran radiasi matahari dengan perhitungan intensitas radiasi (W/m^2) yang sebagai input (masukan) akan menghasilkan output (keluaran) berupa arus hubungan singkat (I_{sc}), dan tegangan (V_{oc}). Jika ditinjau dari tegangan dan arus yang diperoleh, panel surya dengan Fresnel mengalami peningkatan tegangan sebesar 124,6% dan arusnya sebesar 109,8% yang dihasilkan.

Kata kunci: Panel surya, Fresnel, Irradiasi, Arus, Tegangan

1 Pendahuluan

Salah satu upaya untuk menemukan energi alternatif dalam mengurangi kelangkaan energi dari bahan bakar fosil adalah memanfaatkan energi matahari. Pemanfaatan energi matahari dapat dilakukan dengan bantuan panel surya. Panel surya adalah teknologi fotovoltaik yang mengkonversi langsung cahaya matahari menjadi sumber energi listrik dengan menggunakan divais semikonduktor. Harga sel surya relatif mahal dikarenakan membutuhkan teknologi yang canggih dan sukar dalam pengolahan pasir silika menjadi silikon. Saat ini penggunaan sel surya yang dikembangkan kurang optimal dengan tidak terfokusannya intensitas radiasi pada sel surya.

Pada proses sel surya diperlukan fokus intensitas cahaya matahari yang diterima, karena intensitas mempengaruhi sel surya untuk menghasilkan energi listrik yang optimal. Untuk mengatasi keterbatasan pada panel surya dalam memfokuskan intensitas radiasi, maka di butuhkan lensa Fresnel agar lebih

terfokuskan dan dikonversikan menjadi energi listrik dengan efisien dan optimal oleh sel surya.

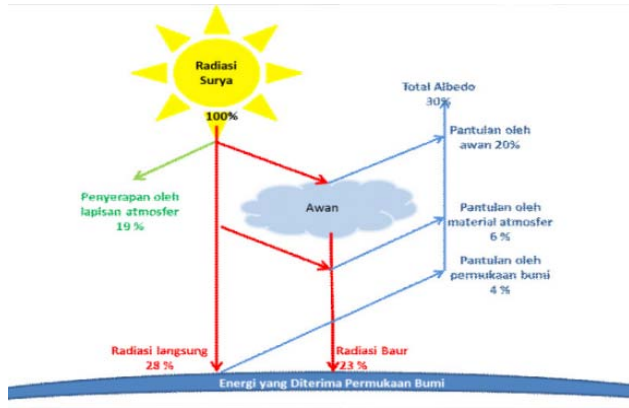
2 Dasar Teori

2.1. Energi Radiasi Surya

Matahari merupakan kendali cuaca dan iklim yang sangat penting sebagai sumber energi utama di bumi yang menggerakkan udara dan arus laut. Energi matahari diradiasikan ke segala arah, sebagian hilang ke alam semesta dan hanya sebagian kecil saja yang diterima di bumi. Energi matahari ini dijalarkan kepermukaan dan diradiasikan ke dalam ruang angkasa. Dalam perjalanannya ke permukaan, 30% energi matahari direfleksikan dan disebar kembali ke angkasa, memberikan bumi dan atmosfer albedo sekitar 30%, sementara itu sebanyak 19% diabsorpsi oleh atmosfer dan awan serta 51% diabsorpsi oleh permukaan [5].

Energi surya (radiasi surya) yang tersedia di luar atmosfer bumi seperti yang di ungkapkan oleh konstanta

surya 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang gelombang pendek (ultraviolet), karbondioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjang gelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi sebagai radiasi sebaran [10].



Gambar 1. Matahari sebagai sumber energi

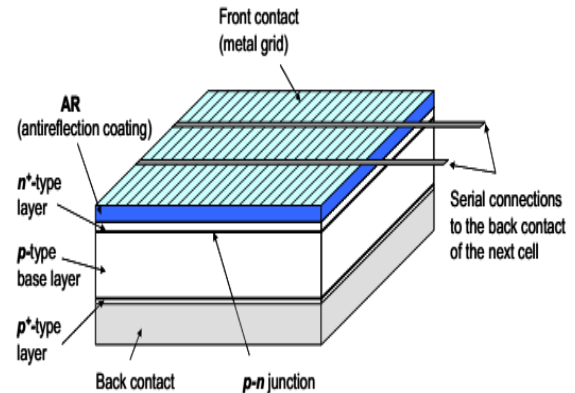
Radiasi adalah proses perpindahan panas dengan bantuan radiasi gelombang elektromagnetik. Jika sebuah objek dipanaskan, molekul-molekulnya bervibrasi dan akan memancarkan gelombang elektromagnetik[1]. Energi radiasi surya merupakan fusi termonuklir pada inti matahari membebaskan energi dalam bentuk radiasi gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi. Gelombang elektromagnetik yang merupakan kombinasi dari gelombang elektrik arus dan bolak-balik berkecepatan tinggi dengan gelombang medan magnetik yang menumbuhkan partikel-partikel energi dalam bentuk foton[12].

2.2. Sel surya

Sel surya memiliki banyak aplikasi, terutama cocok untuk digunakan bila tenaga listrik dari grid tidak tersedia, seperti di wilayah terpencil, satelit pengorbit bumi, kalkulator genggam, pompa air dan lain-lainnya. Sel surya (dalam bentuk modul atau panel surya) dapat dipasang di atap gedung dimana dapat dihubungkan dengan inverter ke grid listrik dalam sebuah pengaturan net meterin. Listrik tenaga surya diperoleh dengan melalui sistem photo-voltaic. *Photo-voltaic* terdiri dari *photo* dan *voltaic*. *Photo* berasal dari kata Yunani phos yang berarti cahaya. Sedangkan *voltaic* diambil dari nama Alessandro Volta (1745 – 1827), seorang pelopor dalam pengkajian mengenai listrik. Sehingga *photo-voltaic* dapat diartikan listrik-cahaya. Suatu alat yang dapat mengubah energi sinar matahari secara langsung menjadi energi listrik adalah sel surya fotovoltaik [4]. Pada dasarnya sel tersebut merupakan

suatu diode semikonduktor yang bekerja menurut suatu proses khusus yang dinamakan proses tidak seimbang (*non equilibrium process*) dan berlandaskan efek fotovoltaik. Secara umum, dalam proses ini sel surya dapat menghasilkan tegangan antara 0,5 dan 1 volt, tergantung intensitas cahaya dan zat semikonduktor yang dipakai.

Sel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut. Ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “sel surya hubung pendek”, arus rangkaian pendek” atau I_{sc} (*short circuit current*), yang sebanding dengan irradiansi terhadap sel surya dapat diukur. Nilai I_{sc} naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah 25°C . Jika arus sel surya sama dengan nol, sel surya tersebut digambarkan sebagai “rangkain terbuka”. Tegangan sel surya kemudian menjadi “tegangan rangkaian terbuka”, V_{oc} (*open circuit voltage*). Ketergantungan V_{oc} terhadap irradiansi bersifat logaritmis, dan penurunan yang lebih cepat disertai dengan peningkatan kecepatan melebihi kecepatan kenaikan I_{sc} . Oleh karena itu, daya maksimum sel surya dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan temperatur pada kebanyakan sel surya, peningkatan temperatur dari 25°C mengakibatkan penurunan daya sekitar 10%.



Gambar 2 Tipikal Struktur Sel surya

2.3. Energi dan Daya

Sistem tenaga listrik terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara daya atau kekuatan (*power*) dan energi. Daya listrik merupakan perkalian tegangan dan arusnya sedangkan energinya adalah daya dikalikan waktu. Ketika muatan melewati elemen rangkaian maka medan listrik bekerja pada muatan tersebut. Total usaha yang bekerja pada muatan q yang melewati rangkaian elemen sebanding dengan produk q dan beda potensial V . Jika arus adalah I dan selang waktu dt , maka jumlah muatan yang mengalir adalah $dQ = I dt$. Usaha yang bekerja pada muatan ini adalah (Young And Freedman, 1996).

$$dw = VdQ = V_i dt \quad (1)$$

$$\frac{dw}{dt} = P = VI \quad (2)$$

Dimana :

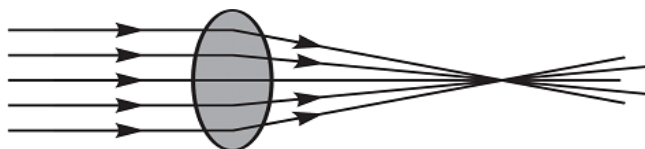
V = tegangan (volt)

I = arus listrik (ampere)

P = Daya (Watt)

2. 4. Energi Cahaya dan hubungan dengan Fresnel

Kenyataan bahwa cahaya membawa energi telah jelas bagi orang yang pernah memfokuskan sinar matahari pada sepotong kertas dan membakar lubang dikertas tersebut. Christian Huygens (1629-1695), yang se-zaman dengan Newton, mengusulkan sebuah teori gelombang dari cahaya yang memiliki banyak keuntungan. Saat ini yang masih berguna adalah teknik yang dikembangkan untuk meramalkan posisi berikutnya dari sebuah muka gelombang jika posisi sebelumnya diketahui. Teknik ini yang dikenal dengan prinsip Huygens yang mengatakan bahwa, setiap titik pada muka gelombang dapat dianggap sebagai sumber gelombang-gelombang kecil yang menyebar maju dengan laju yang sama dengan laju gelombang itu sendiri. Muka gelombang yang baru merupakan sampul dari semua gelombang-gelombang kecil tersebut yaitu tangen (garis singgung) dari semua gelombang tersebut (Giancoli, 2001). Lensa Fresnel atau kaca pembesar terdiri dari sebuah lensa cembung yang membentuk sebuah bayangan maya, tegak, dan diperbesar untuk sebuah benda yang berjarak lebih kecil dari pada jarak fokus lensa.



Gambar 3 Lensa Fresnel memfokuskan cahaya

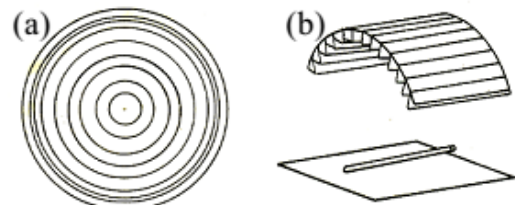
Cahaya adalah kumpulan dari butiran-butiran (*corpuscles*) yang mengalir. Butiran-butiran ini di pancarkan oleh sumber cahaya seperti matahari, api lilin dan lain-lain serta memancar keluar dari sumber tersebut mengikuti lintasan lurus. Cahaya (aliran butiran) ini dapat menembus bahan bening (misalnya prisma) dan dapat dipantulkan oleh suatu permukaan kusam. Jika aliran ini mengenai mata maka timbul kesan penglihatan. Eksperimen interferensi cahaya Thomas Young dan Agustin Fresnel (1825) serta pengukuran kecepatan cahaya oleh Leon Foucault (1850), menunjukkan keberadaan fenomena optik tidak cukup hanya dengan teori butiran. Fenomena interferensi dan difraksi hanya akan dapat diterangkan dengan baik jika menganggap cahaya adalah sebuah gerak gelombang. Percobaan Thomas Young dapat mengukur panjang gelombang cahaya sedangkan percobaan Fresnel menunjukkan gerak lurus cahaya di samping dapat menjelaskan fenomena difraksi cahaya. Cahaya sebagai gelombang dengan sifat-sifat dapat berinterferensi,

terdifraksi dapat diukur lajunya dalam percobaan Foucault dengan laju 3×10^8 m/det. James Clerk Maxwell (ilmuan Scotlandia, 1873) bahwa berdasarkan teori gelombang cahaya (cahaya sebuah fenomena gelombang, bukan teori butiran) dari Young dan Fresnel menduga Cahaya adalah sebuah gerak gelombang[1].

Radiasi panas matahari pada prinsipnya dapat difokuskan dengan dua cara yaitu pemantulan (*reflection*) dan pembiasan (*refraction*) dengan menggunakan cermin atau lensa. Cermin ini dapat berupa bidang (*heliostats* atau parabola), sedangkan lensa dapat berupa lensa cembung atau lensa Fresnel. Konsentrator digunakan untuk meningkatkan efektifitas penangkapan energi surya untuk keperluan yang spesifik. Fenomena pembiasan dalam lensa terjadi di permukaan, sedangkan ketebalan bahan tidak berpengaruh dalam refraksi.

2.5. Lensa Fresnel

Fresnel yaitu lensa bias (*reflective lens*) dan cermin pantul (*reflective mirrors*). Lensa fresnel bias sebagian besar digunakan dalam aplikasi fotovoltaik sedangkan cermin reflektif banyak diaplikasikan dalam *solar thermal power*. Desain optikal lensa fresnel lebih fleksibel dan menghasilkan kerapatan fluks yang seragam pada absorber. Fresnel juga diklasifikasi menjadi imaging lens (3D-lens) dan non imaging lens (2D-lens) perbedaan dari kedua tipe ini adalah bentuk bidang fokusnya. Lensa imaging berupa fokus titik (*focal point*) sedangkan tipe non-imaging berupa garis (*line/linear focus*) di sepanjang sumbu dari reflektor *cylindrical parabolic*.



Gambar 4 (a). 3D-Fresnel lens, (b). 2D-Fresnel lens

2.6. Perhitungan daya masukan dan daya keluaran

Sebelum mengetahui bebrapa nilai daya sesaat yang dihasilkan terlebih dahulu harus mengetahui daya yang di terima (daya input), dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area *photovoltaic* (PV) module dengan persamaan (2.3):

$$P_{in} = I_r \times A \quad (3)$$

di mana:

P_{in} = Daya input akibat *irradiance* matahari

I_r = Intensitas radiasi matahari (watt/m^2)

A = Luas area permukaan sel surya (m^2)

Sedangkan untuk besarnya daya pada sel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubungan singkat (I_{sc}), dan *Fill Factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (4)$$

di mana:

P_{out} = daya yang dibangkitkan (watt)

V_{oc} = tegangan rangkaian terbuka (volt)

I_{sc} = arus hubungan singkat pada sel surya (ampere)

FF = Fill Factor

$$FF = V_{oc} - I_n \frac{(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad (5)$$

Menentukan nilai daya keluaran (*output*)

$$P = V \cdot I \quad (6)$$

Dengan:

P = Daya keluaran (watt)

V = Tegangan keluaran (volt)

I = Arus (ampere)

Menentukan nilai rata-rata

$$P_{rata-rata} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad (7)$$

Dengan:

$P_{rata-rata}$ = Daya rata-rata (watt)

P_1 = Daya pada titik pengujian ke satu

P_2 = Daya pada titik pengujian ke dua

P_n = Daya pada titik pengujian ke n

Menurut Amalia dan Satwiko S. (2009), intensitas cahaya menentukan besarnya arus dan tegangan sel surya, dihitung menggunakan persamaan:

Intensitas terhadap daya keluaran

$$P_{in} = J \cdot A \quad (8)$$

Dengan:

P_{in} = Daya yang diterima akibat *irradiance* matahari (watt)

J = Intensitas cahaya (W/m^2)

A = Luas area permukaan sel surya (m^2)

Faktor pengisian dihitung menggunakan persamaan

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \quad (9)$$

3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei sampai Juli 2017 di halaman terbuka/atap rumah denan lokasi di Serang, Banten. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

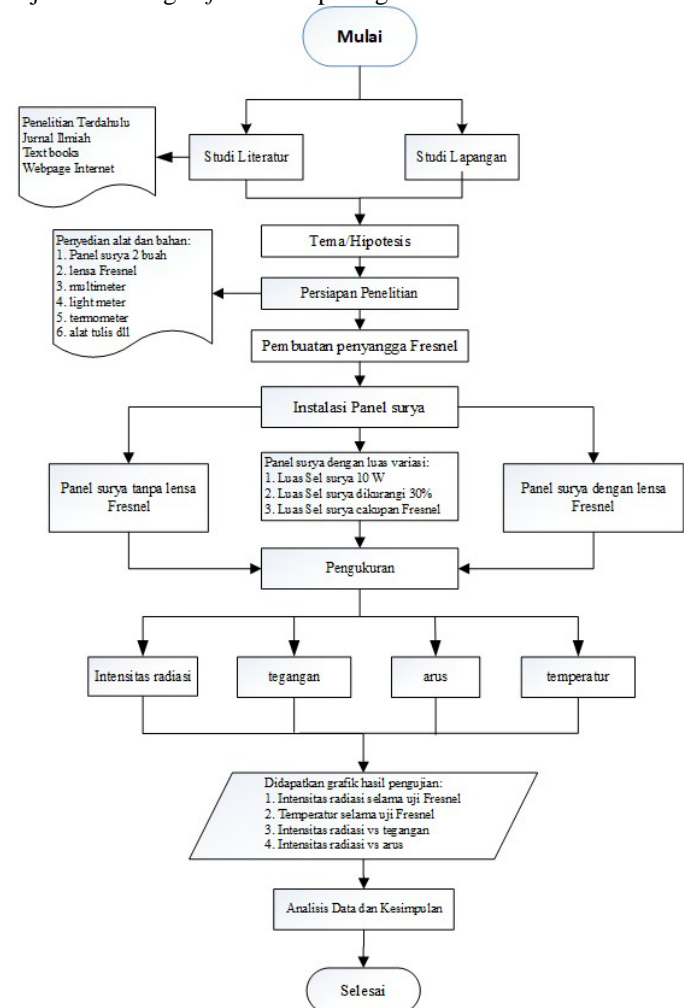
1. Lensa Fresnel,
2. Panel Surya,

3. Stopwatch.
4. Light Meter,
5. Multimeter dan
6. Termometer



Gambar 5 Peralatan yang digunakan

Kemudian berikut adalah alur kegiatan penelitian ini yang dijelaskan dengan *flowchart* pada gambar 6 ini.



Gambar 6 Flowchart

4 Temuan dan Pembahasan

4.1. Temuan Penelitian

Berdasarkan hasil yang didapat dari penelitian ini adalah dengan mengukur intensitas cahaya matahari, tegangan dan arus yang keluar dari sel surya didapatkan data seperti pada tabel dibawah ini:

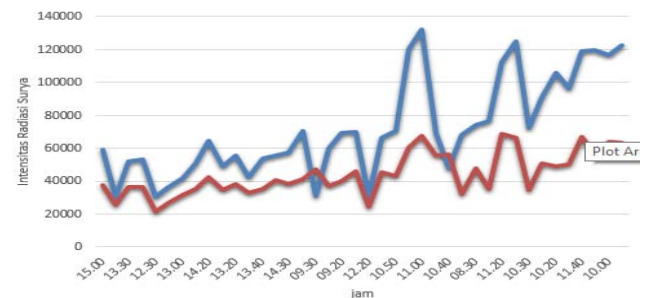
Tabel 1 Nilai rata-rata pengukuran pada lensa Fresnel

Jam	Di bawah Fresnel		Di atas Fresnel	
	Lux	suhu (C)	Lux	suhu (C)
08.30	74050	39,0	48100	37,5
08.40	91100	40,5	50700	38,0
08.50	119700	42,0	56400	39,5
09.00	68000	39,0	32350	38,0
09.10	76650	39,0	35000	38,0
09.20	69350	35,5	39750	33,0
09.30	31305	35,5	47300	34,0
09.40	59650	35,5	37050	34,0
09.50	96450	41,5	50400	35,0
10.00	116550	43,0	64250	38,0
10.10	69550	38,5	55500	34,5
10.20	105550	41,0	49300	36,0
10.30	72600	40,5	34800	35,5
10.40	48050	39,0	56050	34,0
10.50	70600	37,5	43050	33,0
11.00	132400	38,0	67650	37,0
11.10	120350	38,0	60300	36,0
11.20	112250	40,0	68800	36,0
11.30	124950	40,0	66250	37,0
11.40	119100	42,0	66800	41,0
11.50	122750	43,0	63400	38,0
12.00	66100	37,5	45700	37,5
12.10	55550	34,5	40650	33,0
12.20	30400	36,0	24700	34,5
12.30	30200	33,5	21400	33,0
12.40	30450	32,5	25700	32,5
12.50	36400	33,5	26700	32,0
13.00	41700	33,5	31600	33,0
13.10	53150	33,0	36600	33,0
13.20	55650	34,0	38250	33,5
13.30	51950	33,0	36200	33,0
13.40	53700	34,5	35350	34,0
13.50	50700	33,5	35200	33,5

Tabel 1 Nilai rata-rata pengukuran pada lensa Fresnel

Jam	Di bawah Fresnel		Di atas Fresnel	
	Lux	suhu (C)	Lux	suhu (C)
14.00	42600	34,5	32900	34,0
14.10	49250	34,0	34850	33,0
14.20	64700	33,5	42600	33,5
14.30	57100	34,5	38450	34,0
14.40	70050	35,5	46150	35,5
14.50	70600	35,0	41450	35,5
15.00	59400	32,0	37700	32,0

Pada data tabulasi di atas dihasilkan bentuk grafik dari hasil pengujian intensitas radiasi matahari dengan pengaruh Fresnel di bawah ini.



Gambar 7 Grafik Intensitas terhadap pengujian Fresnel

Dari grafik di atas tampak intensitas cahaya matahari cenderung meningkat dari pukul 08:30 WIB sampai 12:20 WIB sedikit mengalami fluktuasi tapi cenderung meningkat karena pada rentang jam tersebut posisi matahari menuju tegak lurus dimana posisi tegak lurus menghasilkan intensitas tertinggi. Adapun dari pukul 12:20 WIB sampai 15:00 WIB cenderung grafik menurun, dimana pada rentang jam tersebut posisi matahari menjauhi posisi tegak lurus sehingga intensitas pun menurun. Hal ini berkaitan dari hasil teori pada cuaca yang bagus di siang hari, pancaran dapat mencapai 1000 W/m^2 di permukaan bumi. *Insolation* terbesar terjadi sebagian hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka *insolation* dapat mencapai hingga 1400 W/m^2 untuk jangka pendek (Eflita Yohana, Darmanto.2012).

Tabel 2 Pengukuran hari pertama untuk sel surya dengan Fresnel dan tanpa Fresnel

waktu	Sel Surya tanpa Fresnel				Sel Surya dengan Fresnel			
	volt	mA	C	Lux	Volt	mA	C	Lux
08:30	7,05	0,75	36	52000	8,15	0,84	40	60900
08:40	6,30	0,73	37	52600	7,81	0,74	41	88400
08:50	6,45	0,76	35	56000	7,97	0,75	42	96300
09:00	6,51	0,77	38	60400	8,33	0,87	40	110500

Tabel 2 Pengukuran hari pertama untuk sel surya dengan Fresnel dan tanpa Fresnel

waktu	Sel Surya tanpa Fresnel				Sel Surya dengan Fresnel			
	volt	mA	C	Lux	Volt	mA	C	Lux
09:10	6,60	0,79	38	61300	8,40	0,88	40	116900
09:20	6,72	0,82	38	61900	8,49	0,93	42	111300
09:30	6,40	0,74	35	62000	8,50	0,93	37	11610
09:40	5,18	0,52	34	41200	6,70	0,56	36	66500
09:50	6,14	0,68	37	49400	8,05	0,78	49	86400
10:00	6,27	0,68	38	64500	8,10	0,81	47	100500
10:10	6,32	0,71	34	54000	8,10	0,80	41	42800
10:20	5,08	0,48	32	32300	6,10	0,49	41	97900
10:30	6,14	0,66	35	44700	7,93	0,76	44	97900
10:40	6,01	0,62	33	62500	8,03	0,77	42	10500
10:50	4,90	0,45	30	25900	6,13	0,64	39	31000
11:00	6,23	0,65	37	72200	8,04	0,79	38	113600
11:10	5,84	0,43	36	55100	6,97	0,60	38	90400
11:20	6,64	0,70	37	79300	7,93	0,75	44	122500
11:30	6,77	0,72	38	71000	7,62	0,69	43	115000
11:40	6,20	0,70	41	70500	7,64	0,73	42	107400
11:50	6,18	0,67	36	67000	7,64	0,69	38	108500
12:00	6,29	0,69	40	62000	7,66	0,71	39	97000
12:10	6,39	0,74	33	68400	7,62	0,70	35	95700
12:20	5,68	0,64	36	41700	6,96	0,68	38	51600
12:30	5,53	0,57	34	34800	6,70	0,63	34	50800
12:40	5,63	0,61	34	44000	6,79	0,65	34	52100
12:50	5,48	0,56	32	38700	6,55	0,59	34	47700
13:00	6,30	0,70	35	56300	8,05	0,79	36	74300
13:10	6,49	0,75	36	63400	8,34	0,80	36	94700
13:20	6,37	0,73	37	64200	8,02	0,79	37	96900
13:30	6,14	0,68	34	60400	7,72	0,72	34	88800
13:40	6,35	0,74	34	61000	7,98	0,78	35	93500
13:50	6,27	0,70	35	60800	8,04	0,80	35	90700
14:00	6,46	0,73	37	55800	7,85	0,76	38	73600
14:10	6,42	0,72	35	61000	7,83	0,75	37	88900
14:20	6,37	0,69	34	61500	7,78	0,71	34	94200
14:30	6,30	0,70	35	60300	7,67	0,67	36	85300
14:40	6,00	0,63	35	56400	7,60	0,65	35	86800
14:50	5,89	0,61	35	54000	7,30	0,61	34	79200
15:00	5,87	0,59	33	53200	7,28	0,61	33	80800

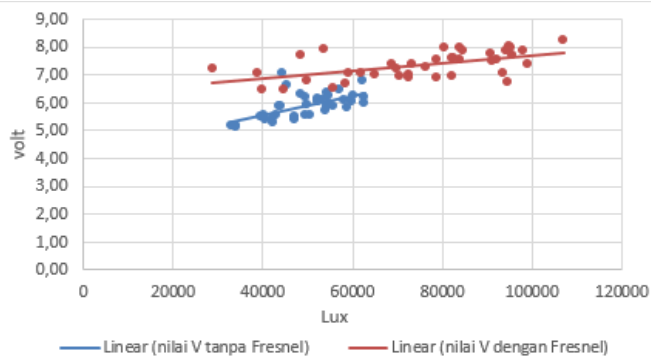
Tabel 3 Pengukuran hari kedua untuk sel surya dengan Fresnel dan tanpa Fresnel

waktu	Sel Surya tanpa Fresnel				Sel Surya dengan Fresnel			
	volt	mA	C	Lux	Volt	mA	C	Lux
08:30	6,24	0,58	29	38500	7,73	0,67	30	46700
08:40	6,34	0,60	33	44600	8,15	0,65	33	72300
08:50	5,91	0,53	31	42800	7,14	0,58	32	61000
09:00	5,60	0,50	35	44200	6,86	0,54	36	53700
09:10	5,79	0,53	35	47100	7,15	0,56	34	64500
09:20	6,05	0,62	33	46500	7,49	0,65	37	79200
09:30	5,84	0,50	31	54400	6,92	0,58	34	85300
09:40	6,31	0,60	36	66600	7,42	0,69	36	120300
09:50	6,02	0,63	35	56700	7,74	0,71	32	102200
10:00	5,80	0,61	36	55400	7,28	0,65	41	90500
10:10	4,75	0,41	32	26700	6,03	0,41	35	34700
10:20	5,97	0,65	35	62200	7,40	0,70	38	91500
10:30	4,90	0,39	33	34300	6,00	0,45	36	43200
10:40	5,13	0,42	32	38500	6,45	0,47	36	47200
10:50	5,38	0,44	32	42000	6,79	0,49	36	58600
11:00	5,42	0,53	33	45500	7,10	0,58	33	70500
11:10	5,25	0,51	32	44000	6,87	0,56	34	67200
11:20	5,34	0,47	34	46000	6,85	0,49	38	75300
11:30	5,05	0,46	32	38500	6,25	0,48	35	49500
11:40	4,72	0,39	34	23600	6,33	0,42	36	38000
11:50	4,65	0,38	35	26900	6,21	0,40	35	36400
12:00	4,47	0,35	33	19100	5,73	0,38	33	19800
12:10	4,14	0,32	31	16200	5,42	0,32	31	15500
12:20	4,67	0,37	34	24600	6,03	0,39	33	28300
12:30	4,89	0,40	33	33000	6,90	0,48	32	49200
12:40	5,30	0,48	33	40500	7,39	0,58	39	66300
12:50	5,62	0,52	35	47300	7,91	0,65	35	91600
13:00	7,85	0,42	34	32700	6,76	0,53	36	63000
13:10	5,88	0,52	33	62000	8,20	0,74	40	119300
13:20	5,43	0,50	34	44300	7,96	0,65	37	71200
13:30	5,59	0,49	34	50900	8,04	0,62	40	107200
13:40	6,00	0,62	32	43700	6,79	0,50	37	53300
13:50	6,20	0,52	36	59800	7,17	0,67	41	74400
14:00	6,52	0,58	36	58300	7,84	0,73	40	95300
14:10	7,12	0,67	37	63700	8,19	0,85	43	100800
14:20	5,42	0,42	35	26500	6,27	0,52	36	35800
14:30	5,47	0,51	33	27300	6,49	0,40	38	38500

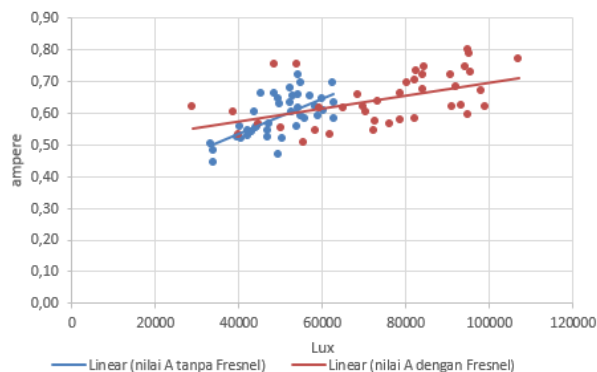
Tabel 3 Pengukuran hari kedua untuk sel surya dengan Fresnel dan tanpa Fresnel

waktu	Sel Surya tanpa Fresnel				Sel Surya dengan Fresnel			
	volt	mA	C	Lux	Volt	mA	C	Lux
14:40	5,91	0,63	34	43300	6,91	0,48	35	65700
14:50	6,35	0,60	35	51200	7,78	0,74	39	88600
15:00	6,65	0,80	38	56400	7,68	0,63	41	101400

Dari table diatas diambil rata-rata hasil uji selama dua hari dapat dilihat dengan grafik yang di hasilkan dari data tabulasi di atas.



Gambar 8 Grafik Intensitas Radiasi dengan tegangan yang di dapat



Gambar 9 Grafik Intensitas Radiasi dengan Arus yang di dapat

Tampak perubahan dari setiap pengujian baik untuk sel surya dengan Fresnel dan tanpa Fresnel dengan luas masing-masing sesuai cakupan fresnel. Nilai volt dan ampere dari pola grafik Gambar 8 dan pola grafik Gambar 9 yang cenderung meningkat dari rentang intensitas radiasi matahari di kisaran 20000 Lux sampai 60000 Lux untuk sel surya tanpa Fresnel dan rentang 20000 Lux sampai 120000 Lux untuk sel surya dengan Fresnel tersebut. Pola grafik Gambar 8 tentang tegangan dengan pola grafik Gambar 9 tentang Arus keluaran sel surya dengan intensitas cahaya matahari mengalami peningkatan drastis dari sel surya menggunakan Fresnel dengan sel surya tanpa Fresnel.

Perbandingan sel surya menggunakan Fresnel memperoleh nilai arus dan tegangan cenderung meningkat, dibanding dengan sel surya tanpa Fresnel dimana grafik yang menggambarkan selalu meningkat naik. Hal ini dikarenakan fokus intensitas radiasi matahari yang di terima sel surya dengan Fresnel lebih baik di bandingkan dengan tidak menggunakan Fresnel sehingga arus dan tegangan yang diperoleh dapat optimal.

5 Simpulan dan Saran

5.1. Simpulan

Berdasarkan Pengujian ang dilakukan, kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah

1. Intensitas radiasi matahari yang sampai pada permukaan panel surya dengan pengukuran pada luasan panel surya yang berpengaruh pada nilai tegangan dan arus terlihat berbeda dan semakin kecil jika luasan sel surya kecil. Akan tetapi dengan menggunakan Fresnel, intensitas radiasi matahari yang difokuskan pada luasan yang sama pada sel surya 10 W mengalami peningkatan pada nilai tegangan rata-rata antara yang menggunakan Fresnel sebesar 7,04 V sedangkan nilai rata-rata arus dengan Fresnel sebesar 0,56 A.
2. Perubahan intensitas matahari mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga terjadi kenaikan dan penurunan pada perubahan tersebut. Begitu pun dengan luasan permukaan sel surya dan cahaya yang di fokuskan berdampak pada kerja sel surya. Fresnel dengan memfokuskan intensitas radiasi pada sel surya terjadi peningkatan antara arus dan tegangan dengan menggunakan lensa Fresnel yakni sebesar 124,6 % untuk tegangan dan sebesar 109,8 % untuk arus yang dihasilkan.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini lensa Fresnel sangat membantu meningkatkan arus dan tegangan yang di hasilkan oleh sel surya dari intensitas radiasi yang diterima. Hanya saja perlu disesuaikan jarak yang tepat antara Fresnel dengan luas sel surya atau lensa Fresnel yang luasnya lebih besar dari sel surya, serta material tambahan untuk penyangga yang baik untuk Fresnel.

Kepustakaan

- [1] Arkundato Artoto, Rohman Lutfi. 2007. Buku Materi Pokok "Optika". Jakarta. Universitas Terbuka
- [2] Amalia, satwiko S, (2009), Optimalisasi Output Modul Surya Polikristal Silikon dengan Cermin Datar Sebagai Reflektor pada Sudut 60°, Jurnal Teknik Mesin
- [3] Kadiman kusmayanto. 2006. "Buku Putih Indonesia 2005-2025". Jakarta. Kemenristek.
- [4] Kadir Abdul. 1995. "Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, Dan Potensi Ekonomi". Jakarta. UIPress,

- [5] Muhammad Adhijaya, M. Fadli Azis. Dkk. Jurnal. "Inovasi Peningkatan Efisiensi Panel Surya Berbasis Fresnel Solar Concentrator Dan Solar Tracker". Institute Teknologi Surabaya.
- [6] Surindra, M denny. Jurnal. "Analisis Karakteristik Model Photovoltaic Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Laboratorium". Semarang. Teknik Polines.
- [7] Sulasno, 2009, "Teknik konversi Energi Listrik dan Sistem Pengaturan". Yogyakarta. Garaha Ilmu,
- [8] Sutarno, 2013, " Sumber Daya Energi", Yogyakarta. Graha Ilmu
- [9] Pudjanarsa, Astu dan Djati Nursuhud, 2012. Mesin Konversi Energi, Yogyakarta, Andi Offset.
- [10] Ted j. jansen.(1995), Teknologi rekayasa surya, Jakarta, Paradnya Paramita.
- [11] Vetri Nurliyanti, Marlina Pandin, dan Bono Pranoto, 2012. "Pembuatan Peta Potensi Energi Surya". Jurnal material dan Energi vol.10, No. 4, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenaga Listrikan, Energi Baru, Terbarukan, dan Konversi Energi.
- [12] Young and Freedman. 2012. "Sear and Zemansky's University Physics: With Modern Physics". 13th edition. Addison Wesley. Boston.

Analisis Sifat Fisis Dan Mekanis Komposit Serat Gelas Berlapis

Gugun Gundara

*Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Tasikmalaya, Tasikmalaya, Jawa Barat
Hp. 081353637381
E-mail: gugun@umtas.ac.id*

Abstrak – Komposit serat merupakan jenis komposit yang paling banyak digunakan dalam aplikasi teknik. Dalam penelitian ini komposit dibuat dengan menggunakan serat E-glass. Metode proses produksi yang dipakai adalah dengan sistem hand lay up. Orientasi serat yang dipakai yaitu 0^0 , 90^0 , 0^0 , yang kemudian dilakukan pengujian tarik dan pengujian lengkung, berdasarkan variasi fraksi volume 5,2%, 11,0%, 15,4% untuk setiap lamina komposit. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui kekuatan mekanis komposit serat E-glass kontinyu. Dari hasil pengujian tarik diperoleh bahwa kuat tarik komposit serat E-glass kontinyu mengalami kenaikan dengan semakin naiknya fraksi volume serat. Besarnya kuat tarik untuk $v_f = 5,2\%$ adalah $\sigma = 57$ MPa, untuk $v_f = 11,0\%$ adalah $\sigma = 59$ MPa, dan $v_f = 15,4\%$ $\sigma = 98$ MPa. Kemudian untuk hasil pengujian lengkung diperoleh nilai kekuatannya naik pula dengan semakin besarnya fraksi volume serat. Untuk $v_f = 5,2\%$ adalah $\sigma = 182$ MPa, untuk $v_f = 11,0\%$ adalah $\sigma = 274$ MPa, dan $v_f = 15,4\%$ $\sigma = 290$ MPa.

Kata kunci: E-glass, hand lay up, Komposit, serat

Abstract – Fiber composite is a kind of composite which many used in technique application. In this research composite created by E-glass fiber. The method of process production used hand lay up system. The orientation of fiber used 0^0 , 90^0 , 0^0 , then doing pull trial and cruve trial, based on variation of volume fraction 5,2 %, 11,0 %, 15,4 % for every lamina composite. This research doing to know the power of mechanism composite E-glass fiber. Based on the pull trial we can get the power of pull composite E-glass fiber increasing with more increas fiber volume fraction. The power pull for $v_f = 5,2\%$ is $\sigma = 57$ MPa, for $v_f = 11,0\%$ is $\sigma = 59$ MPa, and $v_f = 15,4\%$ $\sigma = 98$ MPa. Then, for result of cruve trial get increase power value with more and more big fiber volume fraction. For $v_f = 5,2\%$ is $\sigma = 182$ MPa, for $v_f = 11,0\%$ is $\sigma = 274$ MPa, and $v_f = 15,4\%$ $\sigma = 290$ MPa.

Keywords : E- glass, hand lay up, composite, fiber

1 Pendahuluan

Dewasa ini perkembangan dunia pengetahuan bahan teknik semakin berkembang pesat seiring dengan tuntutan terhadap kualitas sifat material.

Berbagai macam bahan telah digunakan dan juga penelitian lebih lanjut terus dilakukan untuk mendapatkan bahan yang tepat guna, salah satunya bahan komposit polimer. Kemampuannya yang mudah dibentuk sesuai

kebutuhan, baik dalam segi kekuatan maupun keunggulan sifat-sifat yang lain, mendorong penggunaan bahan komposit polimer sebagai bahan alternatif atau bahan pengganti material logam konvensional pada berbagai produk yang dihasilkan oleh industri khususnya industri manufaktur. Sifat material hasil penggabungan ini diharapkan dapat saling memperbaiki kelemahan sifat-sifat material penyusunnya, dalam hal ini yang diperbaiki antara lain:

- Kekuatan
- Kekakuan
- Ketahanan korosi
- Ketahanan pemakaian
- Ketahanan gesek
- Insulasi panas
- Konduktivitas panas
- Umur lelah
- Insulasi akustik
- Pengaruh terhadap temperatur

Dilihat dari segi aplikasinya, bila dibandingkan dengan bahan lainnya, misalnya logam, maka bahan komposit memiliki efisiensi yang lebih baik. Hal ini dikarenakan komposit memiliki beberapa kelebihan yang tidak dimiliki oleh bahan material lainnya, yang juga tidak terlepas dari adanya beberapa sifat kelemahan yang terdapat didalam bahan komposit.

Keuntungan bahan komposit (Soewaryo, 1991) [1] :

- Jauh lebih ringan pada kekuatan yang hampir sama.
- Ketahanan api hingga kondisi yang sangat ekstrim.
- Lebih mudah dibentuk.
- Memiliki jenis beranekaragam.
- Lebih tahan terhadap korosi
- Aplikasi kelistrikan, misalnya sebagai sekering tegangan tinggi berdasar sifat isolasi eksentrisnya yang baik.

Kerugiannya:

- Karena sifatnya sangat peka terhadap pengaruh lingkungan (suhu, sinar, tekanan, kelembaban, debu, dan sebagainya), maka dalam bentuk bahan mentah material ini harus disimpan pada kondisi tertentu dan terkontrol.
- Dalam kondisi bahan mentah mudah terbakar.
- Dengan polimerisasi yang sama, akan dapat menghasilkan komposit dengan mutu dan sifat-sifat mekanik yang berlainan terhadap hasil akhir.
- Kesalahan dan kekeliruan dalam proses pembuatan harus ditekan sekecil mungkin karena akan sulit untuk diperbaiki lagi.

Komposit serat merupakan komposit yang paling sering digunakan untuk struktur, mulai dari konstruksi dengan performans rendah sampai dengan struktur berkekuatan tinggi. Keuntungan yang diberikan dari bahan ini adalah ringan, elastisitas yang baik, tahan korosi, kuat dan lain-lain. Pada dasarnya bahan komposit serat itu sendiri terdiri dari dua bagian, yaitu fiber dan matriks.

Kualitas material komposit dipengaruhi oleh orientasi serat, panjang dan ukuran serat, komposisi serat, sifat mekanik serat yang digunakan serta kekuatan antara serat dan matriks.

Penelitian ini hanya meneliti sifat-sifat fisik dan mekanis komposit serat *E-glass* berlapis yang terdiri dari kekuatan tarik dan lengkung dengan metode tiga titik, dimana komposit

maupun pembuatannya tidak mendapat perlakuan khusus. Spesimen uji berupa resin tanpa penguatan dan komposit berlapis sesuai standard JIS dengan penguat berupa serat *E-glass* kontinyu dengan orientasi serat 0^0 , 90^0 , 0^0 .

2 Landasan Teori

2.1. Komposit

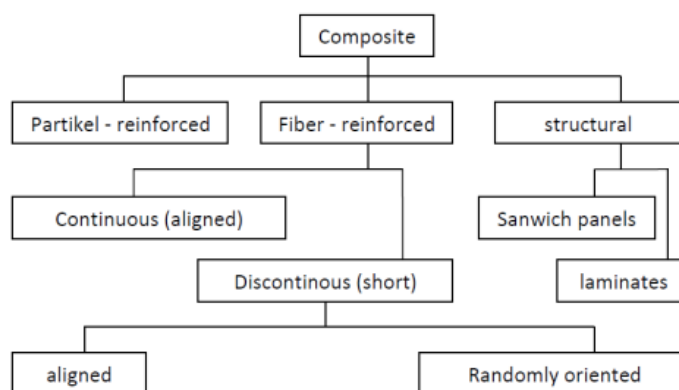
Pengertian bahan komposit berarti terdiri dari dua atau lebih bahan yang berbeda yang digabung atau dicampur secara makroskopis menjadi suatu bahan yang berguna (Jones, 1975) [2], karena bahan komposit merupakan bahan gabungan secara makro, maka bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran/kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material yang pada dasarnya tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984) [3]. Bahan komposit secara umum terdiri dari penguat dan matrik.

Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matrik, umumnya lebih ulet tetapi mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih rendah.

Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut :

- Mentransfer tegangan ke serat.
- Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat.
- Melindungi serat.
- Memisahkan serat.
- Melepas ikatan.
- Tetap stabil setelah proses manufaktur.

Material komposit terbentuk dari beberapa unsur. Komponen ini dapat berupa unsur organik anorganik ataupun metalik dalam bentuk serat, serpihan, partikel dan lapisan.



Gambar 1. Klasifikasi komposit menurut penyusunnya (Gibson, 1994) [3].

2.2 Polimer

Polimer yaitu bahan dengan berat molekul (M_r) lebih besar dari 10.000. keunggulan bahan polimer yaitu kemampuan

cetaknya baik. Pada temperatur rendah bahan dapat dicetak dengan penyuntikan, penekanan, ekstruksi, dan seterusnya, produk ringan dan kuat, banyak polimer bersifat isolasi listrik, polimer dapat bersifat konduktor. baik sekali ketahanannya terhadap air dan zat kimia, produk dengan sifat yang berbeda dapat dibuat tergantung cara, pembuatannya, umumnya bahan polimer lebih murah harganya. Bahan polimer biasa digunakan sebagai matrik pada komposit polimer. Adapun polimer yang sering dipakai antara lain :

- *Thermoplastic*

Thermoplastic adalah plastik yang dapat dilunakkan berulang kali (*recycle*) dengan menggunakan panas. *Thermoplastic* merupakan polimer yang akan menjadi keras apabila didinginkan. *Thermoplastic* meleleh pada suhu tertentu, melekat mengikuti perubahan suhu dan mempunyai sifat dapat balik (*reversibel*) kepada sifat aslinya, yaitu kembali mengeras bila didinginkan. Contoh dari *thermoplastic* yaitu *Polyamide (PI)*, *Polysulfone (PS)*, *Poluetheretherketone (PEEK)*, *Polypropylene (PP)*, *Polyethylene (PE)* dll.

- *Thermoset*

Thermoset tidak dapat mengikuti perubahan suhu (*irreversibel*). Bila sekali pengerasan telah terjadi maka bahan tidak dapat dilunakkan kembali. Pemanasan yang tinggi tidak akan melunakkan termoset melainkan akan membentuk arang dan terurai karena sifatnya yang demikian sering digunakan sebagai tutup ketel, seperti jenis-jenis melamin. Plastik jenis termoset tidak begitu menarik dalam proses daur ulang karena selain sulit penanganannya juga volumenya jauh lebih sedikit (sekitar 10%) dari volume jenis plastik yang bersifat termoplastik. Contoh dari *thermoset* yaitu *epoksi*, *polyester*, *plenol*, *resin amino*, *resin furan* dll.

2.3 Serat Gelas

Serat gelas mempunyai karakteristik yang berbeda antara satu dengan yang lain. Pada penggunaannya, serat gelas disesuaikan dengan sifat atau karakteristik yang dimilikinya. Serat gelas terbuat dari *silica, alumina, lime, magnesia* dan lainlain. Keunggulan serat glass terletak pada ratio (perbandingan) harga dan performance yaitu biaya produksi rendah, proses produksi sangat sederhana , Serat gelas banyak digunakan di industri-industri otomotif seperti pada panelpanel body kendaraan. Bahkan sepeda motor sekarang seluruh body terbuat dari komposit yang berpenguat serat gelas. Komposit *glass-epoxy* dan *glass-polyester* diaplikasikan juga pada lambung kapal dan bagian-bagian pesawat terbang.

Tujuan dibuatnya komposit yaitu memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu, mempermudah desain yang sulit pada manufaktur, keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya produksi, dan menjadikan bahan lebih ringan.

komposit yang diproduksi oleh suatu instansi atau pabrik biasanya dapat diprediksi sifat mekanik dari bahan komposit berdasarkan bahan matrik dan bahan penguatnya (Callister, 2007) [4].

3 Metodologi Penelitian

Pengukuran densitas serat menggunakan metode ASTM D 3800-79, serat yang dipilih dan dibentuk untuk dilakukan penimbangan massanya di udara dan didalam minyak tanah. Dari hasil perhitungan didapat densitas serat *E-glass* $\rho_{sg} = 2,25 \pm 0,051 \text{ gr/cm}^2$.

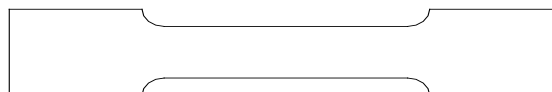
Dengan cara yang hampir sama dilakukan pengukuran densitas resin dengan metode ASTM D792-86, maka diperoleh hasil densitas resin solid $\rho_r = 1,307 \pm 0,0004 \text{ gr/cm}^2$.

Harga aktual komposisi komposit dilakukan dengan cara mengetahui densitas serat (ρ_s) dan massa serat (m_s) pada perhitungan teoritis, dan massa komposit yang telah jadi (m_k), kemudian dilakukan perhitungan fraksi volume serat aktual (v_f) dengan menggunakan persamaan :

Komposit dengan $v_f = 5 \%$

$$v_f = \frac{\rho_c - \rho_m}{\rho_f - \rho_m} = \frac{1,371 - 1,307}{2,525 - 1,307} = \frac{0,064}{1,218} = 0,052$$

Benda uji yang digunakan menggunakan standard JIS K 7054 tipe A dengan jumlah tidak kurang dari lima buah, hal ini ditujukan untuk menghasilkan perolehan data yang lebih valid.



Gambar benda uji tarik

Tabel Dimensi benda uji

Bagian benda uji	(mm)
Panjang total	250
Panjang ukur	50
Panjang bagian parallel	80
Jarak antar grip	170
Panjang bagian grip	40
Lebar kedua ujung	50
Lebar bagian parallel	30
Ketebalan	5
Radius of shoulder roundness	60

Terdapat dua macam metode pengujian flexural, yakni metode A (tiga titik) dan metode B (empat titik). Untuk metode "*three point flexure*" yang dipilih dalam penelitian ini, tabel berikut memberikan besarnya dimensi benda uji.

Tabel dimensi benda uji *Fancy Paper Strip* metode A (satuan mm)

Tinggi (H)	Lebar (h)	Panjang (minimal) L
$1 < h \leq 4$	15 ± 0.5	$16h + 20$

$1 < h \leq 4$	15 ± 0.5	$16h + 40$
$1 < h \leq 4$	30 ± 0.5	$16h + 80$
$1 < h \leq 4$	50 ± 0.5	$16h + 140$
$1 < h \leq 4$	80 ± 0.5	$16h + 200$

4 Hasil dan Pembahasan

Uji Trik Serat Tunggal

Dari hasil uji tarik serat tunggal diperoleh data bahwa tegangan tarik maksimum *E-glass* adalah 3,447 MPa, dengan diameter serat 3,8-13 μ m (M.M.Schwartz, 1984) [2].

Uji Tarik Resin dan Komposit

Pengujian tarik dilakukan sesuai standard *JIS Handbook for Plastic* [5], dengan mengambil tipe A. Melalui pengujian ini dipelajari beberapa aspek sebagai berikut :

1. Pola kurva tegangan-regangan yang dihasilkan.
2. Perbandingan kemampuan spesimen dalam mengatasi beban tarikan antara komposit serat *E-glass* dengan variasi fraksi volume serat. Sebagai akibat dari resin/polimer yang memiliki perilaku respon *viscoelastic* maka hubungan antara tegangan dan regangan sangat bergantung pada laju pembebanan atau peregangannya, serta bergantung pada suhu, kelembaban, dan lain-lain.

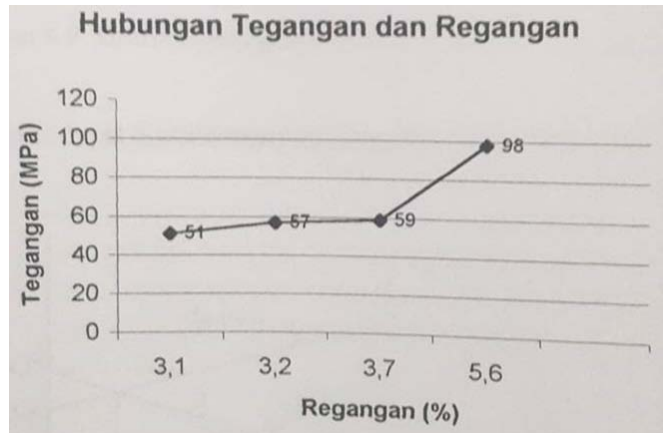
Dari data hasil pengujian tarik yang telah dilakukan, maka diperoleh data-data sebagai berikut :

Tabel Harga pengujian Tarik Komposit

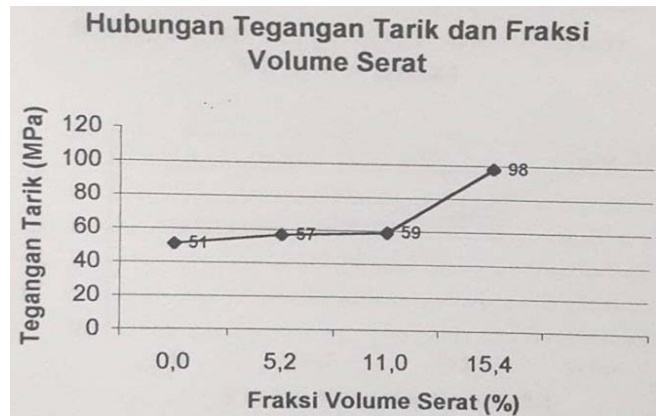
No	Fraksi Volume serat (%)	σ maks (MPa)	Regangan ϵ (%)
1	0	51	3,1
2	5,2	57	3,2
3	11,0	59	3,7
4	15,4	98	5,6

Tabel Harga pengujian Lengkung Komposit

No	Fraksi Volume serat (%)	σ maks (MPa)	E (GPa)
1	0	104	1,789
2	5,2	182	4,557
3	11,0	274	7,890
4	15,4	290	8,215



Gambar Grafik Hubungan Tegangan-Regangan



Gambar Grafik Hubungan Tegangan Tarik dan Fraksi volume Serat

Analisis hasil pengujian secara makroskopis dalam komposit terdapat beberapa catatan struktural yang biasa dijumpai, antara lain:

1. Daerah kaya matriks (kekurangan serat)

Daerah kaya resin atau sebaliknya miskin serat yang terjadi mengakibatkan penguatannya menjadi tidak rata. Apabila daerah miskin serat tersebut mengalami kegagalan awal maka hal ini akan menginisiasi kegagalan berikutnya yang lebih besar. Dalam hal ini kemungkinan ketidakmerataan serat sangat besar terjadi karena komposit yang dibuat sangat sederhana dan dalam satu cetakan menghasilkan lebih dari satu specimen.

2. Orientasi serat.

3. Voids

Kandungan *void* pada komposit sangat berdampak pada kekuatan komposit untuk menahan beban dari luar. Hal ini *void* akan membentuk cacat yang dapat mengurangi kesolidan ikatan antara matriks dengan resin, menurunkan kekuatan geser interlamina serta menginisiasi terjadinya retakan lebih lanjut. *Void* terjadi akibat adanya udara yang terjebak, fleksibilitas serat kurang sehingga pengaplikasian resin yang dilakukan secara manual menjadi sulit menyusup kesemua bagian serat.

4. Retak mikro (yang bisa berasal dari ketidakcocokan termal antara komponennya, tegangan-tegangan *curing*, atau penyerapan *moisture* selama pengolahan).
5. Daerah yang mengalami *debonding*.

Bonding antara serat dan matrik sangat tergantung pada jenis serat dan matrik itu sendiri. Pada matrik berpenguat serat *E-glass* ini ditemukan adanya bonding yang kurang kuat dengan matriksnya, apabila *bonding* antara serat dan matriksnya lemah, maka serat-seratnya tidak dapat mendukung resin untuk menanggung beban dari luar.

6. Daerah yang mengalami *delaminasi*.

Selain itu juga ada cacat yang ditimbulkan karena masuknya partikel asing atau *curing* yang tidak sempurna.

5 Simpulan dan Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Besaran kuat tarik dan kuat lengkung semakin naik dengan bertambahnya fraksi volume serat. Hal ini sesuai dengan teori dan referensi yang ada, bahwa kekuatan tarik dan lengkung akan berbanding lurus dengan fraksi volume serat.
2. Penataan serat yang kurang merata akan menimbulkan patahan, daerah yang kurang serat akan mengakibatkan patahan terlebih dahulu.
3. Orientasi sudut serat 0^0 sangat dominan dibandingkan dengan orientasi sudut serat 90^0 , baik pada specimen uji tarik maupun specimen uji lengkung. Hal ini diakibatkan serat yang menahan beban yaitu orientasi sudut serat 0^0 , sedangkan arah serat yang tegak lurus beban mengalami *debonding*.

Saran

Semakin berkembangnya teknologi maka hasilnya dituntut untuk semakin murah dan berkinerja tinggi, namun hal ini janganlah melupakan dampak negative pula. Dalam kaitan topik penelitian ini dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut:

1. Perlu memperhatikan lingkungan sekitar dimana proses pembuatannya tidak membahayakan kesehatan dan keselamatan pekerja, serta limbah produksinya bebas dari pencemaran lingkungan.
2. Proses pembuatan komposit merupakan factor yang paling penting untuk mendapatkan komposit yang lebih baik.
3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, sebaiknya setiap satu cetakan untuk satu specimen, sehingga jumlah serat yang ada pada komposit cenderung sama.
4. Pemerataan letak serat dan pengerolan sangat diperlukan untuk menghindari patahan yang kurang baik.

Kepustakaan

- [1] Schwartz, M.M., 1984 "Composite Materials Handbook", Mc Graw-Hill Inc, New York
- [2] Jones, Robert M., *Mechanics of Composite Materials*, Scripta Book Company, Washington, D.C., 1975.
- [3] Gibson, Ronald F., *Principle of Composite Material Mechanics*, Mc. Graw-Hill Book Co., Singapore, 1994.
- [4] Callister, Jr. William. D, 2007, *Material Science and Engineering An Introduction*. United State of America. Quebeecor Versailles.
- [5] *JIS Handbook fos Plastics*, Japanesse Standard Association, Japan, 1991.
- [6] Daniel, Iscaac M., and Ishai, Ori, 1994, *Engineering Mechanics of Composite Materials*, Oxford University Press.
- [7] Holloway, L. : *Polymers and Polmet Composite in Construction*, Thomas Telford Ltd., London, 1990.

Potensi Batubara Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Pengembangan Industri Logam

Muhammad Gunara

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA
Jl. Tanah Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Ps. Rebo, Jakarta Timur
Tlp. 021-8400941, 021-87782739, 87783818
E-mail : muhammad.gunara@gmail.com

Abstrak – Batubara merupakan salah satu sumber daya alam yang keberadaannya cukup melimpah di Indonesia. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Badan Geologi, potensi tambang batubara sebesar 161 miliar ton di Indonesia, 53 persen berada di Pulau Sumatera dan hanya 47 persen berada di Pulau Kalimantan. Dewasa ini, pemanfaatan sumber energi batubara juga semakin meningkat seiring menurunnya produksi minyak bumi. Batubara adalah sumber energi terpenting, banyak dimanfaatkan untuk pembangkitan listrik, dan juga berfungsi sebagai sumber energi pokok untuk industri peleburan logam, semen dan lainnya (metalurgi, tekstil, kertas pulp). Namun demikian, batubara juga memiliki karakter negatif yaitu disebut sebagai sumber energi yang banyak menimbulkan polusi akibat tingginya kandungan karbon. Sumber energi penting lain, seperti gas alam, memiliki tingkat polusi yang lebih sedikit namun lebih rentan terhadap fluktuasi harga di pasar dunia. Dengan demikian, semakin banyak industri di dunia yang mulai mengalihkan fokus energi mereka ke batubara. Pada saat ini, pemakaian batubara yang terbanyak adalah pembangkit tenaga listrik, pabrik semen, industri lainnya (metalurgi, tekstil, kertas pulp), dan industri kecil. Hampir separuh konsumsi batubara domestik dipergunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Pemanfaatan batubara juga akan semakin dominan dengan adanya kebijakan energi nasional, dimana porsi batubara dalam energy-mix diharapkan meningkat dari saat ini mencapai 18% menjadi 33% pada tahun 2025. Hal ini mengakibatkan ketergantungan akan sumber energi batubara juga akan semakin meningkat. Batubara yang tersedia didalam negeri dapat dipergunakan sebagai sumber daya energi dan sebagai bahan reduktor di dalam industri logam. Oleh karena itu, perlu dilakukan program pemasyarakatan dan pembudayaan pemanfaatan batubara sebagai alternatif sumber energi. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan pengembangan proses pembuatan kokas, karena merupakan salah satu bahan komoditi penting yang banyak dibutuhkan untuk mendukung pengembangan industri logam. Dengan melihat ketersediaan cadangan batu bara dalam negeri yang potensial serta kebutuhan industri metalurgi yang cukup besar, maka pengembangan industri peleburan logam khususnya bijih besi dengan memanfaatkan batu bara layak untuk dilaksanakan.

Kata kunci: Batu bara, Energi, Industri logam

I. Pendahuluan

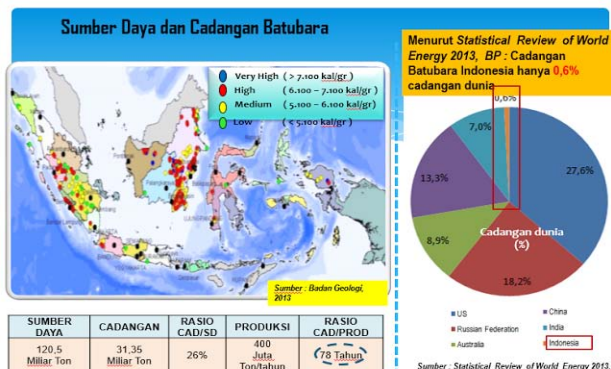
Salah satu mineral tambang yang belum dapat dimanfaatkan secara maksimal adalah bijih besi, padahal negeri kita ini tak kurang melimpahnya sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan berbagai industri. Namun rupanya kita belum mampu memanfaatkan sumber daya alam, khususnya pada kawasan industri peleburan logam sebagai salah satu sumber pendapatan negara. Industri peleburan logam di Indonesia sering menghadapi beberapa masalah, seperti ketersediaan sumber

energi sebagai bahan bakar, di lain pihak harga BBM yang berfluktuasi dan cenderung semakin tinggi, menuntut industri yang selama ini berbahan bakar minyak untuk mencari alternative pengganti bahan bakar.

Permasalahan ini dapat diatasi dengan memanfaatkan sumber daya alam yang cukup melimpah yaitu, batu bara sebagai salah satu alternatif untuk mendapatkan sumber energi dalam pengolahan bijih besi. Data penelitian menunjukkan bahwa cadangan batubara di Indonesia jauh lebih besar daripada cadangan minyak bumi dan gas alam. Diperkirakan bahwa cadangan minyak bumi dan gas alam

kemungkinan dapat habis dalam kurung waktu sekitar 20-30 tahun, sementara cadangan batubara masih mampu bertahan hingga kurung waktu hingga 150 tahun. Indonesia merupakan salah satu negara produsen batu bara. Sebagaimana laporan dari Badan Geologi Kementerian ESDM yang dikeluarkan pada 2013 lalu disebutkan, Indonesia memiliki cadangan batu bara 31 milyar ton, di mana 64 persennya merupakan batu bara dengan kadar kalori sedang (5.100 sampai 6.100 kal/gr), dan 30 persennya terdiri dari batu bara kalori rendah (di bawah 5.100 kal/gr), sisanya sebanyak 1 persen berkalori tinggi yakni 6.100 sampai 7.100 kal/gr dan kalori sangat tinggi di atas 7.100 kal/gr. Dari potensi tambang batubara sebesar 161 miliar ton di Indonesia, 53 persen berada di pulau Sumatera dan hanya 47 persen berada di pulau Kalimantan. Namun saat ini 92 persen eksplorasi dan eksploitasi batubara terdapat di wilayah Kalimantan, sedangkan di Sumatera hanya 8 persen, badan geologi, kementerian esdm mencatat potensi sumber daya batu bara sebesar 161 miliar ton, sebanyak 120 miliar ton berupa tambang terbuka, sedangkan 41 miliar ton lain berada di dalam tanah. Dari jumlah itu, total cadangan batu bara yang bisa segera dieksploitasi mencapai 28 miliar ton.

Cadangan batubara ini sebagian besar tersebar di beberapa lokasi utama, yaitu Sumatera Barat, Riau, Sumatera Selatan serta Kalimantan Timur dan Selatan, dan beberapa lokasi lainnya. Sedangkan potensi cadangan batubara yang belum tereksplorasi masih cukup besar (*Data Ditjen Minerba ESDM, 2013*).



Gambar 1. Peta Penyebaran Sumber Daya dan Cadangan Batu Bara (2013)

Selain itu, pihak Kementerian ESDM tengah mendorong penggunaan batu bara di dalam negeri dengan meningkatkan Domestik Market Obligation (DMO) rata-rata sebesar 8% per tahun. Dengan perkiraan produksi batubara 2015 hingga 2019 yang meningkat 1% per tahun, maka ekspor 2015-2019 direncanakan semakin berkurang dengan tingkat pengurangan 1,5%/tahun (Tabel 1).

Tabel 1. Rencana Produksi Batubara (2015-2019)

NO	INDIKATOR KINERJA	SATUAN	2015	2016	2017	2018	2019	KETERANGAN
5.	Pemenuhan Batubara Domestik							
a.	DMO Batubara	Juta Ton	108	111	120	130	140	Berdasarkan kebutuhan pengguna dalam negeri, naik 8%/tahun
b.	Ekspor Batubara	Juta Ton	322	318	313	308	302	Ekspor turun 1,5% pertahun
c.	Produksi Batubara	Juta Ton	425	429	434	438	442	Dikendalikan naik 1% per tahun

Penggunaan batubara sebagai sumber energi juga merupakan salah satu capaian sasaran bauran (*energy mix*) energi nasional yang dicanangkan pemerintah, hal ini dikarenakan:

- Sumber daya batubara cukup melimpah.
- Dapat digunakan langsung dalam bentuk padat, atau dikonversi menjadi gas (gasifikasi) dan cair.
- Harga batubara kompetitif dibandingkan dengan energi lain.
- Teknologi pemanfaatan batubara yang ramah lingkungan telah berkembang pesat, yang dikenal sebagai Teknologi Batubara Bersih (*Clean Coal Technology*).

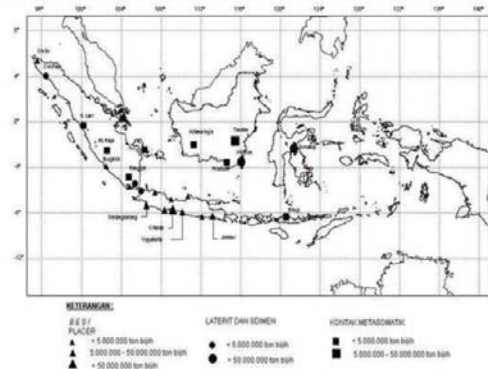
Salah satu cara untuk meningkatkan nilai ekonomis batubara saat ini, adalah dengan mengolah batubara menjadi produk kokas. Kokas merupakan salah satu bahan komoditi penting yang banyak dibutuhkan pada industri metalurgi dan hingga saat ini sebagian besar masih di impor. Karena itu, batubara sebagai mineral tambang dapat diharapkan sebagai sumber energi alternatif bagi industri dalam negeri khususnya industri logam, guna mengurangi ketergantungan terhadap impor, yang tentunya dapat menghemat devisa.



Gambar 2. Salah satu area tambang batubara di kawasan Sumatera Selatan yang memiliki deposit batubara.

II. Potensi Cadangan Bijih Besi di Indonesia

Potensi bahan baku untuk mineral besi di Indonesia masih sangat mencukupi, dengan jumlahnya yang banyak dan tersebar diberbagai wilayah tanah air. Gambar di bawah ini memperlihatkan sebaran tersebut (Gambar 3).



Gambar 3. Sebaran wilayah potensi bijih besi di Indonesia

Beberapa wilayah yang memiliki potensi bijih besi tersebut diantaranya terdapat di Banten, Jawa Timur, Sumatera Barat dan Kalimantan Selatan. Potensi bijih besi di Banten terdapat di Kota Serang dengan perkiraan sumber daya 100.000 ton. Sementara di Jawa Timur potensi bijih besi terdapat di Kabupaten Tulungagung, Blitar dan Jember. Sumatera Barat memiliki potensi biji besi cukup besar, diperkirakan mencapai 345,77 juta ton dengan areal seluas 4.1232 ha terletak di Kabupaten Pasaman, Kabupaten Pasaman Barat, Kabupaten Solok Selatan, Kabupaten Solok, Kabupaten Tanah Datar dan Kabupaten Dharmasraya.

Sedangkan potensi bijih besi di Kalimantan Selatan terletak pada empat daerah, yaitu Tanah Laut, Tanah Bumbu, Kota Baru, dan Balangan. Dengan cadangan terbesar dimiliki oleh Tanah Bumbu dengan indikasi sebesar 100.000.000 ton, memiliki komposisi Fe sampai 47%. Cadangan bijih besi Indonesia didominasi oleh pasir besi dan bijih besi laterit, hanya memiliki sedikit bijih yang memenuhi persyaratan konvensional. Persyaratan itu meliputi kadar besi (Fe) yang relatif tinggi (di atas 60%) dan kadar pengotor yang relatif rendah. Industri peleburan logam dengan teknologi tanur tiup, misalnya mensyaratkan kadar TiO_2 maksimum 1%, sedangkan bijih besi jenis laterit memiliki kandungan besi yang rendah, kadang-kadang di bawah 50%, kandungan unsur nikel dan chromium yang tinggi.

III. Kebutuhan Batubara Untuk Industri Pengolahan logam

Potensi batubara akan menjadi semakin menarik untuk kawasan yang sekaligus memiliki endapan mineral bijih besi yang berdampingan dengan daerah yang memiliki cukup batubara. Beberapa daerah yang memiliki keadaan seperti ini dapat ditemukan di Kalimantan Selatan dan Sumatera Barat. Meskipun belum ditemukan cadangan bijih besi dalam jumlah yang besar, ketersediaan batubara ini cukup untuk menjadi pemicu daya saing dalam pengembangan industri pengolahan logam khususnya yang berskala kecil. Pabrik pengolahan logam yang berskala kecil, misalnya kapasitas 25-100 ton per-hari perlu dibangun diberbagai daerah terutama dikawasan tambang bijih besi yang potensinya tersebar di Indonesia.

Beberapa cadangan bijih besi tidak ditemukan dalam jumlah besar disuatu kawasan, tetapi tersebar dibanyak dalam jumlah cadangan yang kecil-kecil. Karena itu, pabrik pengolahannyapun tidak perlu dalam skala besar seperti yang ada di PT. Krakatau Steel, Cilegon. Karena itu, jika tambangnya kecil-kecil dan tersebar akan meningkatkan tambahan biaya transportasi dari tambang. Pengolahan bijih besi akan mengalami kendala dalam hal ketersediaan sumber energi bahan bakar. Untuk mengatasi hal ini, bahan bakar batubara kokas dapat dijadikan alternatifnya. Pengolahan bijih besi sendiri membutuhkan teknologi yang tepat berdasarkan kokas batu bara yang jenis batubaranya adalah batubara anthrasit. Ada beberapa jenis batubara anthrasit di Indonesia, namun jumlahnya sangat kecil, dan

sebagian besar batubara yang ada memiliki kadar yang lebih rendah dibandingkan batubara anthrasit.

Oleh karena itu, teknologi pengolahannyapun disesuaikan dengan ketersediaan batu bara, apakah itu pasir besi atau bijih besi jenis laterit. Penguasaan teknologi akan memberikan peluang penghematan biaya operasi. Dapat dibayangkan berapa besar penghematan biaya transportasi yang dapat dilakukan bila proses pengolahannya dilakukan di area tambang. Yang penting adalah adanya usaha penggunaan potensi bahan baku lokal, bahkan kemungkinan pembangunan industri pengolahan bijih besi di wilayah tambang yang memiliki sumber bahan baku bijih besi dan batubara. Setiap ton besi kasar (*pig iron*) membutuhkan 1.6-2 ton bijih besi dan 0.7-1 ton kokas. Sementara kokasnya sendiri membutuhkan batubara 2-3 kali berat kokas yang dibutuhkan.

Oleh karena itu, diperlukan adanya kegiatan penelitian dan pengolahan batubara untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi industri pengolahan bijih besi terutama dikawasan tambang lokal. Alangkah besarnya penghematan yang dapat dilakukan, bila kita mampu mengolah bijih besi di kawasan tambang, dan produk logamnya dapat diangkut ke daerah lain untuk kebutuhan industri. Berdasarkan data statistik, kebutuhan Indonesia akan besi saat ini dapat mencapai sekitar 7 ton pertahun dan diperkirakan pada tahun 2020 akan terus meningkat menjadi lebih dari 15 juta ton pertahun. Oleh karena itu, Indonesia perlu memanfaatkan batubara semaksimal mungkin sebagai sumber energi alternatif untuk pengembangan industri logam dalam negeri.

IV. Batubara Sebagai Sumber Energi Industri Pengolahan logam

Salah satu sumber energi alternatif untuk memenuhi kebutuhan industri pengolahan logam adalah batu bara. Dapur peleburan logam yang membutuhkan batubara sebagai sumber energi utama misalnya pada jenis tanur tiup, demikian juga dapur-dapur pengecoran seperti kupola, tukik dan dapur lainnya, memakai batubara sebagai bahan bakar dalam proses metalurgi. Sebagai bahan baku utama untuk pembuatan besi melalui proses tanur tiup umumnya memakai kokas atau arang kayu. Arang kayu sudah jarang digunakan, karena isu masalah lingkungan. Kokas dapat dibuat dengan mudah kalau menggunakan jenis batubara yang cocok untuk dibuat kokas. Batubara kokas (*coking coal*) sebagai penghasil kokas metalurgi saat ini sudah dipakai untuk pengolahan logam melalui *tanur tiup* konvensional (*blast furnace*). Kokas ini digunakan untuk menghasilkan besi kasar (*pig iron*) dalam tanur, dimana reaksi kimia berlangsung pada temperatur tinggi. Kokas dalam tanur ini merupakan sumber bahan bakar dalam tanur. Kalau tidak ada batubara kokas, maka kokas dapat dibuat dengan batubara thermal melalui dua tahap proses. Batubara mula-mula dikarbonisasi, dengan bahan pengikat (*binder*) dibuat jadi briket, kemudian dipanaskan kembali untuk mendapatkan bentuk stabil. Demikian juga batubara uap (*steam coal*) yang cukup melimpah saat ini sudah diproduksi dan mayoritas produksinya hanya untuk

keperluan ekspor dan konsumsi dalam negeri, terutama untuk pembangkit tenaga listrik. Pemanfaatan batubara uap ini untuk industri logam, belum dimanfaatkan secara baik, karena masih perlu pemilihan teknologi yang sesuai. Selain tanur tiup konvensional, ada beberapa jenis dapur yang sudah menggunakan batubara sebagai sumber energinya, yaitu pada proses reduksi langsung untuk pembuatan besi spons (*direct reduction*), proses peleburan langsung (*smelting*) dan tanur tiup mini. Proses reduksi langsung yang menggunakan batubara kini sudah diterapkan di beberapa negara seperti India dan Selandia baru. Beberapa variasi dari jenis dapur ini dapat dioperasikan dengan menggunakan sumber energi dari batubara biasa dan bukan batubara kokas. Jenis tanur tiup sangat cocok untuk dikembangkan di Indonesia yang memiliki tambang bijih besi yang tersebar di beberapa tempat dengan jumlah deposit yang terbatas. Tanur tiup mini, meskipun dengan nama generik tanur tiup, jenis dapur ini tidak membutuhkan kokas dengan persyaratan sebagaimana pada persyaratan tanur tiup konvensional. Karena dapat menggunakan jenis kokas kualitas rendah, yang diproses dari batubara uap yang sedikit memiliki sifat coking. Batubara jenis ini dapat diperoleh di beberapa tempat yang tersebar di Indonesia. Untuk kawasan tambang lokal, tanur tiup sangat sesuai, karena memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan jenis dapur lainnya, antara lain: hanya membutuhkan persyaratan kokas ringan, tidak perlu menggunakan bahan bakar dari kokas batubara (*coking coal*), demikian juga jenis dapur ini tidak memerlukan persyaratan bijih besi yang terlalu ketat. Pengolahan bijih besi yang menggunakan jenis tanur tiup mini juga telah berkembang dengan pesat antara lain dengan mengadopsi teknologi dari tanur tiup konvensional.

Demikian pula, proses reduksi pellet bijih besi dalam tungku diam dan *tungku putar* (*rotary kiln*) untuk mengolah bijih besi menjadi besi spons (*sponge iron*) telah dilakukan dengan cukup memuaskan dan bahkan sudah dipatenkan (*UPT Balai Pengolahan Mineral Lampung LIPI*). Proses reduksi pellet bijih besi dilaksanakan pada temperatur 950-1100°C dalam rotary kiln menggunakan *pulverized burner* yang berbahan bakar batubara lokal.

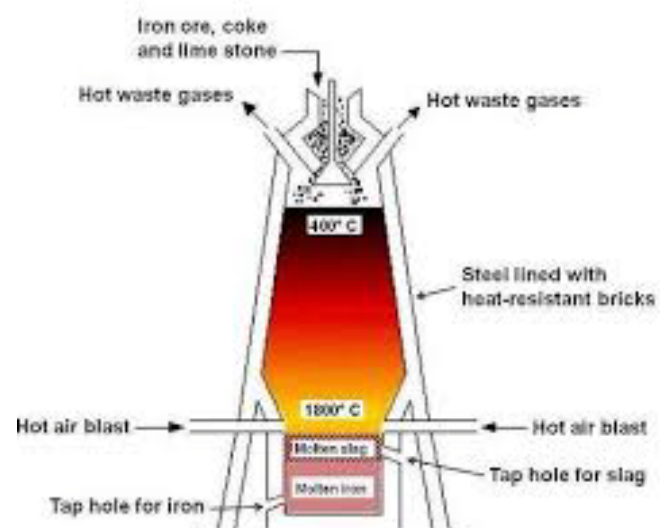
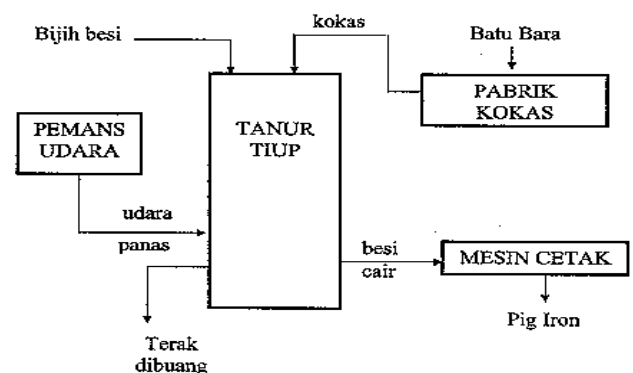
V. Pengolahan Logam Berbahan Bakar Batubara

Berdasarkan data potensi cadangan batubara domestic yang cukup tersedia, beberapa jenis dapur pengolahan logam berbahan baku batubara, dapat diterapkan di Indonesia, antara lain:

5. 1. Tanur Tiup Mini

Tanur jenis ini menggunakan prinsip dasar dari tanur tiup. Tanur ini cocok untuk kawasan tambang lokal, karena memiliki beberapa keunggulan antara lain tidak diperlukan kokas dengan persyaratan tinggi dan tidak menuntut persyaratan bijih besi yang sangat ketat, dan sudah barang tentu dapat digunakan untuk mengolah bijih besi dalam kapasitas kecil. Sistem pengolahan bijih besi pada dapur ini sebenarnya mengadopsi teknologi dari tanur tiup

konvensional. Untuk jenis bijih besi lokal, tanur tiup masih dapat digunakan. Tetapi untuk kadar besi yang rendah dan kandungan pengotor yang masih tinggi, dapat meningkatkan pemakaian batubara kokas. Tanur jenis ini sudah diterapkan di UPT, Balai Pengolahan Mineral LIPI di Lampung. Disamping potensi aplikasinya, tanur tiup mini juga telah mengadopsi teknologi yang digunakan di tanur tiup konvensional seperti pemanfaatan kembali gas buang, sistem pemanasan udara dan pemasukan batubara halus pada bagian lubang pemasukan udara (*tuyere*). Karena persyaratan kokas tidak seberat seperti pada tanur tiup konvensional, maka pengembangan kokasnya tidak akan menghadapi banyak kesulitan. Dengan gabungan teknologi tanur tiup dan pembuatan kokas, jenis dapur ini sangat cocok untuk digunakan pengolahan bijih besi lokal secara lengkap. Proses pembuatan besi mentah dengan menggunakan tanur tiup dapat digambarkan diagram dalam Gambar 1, berikut ini:



Gambar 4. Proses pengolahan logam dengan tanur tiup yang memanfaatkan batubara (kokas) sebagai bahan bakar.

Pada tanur tiup, pemanasan udara dilakukan di dalam sebuah stove yang dipanaskan dengan menggunakan hasil pembakaran gas buang dari tanur. Dengan efisiensi pemanfaatan panas ini, menyebabkan proses tanur tiup

terus berkembang sebagai proses pengolahan bijih besi berbahan bakar kokas.

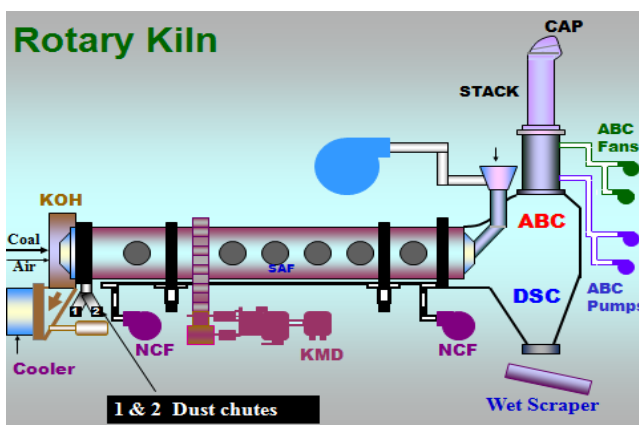
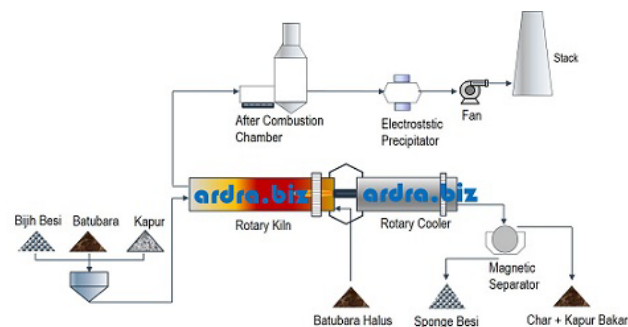
5. 2. Rotary Kiln

Jenis dapur ini terbuat dari baja berbentuk silinder horizontal, bagian dalamnya dilapisi dengan refractory brick, dan kemiringannya dapat diatur.

Pada pembuatan besi spons (sponge iron), batu bara mempunyai 3 fungsi, yaitu:

- Sebagai sumber panas untuk memanaskan umpan yang masuk ke rotary kiln
- Sebagai bahan reduktor untuk mereduksi bijih besi menjadi besi spons.
- Sebagai protector untuk menjaga agar besi spons yang dihasilkan tidak teroksidasi kembali.

Rotary kiln memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis dapur lainnya, karena prosesnya dapat memanfaatkan potensi sumber daya lokal yaitu tambang bijih besi rakyat. Selain itu, dapat memanfaatkan batubara lokal dan bahan bakar lainnya berbasis biomassa. Salah satu contoh tanur rotary kiln dengan sumber energi batu bara, digambarkan secara skematik seperti dibawah ini (Gambar 2): Teknologi ini layak dikembangkan oleh industri penghasil besi spons dikawasan tambang lokal yang sekaligus memiliki endapan bijih besi dan batubara.

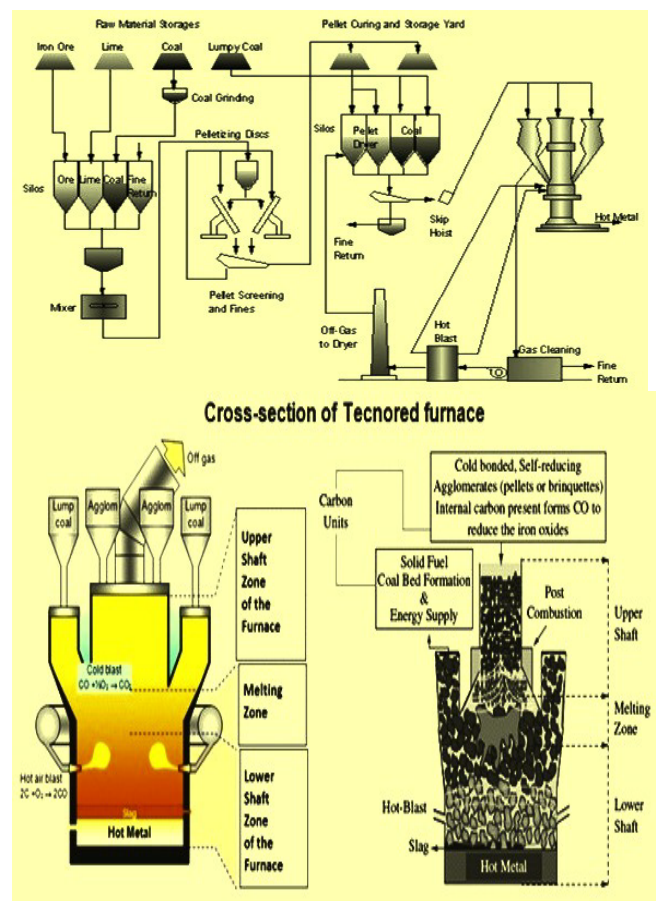


Gambar 5. Skematika pengolahan bijih besi menjadi besi spons melalui tanur Rotary Kiln.

5. 3. Tanur Tecnored

Proses kerjanya mirip dengan dapur kupola, hanya saja memiliki dua lapis lubang pemasukan udara (*tuyere*). Lubang tuyer pada lapis bawah membakar batubara atau

kokas menghasilkan gas CO dan H₂, sedangkan lapisan atasnya membakar CO dan H₂ menjadi gas CO₂ dan air. Pembakaran di bagian lapisan atas ini menghasilkan panas tiga kali lebih banyak daripada pembakaran pada bagian bawahnya. Hasil pembakaran di lapisan atas ini digunakan untuk memasok panas untuk proses reduksi bijih besi yang mengandung pereduksi batu bara. Karena besi yang dilebur sudah tereduksi, maka kebutuhan bahan bakar untuk proses tanur ini relatif rendah (*low cust fuel*). Karena itu, kecepatan produksi dan efisiensi energi jenis dapur ini sangat tinggi. Proses ini cukup menarik karena bentuknya yang sederhana, menggunakan bahan bakar kokas kuslitsd rendah, bahkan dapat digunakan batubara mentah sebagai sumber energinya. Untuk pengolahan bijih besi dikawasan tambang lokal yang memiliki cadangan bijih besi yang tersebar dengan sumber energi dari batubara, teknologi tanur Tecnored ini mungkin dapat menjadi satu pilihan. Proses Tecnored ini dapat dilihat pada gambar 5 dibawah ini:



Gambar 6. Skematika pengolahan bijih besi melalui proses tanur Tecnored.

VI. Simpulan dan Saran

Dari uraian diatas, beberapa kesimpulan dan saran yang dapat diambil, antara lain; Pengembangan industri logam dikawasan tambang lokal, hendaknya tidak lagi bergantung pada bahan bakar minyak, namun dapat beralih ke batubara sebagai alternatif sumber energinya. Selain merupakan

bahan baku sebagai sumber energi panas, batubara merupakan bahan reduktor dalam industri logam, dan dapat digunakan sebagai substitusi kokas dalam tanur pengolahan bijih besi. Untuk memenuhi kebutuhan besi mentah dalam negeri, diperlukan industri peleburan yang mampu mengolah bijih besi berskala kecil, misalnya dengan pendirian tanur tiup berbahan bakar kokas. Untuk memenuhi kebutuhan batubara berkualitas, perlu dikembangkan industri pengolahan batubara dan kokas.

Kepustakaan

- [1]. Data Statistik Peta Penyebaran Sumber Daya dan Cadangan Batu Bara, Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara, ESDM, 2013
- [2]. Sarangi A, *Sponge Iron Production in Rotary Kiln*, Eastern Economic Edition, PHI Learning Private Limited, New Delhi 2011.
- [3]. *Rotary Kiln Process of Making Sponge Iron*, Chapter 2. Newagepublishers.
<http://www.newagepublishers.com/samplechapter.pdf>.
- [4]. K.Ramu, C.Ramesh, A.Rajasekaran: '*Coal Injection in Rotary Kiln*', 2011
- [5]. José Henrique Noldin Júnior: '*Tecnored process - high potential in using different kinds of solid fuels*', Materials Reserarch. Vol.8, No.4 São Carlos, 2005.
- [6]. Buletin Sumber Daya Geologi, Vol.8, nomor 2, 2011.

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir di Korea Selatan: Pembelajaran Bagi Indonesia

Tjipta Suhaemi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka
Jalan Tanah Merdeka No.6, Kp Rambutan, Jakarta Timur
Telp. +62 21-8400941, +62 21-87782739, Fax No: +62 21 87783818
E-mail : tjipta@

Abstrak – Dewasa ini penggunaan energi nuklir di dunia telah mencapai 441 buah dengan kapasitas 382.9 GWe, porsi pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di dunia mencapai 11% dari total energi keseluruhan. Untuk Asia saja telah beroperasi 109 buah PLTN di 5 negara, yaitu Jepang, Korea Selatan, China, India, dan Pakistan. Dalam makalah ini pembahasan dititikberatkan pada pengembangan PLTN di Korea Selatan. Korea Selatan termasuk negara yang sangat berhasil dalam melaksanakan program pengembangan energi nuklir dengan pembangunan PLTN. Korea Selatan melaksanakan program nuklir secara ambisius sejalan dengan kebijakan industrialisasi nasional, dan mempunyai komitmen yang kuat terhadap pengembangan nuklir sebagai bagian integral dari kebijakan negara untuk mengurangi pengaruh eksternal dan mulai terbatasnya energi fosil. Untuk merealisasikan bertambahnya permintaan kebutuhan energi dan listrik serta perlunya mendukung pembangunan sosial ekonomi, Indonesia perlu belajar dari pengembangan PLTN di Korea Selatan. Dari pembahasan dapat diketahui pembelajaran untuk mencukupkan kebutuhan energi di Indonesia melalui pembangunan PLTN. Diperlukan kebijakan nasional energi yang tegas berwujud dan didukung oleh semua pihak, pembagian tanggung jawab dan wewenang dari instansi yang terkait dalam pembangunan PLTN, pemilihan jenis PLTN, program transfer teknologi, dan standarisasi PLTN.

Kata kunci: kemampuan, pengembangan, PLTN, pembelajaran, standarisasi.

Worldwide, nowadays there were 441 nuclear power reactors in operation, totalling 389.2 GWe of generating capacity. Nuclear power supplied about 11% of the world's electricity. Out of 441 operational NPP's in the world, there are 109 NPP's operating in five countries of the region i.e Japan, South Korea, China, Taiwan, India, and Pakistan. In this paper the discussion is focused on the development of NPP in South Korea. The South Korea has carried out a very ambitious nuclear power programme in parallel with the nation's industrialization policy, and has maintained a strong commitment to nuclear power development as an integral part of the national policy aimed at reducing external vulnerability and insuring against global fossil fuel shortage. For realizing the increasing electricity and energy demand and necessity to support sosial-economic development, Indonesia should follow the South Korea nuclear development. It is known how to conduct development of nuclear capabilities for Indonesia. Indonesia should established the energy policies, selection of nuclear power plant, transfers technology programme and standardization of NPP.

Key Words: ability, development, PLTN, education, standardization.

I. Pendahuluan

Dewasa ini penggunaan energi nuklir di dunia yang dimulai sejak tahun 1955 terus meningkat dan pada awal tahun 2016 mencapai 441 buah dengan kapasitas 382,9 GWe.

Sumbangan dari energi nuklir adalah sebanyak 11 % dari total produksi listrik dunia. Diperkirakan kapasitas PLTN dalam 15 tahun ke depan akan menjadi 150 GW(e) skenario rendah dan 300 GW(e) skenario tinggi. Ada 10 buah PLTN yang masuk ke grid, yaitu 8 buah di China,

masing-masing satu di Rusia (Beloyarsk-4) dan Korea Selatan (Shin-Wolsong). PLTN yang sudah memasuki masa konstruksi ada 8 buah, yaitu 6 buah di China, 1 di Pakistan (K-2) dan sebuah di United Arab Emirates (Barakah-4). Sebanyak 16 negara yang menggantungkan seperempat kebutuhan listriknya dari energi nuklir. Perancis dan Lithuania tigaperempatnya. Belgia, Bulgaria, Slovakia, Korea Selatan, Swedia, Swiss, Slovenia, dan Ukraina lebih dari sepertiganya. Jepang, Jerman, dan Finlandia lebih dari seperempat. Sejak 2005 sudah 68 buah PLTN yang memasuki masa konstruksi, 45 buah diantaranya terletak di Asia. Dari 45 buah tersebut yang telah masuk ke grid berjumlah 39 buah. [1-4,]

Pada dekade terakhir ini pengembangan PLTN mengalami stagnasi di dunia barat, sedikit meningkat di Eropa Timur, dan meningkat tajam di Asia Timur dan Selatan. Banyak negara yang telah membangun maupun yang berkeinginan membangun PLTN. Di beberapa negara, PLTN merupakan sumber listrik yang sangat penting. Berbeda dengan negara-negara di Amerika Utara dan Eropa Barat yang pertumbuhan pembangunan PLTNnya melambat, namun di Asia terutama Asia Timur dan Asia Selatan terus merencanakan dan membangun PLTN untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat. Diperkirakan pula prospek pengembangan PLTN kelihatannya akan terlihat juga di Afrika, Eropa Timur dan Amerika Latin.

Negara-negara Asia adalah negara yang sedang berkembang, serta ditandai dengan padatnya penduduk dan konsumsi energi per kapita, konsumsi listrik per kapita maupun pendapatan per kapita (*gross domestic product*, GDP) yang relatif rendah. Beberapa negara di Asia yang sudah membangun PLTN adalah Jepang, Korea Selatan, India, Pakistan, China, dan terakhir di United Arab Emirates.. Korea Selatan termasuk negara nomor enam terbanyak di dunia menggunakan PLTN dan kini termasuk negara pemasok PLTN ke negara lain. Korea Selatan termasuk negara yang miskin dalam sumber daya alam, hanya mempunyai deposit batubara jenis anthrasit yang terbatas.

Kebutuhan listrik Korea Selatan juga meningkat dengan pesat seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang juga meroket. Pada tahun 2015 total produksi listrik yang dibangkitkan sebesar 549 TWh dengan kapasitas terpasang 98,8 GWe, pada tahun 2000 sebanyak 239 TWh dengan kapasitas terpasang 46.978 MWe, dibandingkan dengan 35,5 GWh dan kapasitas terpasang 6.916 MWe pada tahun 1978 saat pengoperasian pertama PLTN di Korea Selatan. Listrik per kapita pada tahun 1999 sebesar 5.107 kWh meningkat 35 kali dibandingkan dengan tahun 1968 saat keputusan pemerintah untuk membangun PLTN pertama [5,6]

Dilihat dari jenis pembangkit listrik, pada tahun 2015 produksi listrik sebesar 549 TWh berasal dari batubara sebesar 236 TWh, 165 TWh dari PLTN (31%), 118 TWh dari gas, 16,5 TWh dari minyak, 6 TWh dari PLTA, dan 3,8 TWh dari tenaga angin dan solar. Sedangkan kapasitas pembangkit listrik yang terpasang adalah 28.55 GWe PLTU, 30.4 GWe PLTG, 21.7 GWe PLTN, 4.1 GWe

PLTD, 14.0 dan PLTA dan pembangkit energi terbarukan lainnya. Kapasitas dari nuklir 22% menghasilkan suplai daya sebesar 31%.

Korea Selatan termasuk negara yang sangat berhasil dalam melaksanakan program pengembangan energi nuklir dengan pembangunan PLTN. Di samping itu pula pengembangan kemampuan industri nuklir semakin berkembang maju dan berambisi menjadi salah satu dari 5 negara industri nuklir pada tahun 2035. Negara ini mencanangkan pula pada tahun 2035 sebanyak 60% dari energi listriknya berasal dari energi nuklir. Korea Selatan pertama kali dikenalkan pada PLTN tahun 1978, dan dewasa ini sudah mencapai 24 buah PLTN dengan kapasitas total 22,5 GWe atau 31% dari total energi listrik. Kesuksesan Korea dipicu oleh adanya organisasi proyek nuklir yang efektif, pendekatan teknologi secara bertahap langkah demi langkah, partisipasi nasional dalam mendukung pembangunan dan pengembangan energi nuklir. Sejak pembangunan PLTN pertama Kori unit 1 pada tahun 1978, energi nuklir telah menjadi energi yang penting bagi Korea. Meskipun perkembangan industri nuklir Amerika Serikat dan Eropa menurun, pemerintah Korea malah meningkatkan kegiatan energi nuklir sebagai tantangan meningkatnya permintaan energi, pencarian lokasi, dan tapak, dan mendukung pengembangan teknologi komersial.

Dalam penggunaan PLTN untuk pembangkit listrik ini, sebenarnya Indonesia sudah ketinggalan jauh dari negara lain. Korea Selatan yang pada tahun 1960-an dalam hal penguasaan iptek nuklir sejajar dengan Indonesia, pada tahun 1978 telah membangun PLTN berjenis PWR buatan Westinghouse. Berikutnya adalah PLTN jenis CANDU Wolsung-1 yang didesain tahun 1973, konstruksi tahun 1977, dan dioperasikan pada tahun 1983. Malahan sekarang sudah mempunyai kemampuan mendesain sendiri PLTN dan sudah pula memasok/mengekspor PLTN ke UAE.

Dewasa ini bila dibandingkan antara Korea Selatan dan Indonesia dalam konsumsi energi per kapita, konsumsi listrik per kapita, serta *gross domestic product* berbeda. Konsumsi listrik per kapita di Korea Selatan pada tahun 2013 sebesar 9700 kWh, tahun 2002 6172 kWh meningkat dari 860 kWh pada tahun 1980, sedangkan Indonesia baru mencapai 500 kWh^{4,5]} Lebih dari 3½ dekade, Korea selatan telah menikmati kenaikan GDP sebesar 8.6% per tahun, pada tahun 2015 GDP 11.479 US \$. Indonesia tahun 2016 baru US \$3603, tahun 2002 US \$698, dan 1980 \$511.[7-9,15]

Indonesia sejak lama telah berencana membangun PLTN. Berbagai studi kelayakan telah dilakukan, namun proses introduksi PLTN berjalan alot. Begitu pula Indonesia bukan lagi negara yang mengekspor minyak, tetapi telah menjadi pengimpor minyak, sebab kebutuhan dalam negeri telah melebihi produktivitas minyak. Untuk mendukung program energi dan mengingat sumber daya migas yang terbatas dan kondisi sumber energi Indonesia yang ada dewasa ini, salah satu pilihan yang patut dipikirkan untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia adalah memanfaatkan energi nuklir. Namun

untuk mengimplementasikan program pembangunan PLTN di Indonesia ternyata banyak kendala dan permasalahan yang dihadapi. Oleh karena itu pengalaman pengembangan PLTN di Korea Selatan diharapkan dapat menjadi pembelajaran berharga bagi Indonesia untuk meningkatkan kemampuan dan ketahanan energi dalam mencapai kesejahteraan masyarakat Indonesia.

II. Tata Kerja

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan melakukan penelusuran pustaka, pengumpulan data sekunder, dan melakukan analisis perbandingan terhadap pengembangan program energi. Selanjutnya kajian tersebut dapat menjadi pembelajaran dalam pengembangan kemampuan energi Indonesia termasuk pengembangan energi nuklir.

III. Hasil dan Pembahasan

Aktivitas nuklir di Korea Selatan dimulai pada tahun 1957 ketika Korea Selatan menjadi anggota IAEA. Pada tahun 1959 dibentuk *Office of Atomic Energy* dan *Atomic Energy Research Institute* (AERI) sebagai instansi pemerintah yang diberi wewenang untuk merencanakan penggunaan energi nuklir. Tahun berikutnya diterbitkan the Atomic Energy Law. Menyusul pada tahun 1961 dibentuk *Korea Electric Power Corporation* (KEPCO) sebagai badan tunggal penyedia energi listrik. Pada tahun 1962 dibentuk *Korea Heavy Industries and Construction Co, Ltd* (KHC). Pada tahun 1973 dibentuk *Korea Atomic Energy Research Institute* yang menggabungkan AERI, *Radiological Research Institute* (RRI) dan *Radiation Research Institute in Agriculture* (RRIA). Selanjutnya pada tahun 1975 dibentuk *Korea Power Engineering Co, Inc* (KOPEC), dan *Korea Nuclear Fuel Company, Ltd* (KNFC) pada tahun 1962. KHC sekarang menjadi *Dosan Heavy Industries Company*. [10]

Kebijakan Energi Korea Selatan dipengaruhi oleh pertimbangan keamanan suplai energi dan perlunya mengurangi ketergantungan kepada impor. Kebijakan tersebut dilanjutkan dengan keputusan pengembangan PLTN sebagai unsur utama produksi pembangkitan listrik. Korea Selatan pada tahun 1978 membangun PLTN berjenis PWR buatan Westinghouse. Berikutnya adalah PLTN jenis CANDU Wolsung-1 yang didesain tahun 1973, konstruksi tahun 1977, dan dioperasikan pada tahun 1983. Pembangunan kedua PLTN tersebut dilakukan secara kontrak putar kunci (*turn-key contract*). Pembangunan PLTN berikutnya mulai dilakukan peningkatan partisipasi nasional industri Korea Selatan secara bertahap. Korea melaksanakan program nuklir secara ambisius dan paralel dengan kebijakan industrialisasi nasional, dan menjaga komitmen yang kuat terhadap pengembangan energi nuklir sebagai bagian integral dari kebijakan energi nasional dengan tujuan mengurangi pengaruh eksternal dan menjamin ketahanan energi terhadap merosotnya bahan bakar fosil dunia.

Dewasa ini 24 buah PLTN yang sudah dibangun di Korea Selatan dan 4 buah lagi yang sedang dalam pembangunan, dan 2 buah lagi yang sedang dalam pembicaraan. PLTN yang sedang dibangun untuk Kori adalah 2 unit PWR 1000 dan 2 unit PWR 1400. Untuk lokasi Wolsong dibangun PHWR dengan daya 1000 MWe sebanyak 2 unit. PLTN yang sedang/akan dibangun adalah didesain dan direncanakan oleh pihak Korea sendiri. Pada gambar 1 dapat dilihat lokasi PLTN di Korea Selatan. [5,11]

Nuclear Power Plants in South Korea



Source: World Nuclear Association

Gambar 1. Lokasi PLTN Korea selatan

Korea Selatan mempunyai lokasi daerah pembangkit yang terbatas, hanya ada 4 lokasi, namun pada setiap lokasi terdapat empat buah pembangkit malah ada yang lebih banyak. Lihat Tabel 2.a dan Gambar 2. Dapat dikatakan bahwa produksi energi nuklir Korea dari setiap lokasi dengan pembangkit multiple membuat perawatan lebih efisien dan biaya yang lebih sedikit. Pada tahun 2013, atas permintaan para nelayan, Korea Hydro and Nuclear Power (KHNP) mengganti nama Yonggwang menjadi reaktor Hanbit, dan Ulchin menjadi Hanul. Pada tahun 2014 telah ditandatangani konstruksi 2 buah reaktor APR-1400 sebagai di Hanul sebagai Shin Hanul-3 and -4; construction akan dimulai tahun 2017 dan 2 unit lagi yang belum diberi nama di Yeongdeok County. Gambar 2 menunjukkan



Shin-Kori Unit 3 and 4 use APR1400 Technology

Gambar 2. Lokasi PLTN Shin-Kori

Dalam pembangunan PLTN di Korea dapat dibagi kedalam 4 fase program, yaitu :

- [1] Fase pertama Periode kontrak putar kunci (*turn-key*) dengan kontraktor luar negeri. Dalam hal ini contohnya adalah PLTN Kori unit 2, 3, dan Wolsong unit 1.
- [2] Fase kedua: Tanggung jawab pembangunan pada Korea sedangkan kontrak peralatan dengan pihak luar negeri, seperti Kori unit 3, 4, Yonggwang unit 1, 2, dan Ulchin unit 1, 2.
- [3] Fase ketiga : Sebagian peralatan dibuat oleh kontraktor domestik, misalnya Yonggwang unit 3,4.
- [4] Fase keempat : Seluruhnya produk nasional.

Fase pertama dibangun dengan basis putar kunci dimana pihak pemilik (*owner*) Korea tidak terlibat di dalam pelaksanaan pembangunan proyek dan kegiatan pembangunan, dan pengadaan peralatan diserahkan sepenuhnya dan menjadi tanggung jawab kontraktor utama. Fase kedua PLTN dibangun dengan tanggungjawab di pihak Korea. Pada fase ketiga usaha dilakukan untuk memaksimalkan partisipasi industri lokal, yang akan menghasilkan biaya modal yang lebih rendah, waktu pembangunan yang lebih singkat.

Dalam pembahasan pembangunan PLTN Korea Selatan, ada beberapa aspek yang dibahas yaitu aspek kemampuan teknologi, dan upaya yang dilakukan untuk mencapai kemandirian dalam energi nuklir di Korea Selatan.

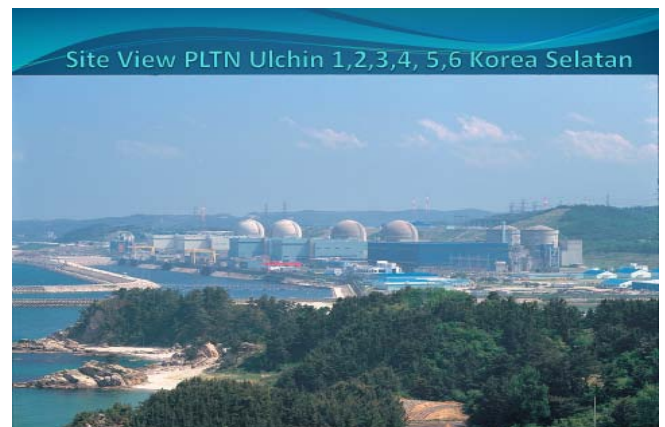
3. 1. Kronologi program PLTN Korea Selatan

Ditinjau dari sisi kemampuan teknologi (*technological self-reliance*), pembangunan PLTN di Korea Selatan dapat dikategorikan kedalam 3 generasi, yaitu ketergantungan total dan imitasi, persiapan kemandirian (*self-reliance preparation*), dan promosi kemandirian (*self-reliance promotion*).

Untuk generasi pertama yang dimulai akhir tahun 1960-an hingga awal 1970-an, terdapat tiga unit PLTN, Kori 1 & 2 Wolsong 1 yang dibangun melalui kontrak putar kunci (*turn-key project*) dengan vendor asing sebagai kontraktor utama. Periode ini dikarakterisasikan dengan

ketergantungan total dan peniruan teknologi. Disebabkan kurangnya pengalaman domestik dalam industri nuklir, Korea Electric Power Corporation (KEPCO) suatu perusahaan listrik Korea, mempercayakan keseluruhan pembangunan pembangkit pada suplair luar negeri, memberikan tanggung jawab penuh untuk manajemen proyek dari mulai desain dan konstruksi hingga *start-up* PLTN. Adapun industri domestik terbatas sebagai subkontrak hanya untuk bangunan sipil dan arsitektur. Sasaran utama kemandirian dalam periode ini adalah untuk mengidentifikasi item-item yang tersedia bagi lokal (persis seperti yang diinstruksikan) dari suplair luar negeri. PLTN pertama, Kori-1 adalah jenis PWR dengan daya 587 Mwe dipasok oleh Westinghouse dan dikomisioning tahun 1978 sesudah 7 tahun konstruksi.

Pada generasi kedua dari akhir 1970-an hingga 1980-an, dibangun 6 unit PLTN yaitu Kori 3 & 4, YGN (Yonggwang) 1 & 2, dan UCN (Ulchin) 1 & 2. Unit PLTN ini dibangun melalui kontrak basis komponen diberikan kepada kontraktor utama asing. Pada waktu itu, KEPCO memimpin proyek konstruksi dengan bantuan perusahaan arsitek/rekayasa asing. KEPCO mendapatkan peralatan BOP (*balance of plant*) dan kontraktor Korea menangani konstruksi lokasi, sedangkan industri domestik mengembangkan peran suplai peralatan dan rekayasanya. Selama periode ini, partisipasi domestik meningkat, dan berbagai sarana dan wahana kemandirian teknologi terbuka. Gambar 3 menunjukkan view point PLTN indilokasi Ulchin.



Gambar 3. View point PLTN Ulchin 1-6

Pada generasi ketiga dari akhir 1980-an hingga akhir 1990-an, KEPCO memimpin proyek basis komponen seperti sebelumnya, tetapi manajemen proyek konstruksi adalah internal. KEPCO mengambil tanggung jawab keseluruhan dengan memberikan kontrak utama pada perusahaan Korea, sedangkan suplair asing bertindak sebagai subkontraktor. Pada periode ini, PLTN YGN 3 & 4 merupakan proyek pertama dari jenis ini, dimulai bersamaan dengan kontrak transfer teknologi untuk meningkatkan kemandirian dan paralel dengan kontratuksi PLTN. Untuk proyek UCN 3 & 4, perusahaan/badan Korea mengambil tanggung jawab keseluruhan proyek sedangkan suplair asing merupakan konsultan utama. eroperasi dan yang akan dibangun dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. PLTN di Korea Selatan

No	PLTN	Tipe	Kapasitas, MWe	Mulai operasi
1	Kori-1	PWR	587	1978
2	Kori-2	PWR	650	1983
3	Kori-3	PWR	950	1985
4	Kori-4	PWR	950	1986
5	Hanul-1 (Ulchin-1)	PWR	950	1988
6	Hanul-2 (Ulchin-2)	PWR	950	1989
7	Hanul-3 (Ulchin-3)	KSNP	1000	1998
8	Hanul-4 (Ulchin-4)	KSNP	1000	1999
9	Hanul-5 (Ulchin-5)	KSNP	1000	2004
10	Hanul-6 (Ulchin-6)	KSNP	1000	2005
11	Wolsong-1	CANDU	679	1983
12	Wolsong-2	CANDU	700	1997
12	Wolsong-3	CANDU	700	1998
13	Wolsong-4	CANDU	700	1999
14	Hanbit-1 (Yeonggwang-1)	PWR	950	1986
15	Hanbit-2 (Yeonggwang-2)	PWR	950	1987
16	Hanbit-3 (Yeonggwang-3)	System 80	1000	1995
17	Hanbit-4 (Yeonggwang-4)	System 80	1000	1996
18	Hanbit-5 (Yeonggwang-5)	KSNP	1000	2002
19	Hanbit-6 (Yeonggwang-6)	KSNP	1000	2002
20	Shin Kori 1	OPR-1000	1000	2011
21	Shin Kori 2	OPR-1000	1000	2011
22	Shin Wolsong 1	OPR-1000	1000	2012
23	Shin Wolsong 2	OPR-1000	1000	2015
24	Shin Kori 3	APR-1400	1400	2015
25	Shin Kori 4	APR-1400	1400	2016
26	Shin Hanul 1	APR-1400	1400	2016
27	Shin Hanul 2	APR-1400	1400	2017
28	Shin Kori 5	APR-1400	1400	2018 (rencana)
29	Shin Kori 6	APR-1400	1400	2019 (rencana)
30	Shin Hanul 3	APR-1400	1400	2022 (rencana)
31	Shin Hanul 4	APR-1400	1400	2022 (rencana)
32	Unnamed 1 (Yeongdeok county)	Unknown	unknown	Unknown
33	Unnamed 2 (Yeongdeok county)	Unknown	unknown	Jnknown

3. 2. Faktor kunci kemandirian teknologi

Ada tiga faktor kunci tercapainya kemandirian Korea Selatan dalam teknologi, yaitu komitmen pemerintah yang kuat, transfer teknologi dan standarisasi PLTN, dan pembagian tanggung jawab yang jelas. Kebijakan energi nuklir nasional dilaksanakan dengan mempertimbangkan tercapainya kemandirian jangka panjang dalam desain, bahan bakar, manufaktur, konstruksi dan pengoperasian PLTN. Untuk melaksanakan kebijakan tersebut dipilih transfer teknologi dan standirdisasi PLTN sebagai wahana (kendaraan) utama untuk kemandirian. Pada tahun 1985 instansi/perusahaan Korea masing-masing diberi cakupan dan tanggungjawab yang jelas oleh pemerintah Korea seperti terlihat pada Tabel 2, dan terkait dengannya dilaksanakan standidrisasi PLTN. Untuk transfer teknologi yang efektif, mekanisme implementasinya dilakukan *joint-design* dengan meminta mitra (*counterpart*) luar negeri.

Tabel 2. Pembagian Tanggungjawab [5]

No	Badan (Entity)	Tanggungjawab
1	Korea Institute of Nuclear Safety (KINS)	Pengawasan dan lisensi
2	Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI)	Desain NSSS, desain bahan bakar dan yang berhubungan dengan R & D
3	Korea Electric Power Corporation (KEPCO)	Distribusi dan transmisi
4	Korea Hydro & Nuclear Power Co Ltd – (KHNP)	Managemen energi nuklir dan hydro
5	Korea Power Engineering Co, Institute (KOPEC)	Desain PLTN (Arsitektur dan rekayasa) dan pengembangan teknologi desain
6	Korea Heavy Industries & Construction, Co, Ltd (HANJUNG)	Desain & manufaktur komponen dan pengembangan teknologi manufaktur
7	KEPCO Nuclear Fuel (KEPCO NF)	Manufaktur bahan bahan bakar dan pengembangan teknologi bahan bakar
8	KEPCO EC	Rekayasa
9	KEPCO KPS	Perawatan/Maintenance
10	Universitas	R & D teknologi kunci

Strategi untuk mencapai kemandirian dalam bidang PLTN didukung dengan 4 aspek, yaitu pelaksanaan proyek yang aktual, transfer teknologi, stadirdisasi pembangkit daya, pengembangan kemampuan secara gradual melalui R & D. Proyek YGN 3 & 4 dipilih sebagai basis awal untuk kemandirian. Pada waktu itu tawaran lebih terbuka dan pembeli lebih diperhatikan, pemerintah Korea memasukkan transfer teknologi sebagai salah satu kondisi kontrak. Transfer teknologi dan proyek aktual dilakukan secara paralel. Proyek ini merupakan titik awal (*turning point*) dalam sejarah nuklir Korea, sebab transfer formal dari teknologi nuklir yang dikembangkan oleh negara maju dibuat mungkin untuk pertama kali di Korea. Untuk itu KEPCO menominasikan perusahaan domestik sebagai kontraktor utama, sedangkan subkontraktor asing menjamin proyek. Pelatihan yang terencana baik dan desain bersama (*joint design*) diadopsi sebagai mekanisme implementasi. Cakupan transfer teknologi mencakup transfer informasi teknologi, lisensi paten, pelatihan di kelas dan *on job training* (OJT), serta partisipasi R&D dan konsultasi.

Standardisasi pembangkit daya dimulai dengan YGN 3&4 sebagai pembangkit referensi dan dokumen persyaratan utility standar Korea (*Korean Standard Utility Requirement Documents* (K-SRED) dan *Korean Standard Safety Analysis Report* (K-SSAR) merupakan luaran standardisasi utama. Tujuan dan sasaran standardisasi adalah untuk mengembangkan konsep, mengidentifikasi item untuk meningkatkan desain lebih baik. Standardisasi berarti mengkonstruksi pembangkit sesuai dengan spesifikasi yang sama dengan spesifikasi standar, hal ini bermanfaat ditinjau dari pertimbangan ekonomi dari pekerjaan yang berulang. Namun teknologi baru harus diadaptasi untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja. UCN 3 & 4 adalah pembangkit standardisasi pertama yang diikuti dan direplikasi oleh YGN 5 & 6 dan UCN 5 & 6, meskipun peningkatan gradual melalui R & D tetap dilakukan. Dewasa ini, Korea sedang mengembangkan reaktor generasi mendatang dengan kapasitas yang lebih tinggi berbasis teknologi yang dicapai melalui kemandirian dalam implementasi standar 1000 MWe.[12,13]

3. 3. Transfer Teknologi

PLTN unit YGN 4 & 5 adalah proyek PLTN yang diimplementasikan oleh kontraktor utama lokal. Unit ini merupakan titik awal dalam sejarah nuklir Korea sebab ditingkatkannya keterlibatan domestik yang ditandai oleh transfer teknologi. KEPCO sebagai pemilik, menentukan KOPEC sebagai kontraktor utama untuk arsitek/rekayasa, HANJUNG untuk suplai sistem catu uap nuklir, KNFC untuk manufaktur bahan bakar nuklir, dan HECC untuk konstruksi. Untuk *balance of plant* adalah tanggungjawab KEPCO sebagai pemilik. Masing-masing KAERI ditunjuk sebagai subkontraktor kepada HANJUNG dan KNFC untuk desain NSSS dan teras awal. Badan-badan/perusahaan Korea ini melakukan subkontrak dengan perusahaan asing seperti Sargent & Lundy (S & L), General Electric (GE) dan ASEA Brown Boveri –Combustion Engineering (ABB-CE) untuk rekayasa dan peralatan dan teknologi yang terkait.

Ada berbagai metode transfer teknologi seperti transfer dokumen teknik, code komputer, dan informasi yang terkait dengan paten, pelatihan dan konsultasi. Selain itu, badan-badan/instansi Korea menambahkan lebih metode untuk mengamankan kemandirian yaitu : *joint design*, partisipasi program pengembangan dan litbang bersama dengan pihak lain.

Dokumen yang ditransfer adalah dokumen generik, mencakup manual yang berkaitan dengan lisensi, dokumen dan prosedur jaminan kualitas, dan dokumen referensi mencakup dokumen desain, catatan perhitungan, manual, gambar, spesifikasi, dan prosedur. Instalasi, verifikasi dan validasi adalah tugas besar dalam transfer code komputer, mencakup program sumber (*source program*), manual dan dokumen verifikasi QA. Selama dilakukan transfer, konsultasi tetap dilakukan.. Perjanjian transfer teknologi selama 10 tahun dibuat tahun 1987 dengan ABB-CE dan diperbaharui dan diperluas untuk 10 tahun berikutnya dalam persetujuan kerjasama teknologi pada 15 Mei 1997.

3. 4. Desain dan rekayasa NSSS.

Transfer teknologi untuk desain NSSS diimplementasikan melalui 4 fase. Fase pertama adalah periode kemandirian untuk teknologi bahan bakar nuklir. Selama periode ini, KAERI secara independen mengembangkan teknologi bahan bakar PHWR, dan mengimpor teknologi bahan bakar PWR dari Siemens-KWU melalui transfer teknologi dan *joint-desain*.

Pada fase kedua , YGN 3 & 4 dilakukan transfer teknologi dan *joint-design* dengan ASEA Boveri – Combustion Engineering (ABB-CE). Dalam periode ini, desain sistem didukung melalui review teknik, pengulangan desain, desain *mock-up* dan *joint R & D*. KAERI mencapai kemandirian teknologi melalui partisipasi dalam *joint-design* NSSS bersamaan dengan implementasi kontrak transfer teknologi. Agar rlanjutan R & D dan fitur desain ak transfer teknologi. Agar transfer teknologi terlaksana dengan sukses, konsep *joint-design* diperkenalkan dengan pelatihan di kelas secara efektif, *on job training* (OJT) dan transfer dokumen desain dan code komputer.

Pada fase ketiga, KAERI menyiapkan sendiri pekerjaan desain NSSS dengan konsultasi teknik dari ABB-CE. YGN 3 & 4 merupakan proyek pertama dari periode dan menjadi pembangkit referensi yang mengacu Korean Standard Nuclear Power Plant (KSNP). Kemudian proyek standardisasi diluncurkan, dan K-SRED dan K-SSAR adalah luaran utama, diaplikasikan keberlanjutan R & D dan fitur desain yang meningkat.

Pada fase keempat, proyek YGN 5 & 6 dan UCN 5 & 6 dilakukan secara independen oleh Badan/Perusahaan Korea, sedangkan konsultasi dengan ABB-CE mulai berkurang banyak. Pengembangan reaktor generasi sng telah dimulai dengan baik.

Reaktor PHWR-CANDU dipertimbangkan sebagai tipe reaktor komplementer di Korea. Berdasar pengalaman desain PWR, suatu strategi yang agresif diletakkan dalam upaya pencapaian kemandirian dalam teknologi PHWR, agar secara sukses membawa tentang transfer teknologi, konsep *joint design* yang diadopsi bersamaan dengan OJT yang efektif, begitu pula transfer dokumen desain dan code komputer melalui kontrak transfer teknologi antara KAERI dan AECL. Untuk pengamanan suplai bahan bakar, Korea Selatan mempunyai kebijakan untuk menggunakan bahan bakar bekas dari PWR untuk digunakan di PLTN PHWR. Gambar 4 menunjukkan perbandingan antara bundel bahan bakar PHWR dan PWR.



Gambar 4. Perbandingan bundel bahan bakar PHWR dan PWR [14]

3. 5. Rekayasa Arsitektur

Teknologi program kemandirian untuk Architec and Engineering (A/E) ada dalam 3 fase, yaitu impor, lokalisasi, dan konsolidasi kemandirian. Selama fase pertama, teknologi yang terkait diimpor dari perusahaan yang telah berpengalaman dalam proyek PLTN. Bechtel menyiapkan pelayanan rekayasa dalam proyek rekayasa untuk Kori 3 & 4 dan YGN 1 & 2. Perusahaan Perancis seperti EdF, Framatome dan Alstom menyediakan pelayanan untuk UCN 1 & 2, dan perusahaan Kanada seperti AECL dan CANATOM menyediakan pelayanan untuk Wolsong 2, 3 & 4. KOPEC berpartisipasi sebagai subkontraktor dengan kontraktor A/E utama dari luar dalam desain dan rekayasa.

Untuk melokalisasi teknologi impor selama fase kedua, proyek YGN 3 & 4 juga merupakan wahana/sarana untuk kemandirian bagi KOPEC. KOPEC menandatangani kontrak transfer teknologi dengan S/L dan informasi teknik, yang mencakup dokumen dan program komputer ditransfer. Untuk rekayasa arsitektur dari YGN 3 & 4, S/L adalah desain final. Untuk menambah kemampuan teknik, KOPEC menggunakan konsultasi untuk transfer teknologi. Selama periode ini, sekitar 13 juta halaman dokumen teknik dan 300 code komputer telah ditransfer sedangkan 650 orang telah mendapat pelatihan, yaitu 550 orang pelatihan di kelas dan 100 orang pelatihan OJT.

Selama fase ini, KOPEC mencoba mengonsolidasikan kemandirian melalui penggunaan dan peningkatan teknologi yang ditransfer. Proyek untuk Korean Standard Nuclear Power Plants seperti UCN 3 & 4, YGN 5 & 6 dilaksanakan dengan peningkatan desain secara gradual.

3. 6. Standardisasi PLTN

Standardisasi PLTN berarti pembangkit yang dibangun merujuk kepada spesifikasi standar pembangkit yang sama dan tidak membangun dan mengembangkan PLTN jenis lainnya. Namun, teknologi baru harus diadopsi untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja.

Standardisasi PLTN di Korea diimplementasikan kedalam 4 fase. Pada fase pertama dari bulan April 1983 s/d Juli 1985 dikembangkan konsep standardisasi pendahuluan diformulasikan selama fase pertama. Untuk fase kedua dari September 1985 hingga Agustus 1987, standardisasi dikembangkan dengan mereview pengalaman konstruksi dan operasi, pengembangan teknologi maju, dan identifikasi item-item untuk pengembangan desain. Untuk fase ketiga dari Februari 1989 hingga April 1991. Pada fase ini dikarenakan proyek YGN 3 & 4 dilakukan dengan transfer teknologi, proyek YGN 3 & 4 digunakan sebagai referensi PLTN standar Korea (KSNP). Pada KSNP dikembangkan referensi YGN 3 & 4 dan memasukkan fitur desain maju yang terseleksi. Pada fase keempat dari April 1991 sampai 2006 merupakan periode konstruksi standar Korea dengan UCN 3 & 4 merupakan pembangkit yang dipilih. Pada periode ini akan dibangun beberapa unit yang mencakup YGN 5 & 6 dan UCN 5 & 6. Meskipun PLTN dengan desain KSNP akan dibangun berulang, desain akan ditingkatkan secara gradual dan reaktor generasi masa depan dengan kapasitas yang lebih tinggi sedang dikembangkan juga.

Untuk desain PLTN standar Korea ada empat faktor utama yang dipertimbangkan, yaitu: peningkatan keselamatan, peningkatan kinerja, penggunaan teknologi terbukti, dan kecelakaan parah.

Kemandirian teknologi skala tinggi tercapai melalui konstruksi Yonggwang (YGN) unit 3 & 4 dalam berbagai lapangan industri nuklir. Dewasa ini Korea mencapai kedewasaan dalam teknologi PLTN dan teknologi bahan bakar PLTN. Dewasa ini keseluruhan bahan bakar, sistem suplai uap nuklir, turbin, generator, bangunan sipil dan listrik, sepenuhnya dilakukan oleh perusahaan Korea Selatan sendiri. KHC (HANJUNG) berfungsi untuk membuat dan menyuplai mesin dan peralatan konstruksi industri berat, antara lain sebagai penyuplai utama untuk bagian sistem suplai uap nuklir (NSSS), turbin, dan generator untuk Yonggwang unit 3, 4 dan Ulchin unit 3, 4, begitu pula turbin dan generator untuk Wolsong 2, 3, 4. Perusahaan konstruksi domestik lainnya yang mengembangkan bidang rekayasa sipil, arsitektur, mekanik dan listrik. HDEC telah melaksanakan konstruksi sipil 7 unit PLTN, yaitu Kori unit 1-4, Yonggwang unit 1 & 2, dan Wolsong 1.

3. 7. PLTN jenis APR-1400

Dewasa ini APR 1400 dipakai sebagai model PLTN buatan Korea Selatan untuk diekspor. Dalam desain APR 1400 telah ditingkatkan kemampuan keselamatan dan peningkatan kapasitas dayanya, dan memperhatikan performance, waktu konstruksi, ekonomi.. APR 1400 didesain menggunakan teknologi model PLTN terdahulu yang sudah terbukti (proven technology). PLTN ini didesain dengan mengadopsi fitur desain maju didasarkan atas self-echnologies sebagaimana juga mengadopsi teknologi System 80+ yang disertifikasi oleh Nuclear Regulatory Commission. Korea Selatan mengembangkan APR1400 untuk memenuhi dokumen persyaratan pengguna Korea, KURD (*Korean Utility Requirement Document*). Umur hidup APR 1400 bisa bertambah menjadi 60 tahun., yang 20 tahun lebih lama dibandingkan OPR-1000.

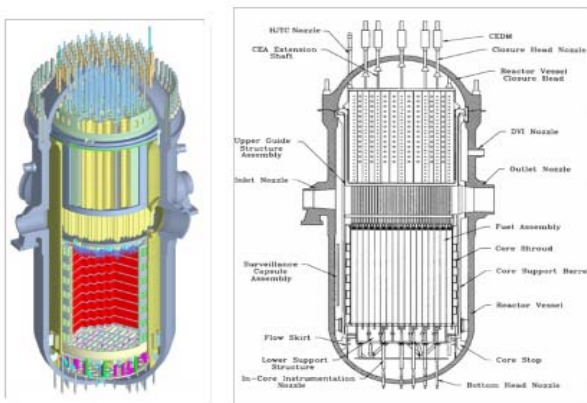
Reaktor jenis APR-1400 merupakan evolusi dari reaktor PWR (*Advanced Light Water Reactor*) yang didasarkan pada desain reaktor terdahulu yaitu desain OPR-1000. OPR-1000 merupakan reaktor Korea yang dikembangkan sebagai bagian integral dari program standardisasi yang dimulai tahun 1984. Di tangan Korea, reaktor APR-1400 ini menghasilkan daya listrik nominal gross 1455 MW dengan kapasitas daya termal sebesar 3983 MW (4000 MW nominal).

Desain dikembangkan untuk memenuhi 43 buah persyaratan desain, dengan pengembangan utama adalah pda peningkatan kapasitas, penambahan umur reaktor, dan peningkatan keselamatan. Pengembangan juga difokuskan pada sasaran ekonomi dan persyaratan lisensi. Peningkatan tersebut berupa: [15]

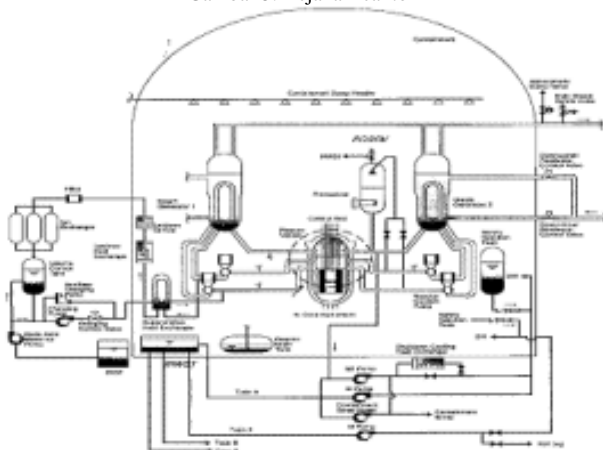
- a. Peningkatan daya listrik 1400 ME (meningkat 40%)
- b. Umur reaktor : 60 tahun (meningkat 50%)
- c. Basis Desain Seismik (Seismic Design Basis: 0.3g (meningkat 50%)

- d. Basis Frekuensi Kerusakan Teras (Core Damage Frequency): kurang dari 10^{-5} /tahun (10x berkurang)
- e. Perangkat bahan bakar : 241 buah (bertambah 36%)

Teras reaktor APR-1400 berisikan 241 buah perangkat bahan bakar, 93 buah perangkat kendali, dan 61 buah perangkat instrumentasi di dalam teras. Setiap perangkat bahan bakar mempunyai 236 buah yang tersusun dalam susunan 16 x 16 (beberapa diambil untuk tempat lokasi elemen kendali) mengandung UO₂ Uranium dioxide dengan pengkayaan 2,6 w/o yang dapat memproduksi rapat daya volumetrik sebesar 100.9 W/cm³. Sampai dengan 30% dari teras dapat juga dimuat dengan bahan bakar campuran dengan Mixed Oxide dengan sedikit modifikasi minor. Teras didesain untuk siklus pengoperasian 18 bulan dengan burnup sampai 60,000 MWD/MTU, dengan margin termal sebesar 10% Untuk perangkat kendali, sebanyak 76 buah batang pelet Boron carbide digunakan sebagai batang kendali kekuatan 17 buah batang Inconel-625 digunakan untuk kendali kekuatan tidak penuh. Gambar 5 menunjukkan bejana reaktor dengan perangkat bahan bakar dan perangkat kendali dan Gambar 6 adalah skema diagram APR-1400.



Gambar 5. Bejana Reaktor



Gambar 6. Diagram Skema APR-1400

3. 8. Pembelajaran untuk meningkatkan kebutuhan listrik di Indonesia

Indonesia sebagai anggota IAEA telah sejak lama membangun kerjasama dengan negara lain dalam melakukan penelitian dan pemanfaatan teknologi nuklir maupun transfer teknologi nuklir. Selain dari IAEA, Indonesia juga membangun kerjasama dengan Amerika Serikat, Kanada, Jerman, Perancis, Jepang, Korea Selatan, Rusia. Begitu pula dengan bahan bakar uranium cadangannya di dunia melimpah, dan akses pengembangan bahan bakar tidak terlalu sulit. Berdasarkan hal di atas dan berbagai kajian tentang perencanaan energi masa depan, disimpulkan bahwa PLTN merupakan salah satu opsi dalam mengantisipasi permintaan energi masa depan yang bersih dan berkelanjutan. Keputusan untuk segera membangun PLTN di Indonesia seharusnya segera dilaksanakan, agar krisis energi di Indonesia dapat teratasi.

Dari pengalaman pembangunan PLTN di Korea Selatan terlihat industri nasional ikut berkembang. Pembangunan PLTN pertama dilakukan dengan sistem proyek *turn-key*, dewasa ini mereka sudah dapat membangun PLTN dengan kemampuan sendiri. Bagi Indonesia pembangunan PLTN bisa menjadi pemicu pengembangan industri nasional, asalkan keputusan untuk membangun PLTN pertama di Indonesia direncanakan dengan baik. Kesalahan dalam pemilihan jenis PLTN yang akan dibangun tentu tidak akan memberikan banyak manfaat bagi peningkatan kesejahteraan masyarakat, karena selalu akan tergantung terus dengan pihak pemasok PLTN. Selain itu tantangan yang dihadapi bagaimana menyiasati negara industri/vendor agar bersedia mentransfer teknologi nuklirnya ke Indonesia.[16]

Dari bahasan terlihat bahwa kesuksesan pelaksanaan program PLTN di Korea Selatan adalah dipicu oleh komitmen bersama dari semua pihak untuk menyukseskan program PLTN. Mereka menyadari betapa pentingnya sumber energi bagi pembangunan negara. Program untuk mencapai kemandirian telah dirancang sejak awal melalui program alih teknologi dan *joint design*. Pelajaran yang dapat dipetik bagi Indonesia adalah diperlukannya komitmen nasional terhadap pentingnya pembangunan PLTN bagi Indonesia. Harus diupayakan sinergi antara instansi yang terkait dengan pembangunan PLTN. Patut disadari bahwa pengembangan bidang nuklir merupakan program jangka panjang dan berkelanjutan, sehingga pembangunan PLTN harus direncanakan dengan sebaik-baiknya dengan melibatkan semua instansi yang terkait. Perlu dibangun kebersamaan antar organisasi dan instansi baik pemerintah maupun swasta, untuk bersama-sama mendiskusikan pembangunan negara pada umumnya dan pembangunan PLTN pada khususnya, secara arif, terbuka, serta melihat wawasan masa depan demi untuk tercapainya kesejahteraan masyarakat dan negara. Semua pihak perlu bergandeng tangan, berat sama dipikul, ringan sama dijinjing dalam melaksanakan rencana mencukupkan energi bagi keperluan masyarakat dan industri.

Perencanaan dan tahapan pembangunan PLTN perlu direncanakan dan disiapkan secara matang dan sungguh-sungguh, dan memerlukan pula kehendak politik yang kuat

dan didukung oleh semua lapisan masyarakat. Pembangunan PLTN pertama apakah secara *turn key project* ataupun *build operation and transfer* (BOT) tidak menjadi masalah. Yang penting untuk pembangunan PLTN ke-2 dan ke-3 dan seterusnya partisipasi nasional dalam pembangunan semakin meningkat, dan diharapkan pada suatu saat Indonesia tidak lagi tergantung dari negara luar.

IV. Kesimpulan

Kemandirian dalam teknologi PLTN di Republik Korea dapat dicapai melalui kebijakan yang dikembangkan dengan baik dan program yang telah ditetapkan benar-benar diimplementasikan. Dari pengalaman Korea dapat diketahui faktor kunci untuk kemandirian teknologi adalah :

1. Pengembangan rencana nasional jangka panjang untuk mencapai kemandirian teknologi PLTN
2. Dalam kontrak pembangkit nuklir dilakukan pula bersamaan dengan program transfer teknologi, dan
3. Pengembangan rencana standarisasi PLTN.

Konsideran pertama yang harus dilakukan adalah pengembangan rencana jangka panjang untuk kemandirian teknologi. sangat penting untuk menyusun suatu *master plan* yang menyatukan semua industri nuklir yang terkait dengan proyek termasuk *utility*. *Master plan* harus mencakup jenis kontrak, *workshop*, transfer teknologi yang mempertimbangkan peningkatan kemampuan SDM, kemampuan kinerja pekerjaan, dan fasilitas yang tersedia dari industri nuklir yang terkait.

Konsideran kedua harus menjadi refleksi orientasi kebijakan ke arah kemandirian teknologi dari tingkat awal kontrak. Ini berarti bahwa undangan penawaran atau spesifikasi penawaran (*bid specification*) berisi permintaan kepada *vendor* untuk juga menyerahkan program transfer teknologi yang rinci. Harus dipertimbangkan metode/cara untuk mendapatkan lisensi dari teknologi yang terkait melalui kontrak transfer teknologi.

Teknologi nuklir mencakup jangkauan yang luas, sehingga sangat sulit untuk mencapai kemandirian teknologi dalam semua bidang teknologi nuklir dalam waktu yang pendek. Oleh karenanya penting untuk menyusun prioritas bidang-bidang teknologi nuklir tertentu yang harus dikembangkan. Direkomendasikan bahwa negara sedang berkembang sebaiknya melakukan *joint work*, pelatihan dan teknik serta *code komputer* melalui persetujuan transfer teknologi. Untuk meningkatkan kemampuan teknologi dari industri domestik yang tumbuh melalui transfer teknologi dan *joint work*, harus diikuti dengan kajian sendiri (pengulangan desain dan desain *mock up*) dan R & D. Dengan pemilihan satu jenis PLTN, dapat ditetapkan standarisasi PLTN sehingga lebih mudah memfasilitasi kemandirian dalam teknologi PLTN. Pembangunan PLTN dapat memacu perkembangan industri nasional, karena berbagai macam industri dan partisipasi domestik dapat terlibat dalam pembangunan PLTN. Pembangunan PLTN di Korea Selatan dapat dijadikan

contoh dalam pengembangan program pembangunan PLTN di Indonesia.

Kepustakaan

1. Anonymous, Nuclear Technology Review 2008, IAEA, Vienna, (2008).
2. Anonymous, Nuclear Technology Review 2007, IAEA, Vienna, (2007) "Public Acceptance and Participation in Decision Making"
3. Anonymous, Nuclear Technology Review 20016, IAEA, Vienna, (2007) "Public Acceptance and Participation in Decision Making".
4. Anonymous, Nuclear Power Resctor in the World2016, IAEA, Vienna, (2017).
5. AVAILABLE : <http://www.kntc.re.kr>. "Republic of Korea"
6. Se Young Jan, *The Development of South Korea's Nuclear Energy Industry in a Resource and Capital Scarce Environment*, Pierre Du Bois Conference 2014h A4.
7. AVAILABLE: <http://www.pub.iaea.org/MTCD/publication/PDF/cnpp2004/CNPP-Webpage/countryprofiles/Korea/04/11/2008>. "Indonesia"
8. AVAILABLE: <http://localhost/D:/PDFNPP/Indonesia.htm> /04/14/2008.
9. Anonymous, Korea, (1994)
10. <http://www.world-nuclear.org/information/library/country-profiles/countries-g-n/indonesia>
11. Anonymous, 1996 *Nuclear Annual Review*, Korea Electric Power Corporation, Seoul, (1998).
12. Anonymous, *Nuclear Power Plant*, Doosan Heavy Industries & Construction, Seoul.
13. Anonymous, S, *KOPEC*, Korea Power Engineering Company, Inc, Seoul, (2004).
14. Shalaby, B.A., *CANDU Technology for Generation III+ and IV Reactors*, WIN Global Conference, Waterloo, Ont, June (2006).
15. http://repository.uksw.edu/bitstream/123456789/1400/2/xTi_Daftar.pdf.
16. http://jurnal.sttn-batan.ac.id/wp-content/uploads/2010/03/A-15_ok.pdf.

Pengaruh *Starter* Ragi dalam Proses Pembentukan Biogas Limbah Buah

Delvis Agusman, Rifky, Ario Kilat Buono

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA, Jakarta
Jl. Tanah Merdeka no. 6 Pasar Rebo Jakarta Timur
Telp. +62-21-87782739, Fax. +62-2187782739, Mobile +6281282310755, +6289606764063
E-mail: delvis.agusman@uhamka.ac.id
* Penulis Koresponden

Abstrak – Pemanfaatan limbah buah-buahan sebagai bahanbaku yang menggunakan ragi dan tidak menggunakan ragi dengan kapasitas 15 kg dan proses fermentasi selama 21 hari dilakukan 5 tahap pengujian dan 2 tahap pengujian menggunakan gas analyzer untuk mengetahui hasil proses fermentasi. Selama 5 tahap pengujian hanya 2 tahap pengujian saja yang menggunakan manometer U untuk melihat tekanan dari proses fermentasi dengan melihat ketinggian air. Pengujian pertama gas analyzer yang menggunakan ragi hasil dari karbon di oksida (CO_2) 65,7 % dan gas metan (CH_4) 7,2 %, sedangkan pada pengujian kedua yang tidak menggunakan ragi hasil dari karbon dioksida (CO_2) 76,3 % dan gas metan (CH_4) 9,9 %. Kandungan karbon dioksida (CO_2) yang terlalu tinggi tidak mengakibatkan gas buang yang dihasilkan dari proses fermentasi buah-buahan tidak dapat melakukan proses pembakaran.

Kata kunci: Biogas, CO_2 , Limbah buah-buahan.

1 Pendahuluan

Energi alternatif yang berpotensi untuk dikembangkan, adalah energi biogas. Teknologi biogas merupakan salah satu teknik tepat guna untuk mengolah limbah untuk menghasilkan energi yang memanfaatkan mikroorganisme yang tersedia di alam untuk merombak dan mengolah berbagai limbah organik yang ditempatkan pada ruang kedap udara (Sri Wahyuni, 2013). Kandungan *metana* dalam biogas merupakan komponen yang dapat menjadi bahan bakar alternatif sebagai sumber energi pengganti bahan bakar fosil. Sedangkan, komponen-komponen lain seperti CO_2 dan N_2 merupakan zat pengotor (*impurities*) yang memiliki sifat yang merugikan. Kompleksitas kandungan biogas, membuat penggunaan bahan bakar alternatif ini sebagai pengganti bakar fosil pada mesin-mesin konversi energi masih memerlukan kajian yang lebih mendalam. Terutama, bagaimana pengaruh zat-zat pengotor terutama CO_2 terhadap karakteristik pembakaran biogas.

Penelitian ini untuk mengetahui jumlah gas-gas yang dihasilkan dari biogas dengan bahanbaku limbah buah-buahan yang difermentasi dengan dan tanpa menambahkan ragi sebagai pemercepat proses.

2 Landasan Teori

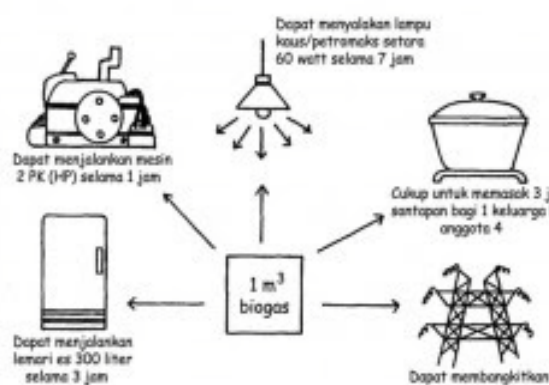
2.1 Biogas

Biogas adalah campuran gas yang dihasilkan oleh bakteri metaogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik.

Tabel 1 Komposisi gas terdapat dalam biogas

Jenis Gas	Jumlah (%)		
Metana (CH_4)	50,0	-	70,0
Nitrogen (N_2)	0	-	0,3
Karbon Dioksida (CO_2)	25,0	-	45,0
Hidrogen (H_2)	1,0	-	5,0
Oksigen (O_2)	0,1	-	0,5
Hidrogen Sulfida (H_2S)	0	-	3,0

Biogas juga dapat digunakan dalam berbagai keperluan seperti memasak, penerangan, pompa air, boiler dan sebagainya. Penggunaan gas metana untuk berbagai aplikasi dapat dilihat pada Gambar 1.



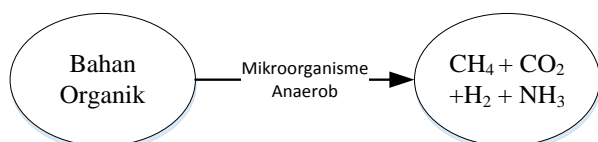
Gambar 1. Penggunaan biogas untuk berbagai aplikasi (Sumber: Riska Pratiwi, 2011)

2. 2 Sifat Fisik Biogas

Biogas adalah hasil fermentasi secara anaerobik. Fermentasi anaerob merupakan proses perombakan suatu bahan menjadi bahan lain dengan bantuan mikroorganisme tertentu dalam keadaan tidak berhubungan langsung dengan udara bebas (anaerob). Bahan utama dari gas bio ini adalah metan (CH_4) yang mencakup 60% - 70%, dengan sisa berupa CO_2 , H_2S dan gas lain (N_2 , H_2).

2.3 Proses Pembentukan Biogas

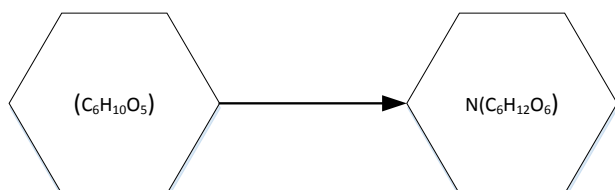
Biogas secara karakteristik fisik merupakan gas. Karena itu, proses pembentukannya membutuhkan ruangan dalam kondisi kedap atau tertutup agar stabil. Pada prinsipnya biogas terbentuk melalui beberapa proses yang berlangsung dalam ruang tanpa oksigen (anaerob). Proses yang berlangsung secara anaerob dalam tempat tertutup ini juga memberikan keuntungan secara ekologi karena tidak menimbulkan bau yang menyebar kemana-mana.



Gambar 2. Mekanisme pembentukan biogas secara umum

2.3.1 Hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis di antaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO_2 dan senyawa Hidrokarbon lainnya.



Gambar 3. Reaksi fermentasi biogas

2.3.2 Pengasaman (Asidifikasi)

Senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya, yaitu pengasaman atau asidifikasi. Pada tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam oraganik seperti asam asetat, asam propionate, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO_2 , hidrogen, dan zat ammonia

2.3.3 Metanogenesis

Bakteri metnogen seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, dan *methano bacterium* akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadi gas metan, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. Berikut reaksi perombakan yang dapat pada tahap metanogenesis.

2.4 Bahan Baku Biogas

Buah memiliki kadar air tinggi dan menawarkan bermacam-macam rasa, aroma warna dan tekstur. Buah biasanya rendah kalori (kecuali alpukat) dan adalah sumber serat dan vitamin yang sangat baik. Keberadaan selulosa, pektin dan beberapa asam organik. Kandungan kimia didalam buah antara lain:

1. Buah segar mengandung 75% - 95% air.
2. Secara umum, buah memiliki pH 2,5 - 4,5.
3. Asam di dalam buah: asam sitrat, asam asetat, asam tartrat.
4. Buah memiliki karbohidrat (terutama serat) yang tinggi dengan rentang berkisar antara 2% - 40% tergantung jenis dan kematangan.
5. Persentase karbohidrat terbesar adalah serat yang tidak tercerna dan membantu pengeluaran feses.
6. Protein dalam buah relatif kecil sekitar atau kurang dari 1%
7. Lemak juga sedikit kecuali alpukat dan olive (zaitun) yang mengandung sampai 20% minyak.

2.5 Parameter Proses Pembuatan Biogas

Berikut faktor dalam (*digester*) dan faktor luar yang dapat mempengaruhi pembuatan biogas.

2.5.1 Jenis bahan organik (substrat)

Jenis bahan organik yang digunakan dapat berpengaruh terhadap lama waktu fermentasi oleh bakteri. Pasalnya, masing-masing jenis bahan organik memiliki total padatan yang berbeda, sehingga proses pembusukan material padatan pun akan berbeda. Secara umum, urutan kandungan bahan organik berdasarkan lamanya waktu penguraian yaitu gula, protein, lemak, hemiselulosa, dan lignin. Bahan organik berupa limbah pertanian yang banyak mengandung *selulosa* dan *lignin* biasanya lebih lama diuraikan dibandingkan dengan limbah kotoran ternak. Karena itu, bahan organik berupa kotoran ternak harus dicampur dengan rumput kering atau limbah pertanian agar proses fermentasi dapat berlangsung optimal.

2.5.2 Derajat kemasaman (pH)

Derajat kemasaman pada saat proses fermentasi akan mengalami penurunan menjadi 6 atau lebih rendah akibat terbentuknya asam organik. Padahal, kehidupan mikroorganisme selama proses fermentasi akan efektif dengan pH 6,5 - 7,5.

2.5.3 Imbangan Carbon/Nitrogen

Aktivitas mikroorganisme yang berperan selama proses fermentasi sangat bergantung pada imbangan C/N. Mikroorganisme perombak dapat beraktivitas secara optimum jika imbangan C/N sebesar 25 - 30. Imbangan C/N tinggi pada bahan organik akan menyebabkan produksi metan yang rendah.

2.5.4 Suhu

Aktivitas bakteri penghasil biogas juga sangat dipengaruhi oleh suhu di dalam alat penghasil biogas. Perubahan suhu yang mendadak dalam alat penghasil biogas dapat mengakibatkan penurunan produksi gas secara cepat. Suhu ideal untuk produksi biogas adalah 32°C - 37°C. Suhu diatas 37°C dapat menyebabkan alat penghasil biogas rentan mengalami kerusakan, sedangkan suhu dibawah 32°C akan menghambat proses fermentasi.

2.5.5 Pengadukan

Pengadukan bertujuan untuk membuat bahan baku pembuatan biogas bersifat homogen. Pengadukan dilakukan sebelum dimasukkan di dalam digester dan setelah di dalam digester.

2.5.6 Starter

Proses penguraian dipercepat dengan menambahkan starter berupa bakteri mikroorganisme perombak. Starter yang digunakan dapat berupa starter alami, semi buatan dan buatan.

2.6 Ragi

Ragi adalah suatu macam tumbuh-tumbuhan bersel satu yang tergolong kedalam keluarga cendawan. Ragi (*yeast*) merupakan fungi yang tidak mempunyai kemampuan membentuk miselium dan pada tahap tertentu dalam siklus kehidupannya berbentuk sel-sel tunggal yang bereproduksi dengan buah (*budding*) atau pemecahan (*fission*). Sebagian besar ragi berasal dari mikroba jenis *Saccharomyces Cerevisiae*. Ragi merupakan suatu bahan yang produksi gas karbondioksida (CO₂).

2.7 Massa Jenis

Massa jenis adalah pengukuran [massa](#) setiap satuan [volume](#) benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda merupakan total massa dibagi dengan total volumenya. Satuan [SI](#) massa jenis adalah (kg/m³). Massa jenis berfungsi untuk menentukan zat.

Secara matematis ditulis:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

2.8 Tekanan Hidrostatik

Fluida yang berada dalam suatu wadah memiliki berat akibat pengaruh gravitasi bumi. Berat fluida menimbulkan tekanan pada setiap bidang permukaan yang bersinggungan dengannya. Pada dasarnya fluida selalu memberikan tekanan pada setiap bidang yang bersentuhan dengannya. Besarnya tekanan bergantung pada besarnya gaya dan luas bidang tempat gaya bekerja. Secara sistematis tekanan dirumuskan sebagai berikut.

$$\rho = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Karena dalam keadaan statik, air hanya melakukan gaya berat sebagai akibat gaya gravitasi bumi, maka

$$\rho = \frac{mg}{A} \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan massa jenis diperoleh

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = \rho V \quad (4)$$

Maka :

$$P = \rho h g \quad (5)$$

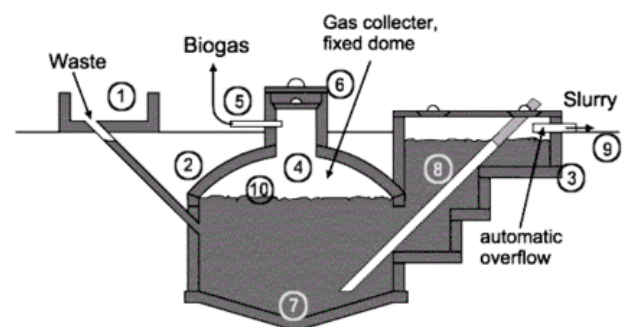
Berdasarkan rumus tekanan hidrostatik di atas, diketahui bahwa tekanan hidrostatik bergantung pada massa jenis zat cair, ketiinggian atau kedalaman zat cair, serta percepatan gravitasi bumi

2.9 Tipe Digester Biogas

Terdapat empat jenis digester yang biasa digunakan dilihat dari sisi konstruksinya, yaitu *fixed dome*, *floating drum*, tipe *ballon*, dan tipe *fiberglass* (Sri Wahyuni, 2013)

2.9.1 Fixed Dome

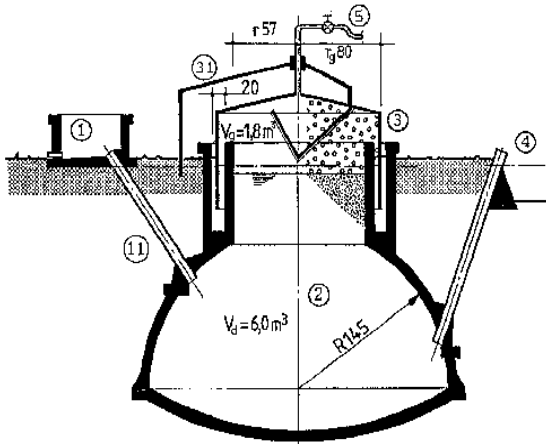
Digester *fixed dome* mewakili konstruksi reaktor yang memiliki volume tetap sehingga produksi gas akan meningkatkan tekanan di dalam reaktor. Bangunan digester *fixed dome* biasanya terletak di bawah tanah, sehingga dapat terhindar dari kerusakan fisik.



Gambar 4. Digester Fixed Dome (Sumber TBW)

2.9.2 Floating Drum

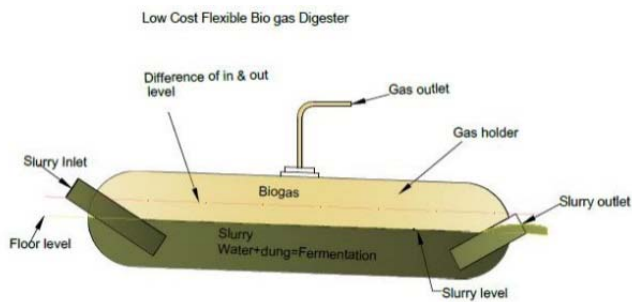
Pada *floating drum* terdapat bagian pada konstruksi reaktor yang bisa bergerak untuk menyesuaikan dengan kenaikan tekanan reaktor. Pergerakan bagian reaktor tersebut menjadi tanda telah dimulainya produksi gas di dalam reaktor biogas.



Gambar 5. Digester tipe floating drum (sasse 1984)

2.9.3 Tipe Balon

Reaktor balon merupakan jenis reaktor yang banyak digunakan pada skala rumah tangga yang menggunakan bahan plastik sehingga lebih efisien dalam penanganan dan perubahan tempat biogas.



Gambar 6. Digester tipe balon

3 Metodologi Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dimulai dari bulan Februari 2016 sampai dengan bulan Juli 2016 di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA.

4 Temuan dan Pembahasan

4.1 Temuan Penelitian

Penelitian ini menggunakan limbah buah-buahan dengan penambahan ragi sebagai starter sebagai bahan baku pembentukan gas yang di hasilkan dari digester selama proses fermentasi 21 hari. Dengan mengamati tekanan yang dihasilkan dan melihat hasil dari pengujian limbah buah-buahan yang menggunakan starter dan tanpa starter.

4.2 Tekanan Gas

Tekanan gas pada penelitian ini hanya indikator untuk mengetahui gas yang dihasilkan pada digester selama proses fermentasi selama 21 hari ada atau tidak. Pada pengujian pertama dan pengujian kedua, pengukuran tekanannya menggunakan regulator gas yang terdapat *pressure gauge*, tetapi tekanan yang dihasilkan tidak ada perubahan dan masih menunjukkan angka 0 pada regulator gas.

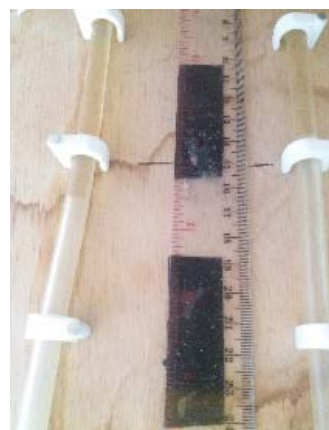


Gambar 8. Pengujian 1 menunjukkan angka 0 pada regulator gas (tanggal 18-23 Maret 2016)



Gambar 9. Pengujian 2 menunjukkan angka 0 pada regulator gas (tanggal 28 maret 2016 - 10 April 2016)

Pengujian ketiga dan keempat mengukur tekanan gas diukur dengan menggunakan manometer U yang telah diisi dengan air yang dihubungkan pada selang plastik. Besarnya tekanan gas diketahui dengan melihat besarnya kenaikan air pada manometer.



Gambar 10. Pengujian 3 menunjukkan kenaikan air setinggi 2cm pada manometer U (26 April 2016)

Pengujian keempat dilakukan sama seperti pengujian ketiga, dengan melihat ketinggian air pada manometer U dengan memasukkan raw material sebesar 15 kg. Tekanan yang dihasilkan pada pengujian keempat pada hari pertama

dan hari kedua memiliki ketinggian yang melewati batas manometer U.

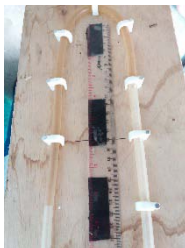


Gambar 11. Pengujian 4 menunjukkan kenaikan air pada manometer U (21-22 Mei 2016)

Tekanan pada hari ketiga mengalami penurunan tekanan yang ditunjukkan pada manometer U setinggi 2cm, sedangkan hari keempat mengalami kenaikan tekanan setinggi 5 cm.



Gambar 12. Penurunan tekanan setinggi 2cm pada manometer U (23 Mei 2016)



Gambar 13. Kenaikan tekanan sampai 5 cm pada manometer U (24 Mei 2016)

Tekanan pada hari kelima menunjukkan penurunan tekanan setinggi 2 cm pada manometer U, dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 14. Penurunan tekanan setinggi 2cm pada manometer U (24 Mei 2016)

4.3 Hasil Pengukuran Tekanan Gas dan Kecepatan Debit Gas

Pengukuran tekanan gas dilakukan selama 21 hari dengan melakukan pengujian sebanyak kali. Pengujian yang menggunakan ragi dan tidak menggunakan ragi pengukuran tekanan menggunakan manometer air sederhana dengan melihat ketinggian air yang di tunjukkan pada manometer

tersebut. Tekanan yang dihasilkan dari manometer U dengan melihat ketinggian air dengan satuan (cm) dikonversikan menjadi satuan tekanan (Psi).

$$\begin{aligned} \text{Dik: } \rho &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\ h &= 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m} \\ g &= 9,8 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Penyelesaian: } P = \rho h g = 1000 \cdot 0,02 \cdot 9,8 = 196 \text{ N/m}^2$$

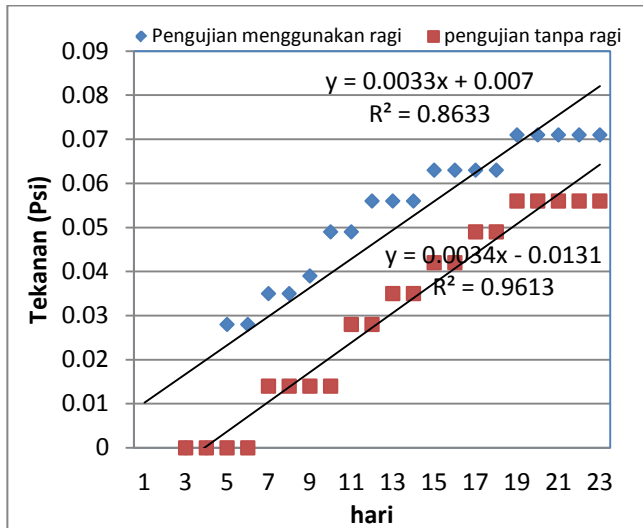
Hasil yang sudah di dapat dikonversikan menjadi (Psi) yaitu menjadi 0,028 Psi dan hasil jumlah tekanan biogas yang tanpa ragi dan dengan menggunakan ragi.

$$\Sigma = \frac{P_{\text{Tragi}}}{P_{\text{ragi}}} = \frac{0,014}{0,035} = 0,4$$

Tabel 2. Pengukuran Tekanan

HARI	Pengujian menggunakan ragi		Pengujian Tidak menggunakan ragi		$\Sigma = \frac{\rho \cdot h \cdot g}{\rho \cdot h \cdot g}$
	cm	Psi	cm	Psi	%
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	2,0	0,028	0	0	0
4	2,0	0,028	0	0	0
5	2,5	0,035	1,0	0,014	0,4
6	2,5	0,035	1,0	0,014	0,4
7	2,8	0,039	1,0	0,014	0,36
8	3,5	0,049	1,0	0,014	0,29
9	3,5	0,049	2,0	0,028	0,57
10	4,0	0,056	2,0	0,028	0,50
11	4,0	0,056	2,5	0,035	0,63
12	4,0	0,056	2,5	0,035	0,63
13	4,5	0,063	3,0	0,042	0,67
14	4,5	0,063	3,0	0,042	0,67
15	4,5	0,063	3,5	0,049	0,78
16	4,5	0,063	3,5	0,049	0,78
17	5,0	0,071	4,0	0,056	0,79
18	5,0	0,071	4,0	0,056	0,79
19	5,0	0,071	4,0	0,056	0,79
20	5,0	0,071	4,0	0,056	0,79
21	5,0	0,071	4,0	0,056	0,79
Σ					10,62
Rata-Rata					0,62 = 62%

Perhitungan jumlah tekanan yang dihasilkan didapat dengan menghitung seluruh jumlah tekanan biogas yang menggunakan ragi dan tanpa ragi. Jumlah yang didapat dari keseluruhan tekanan adalah 62 %.



Gambar 15 Grafik pengukuran tekanan

Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan ragi sebagai starter dilakukan sampai 21 hari, pada pengujian ini gas mulai terlihat pada hari ketiga tekanan sebesar 0,028 Psi dan tekanan tertinggi yang dihasilkan pada pengujian dengan ragi mencapai 0,071 Psi, tekanan yang dihasilkan naik secara kontinyu sampai hari ke 21 hari. Pengujian yang tanpa ragi, pada pengujian ini gas yang dihasilkan pada pengujian ini terlihat pada hari kelima tekanan mencapai 0,014 Psi, tekanan yang tertinggi pada pengujian tanpa ragi adalah 0,056 psi, pengujian yang dilakukan mengalami kenaikan setiap harinya. Tekanan biogas yang menggunakan ragi lebih tinggi 62 % dari pada tekanan biogas tanpa ragi.

Laju kecepatan debit gas dari hasil pembentukan biogas selama 21 hari yang menggunakan ragi dan tanpa ragi dijelaskan pada perhitungan sebagai berikut:
 Pada perhitungan debit gas diketahui jari pada digester (r) 5,38 cm dan tinggi (t) pada digester 49 cm. volume limbah buah $\frac{3}{4}$ dari digester, sedangkan ruang tersedia untuk volume ruang tekanan adalah $\frac{1}{4}$ dari digester.
 $t = 49 \cdot \frac{1}{4} = 12,25$ cm

$$\begin{aligned}\text{Luas alas digester} &= \pi r^2 \\ &= 3,14 \cdot 5,38 \\ &= 90,88 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume digester} &= \text{Luas alas} \cdot \text{tinggi} \\ &= 90,88 \cdot 12,25 \\ &= 1113,28 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Tekanan awal menggunakan ragi adalah $P_1 = 0,028$ Psi dan tekanan akhir $P_2 = 0,071$ Psi, sedangkan yang tanpa ragi $P_1 = 0,014$ dan $P_2 = 0,056$

Kecepatan debit gas yang menggunakan ragi.

$$\begin{aligned}V_2 &= \frac{P_2 \cdot V_1}{P_1} = \frac{0,071 \cdot 1113,28}{0,028} = 2.822,96 \text{ cm}^3 \\ v &= \frac{V_2}{21} = \frac{2.822,96}{21} = 134,4 \text{ cm}^3/\text{s}\end{aligned}$$

$$= 1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

Kecepatan debit gas yang tanpa ragi.

$$\begin{aligned}V_2 &= \frac{P_2 \cdot V_1}{P_1} = \frac{0,056 \cdot 1113,28}{0,014} \\ &= 3.667,27 \text{ cm}^3 \\ v &= \frac{V_2}{21} = \frac{3.667,27}{21} = 174,63 \text{ cm}^3/\text{d} \\ &= 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}\end{aligned}$$

Pada perhitungan diatas V_2 merupakan volume digester yang sudah terdapat tekanan gas yang dihasilkan selama proses fermentasi. V_2 di dapat dengan menghitung tekanan dan volume awal digester. Dari hasil yang di dapat debit gas yang tanpa ragi lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan ragi.

4.4 Pengujian Komposisi dengan Gas Analyzer

Prosedur pengujian ini adalah dengan cara memasang selang dari Gas Analyzer yang dihubungkan ke *output* (saluran keluar gas) dari digester.



Gambar 16 Pengujian Menggunakan Gas Analyzer

4.4.1 Hasil Komposisi Biogas Dengan Ragi

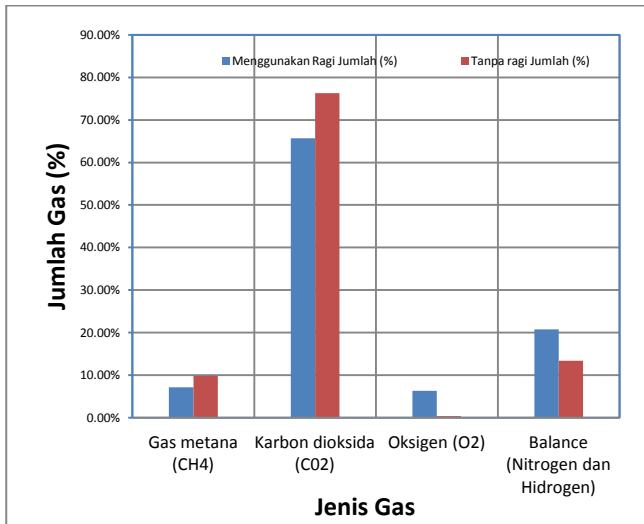
Tabel 3. Hasil komposisi biogas dengan ragi

Jenis Gas	Jumlah (%)
Gas metana (CH ₄)	7,2
Karbon dioksida (CO ₂)	65,7
Oksigen (O ₂)	6,3
Balance (Nitrogen dan Hidrogen)	20,8

4.4.2 Hasil Komposisi Biogas Tanpa Ragi

Tabel 4. Hasil komposisi biogas tanpa ragi

Jenis Gas	Jumlah (%)
Gas metana (CH ₄)	9,9
Karbon dioksida (CO ₂)	76,3
Oksigen (O ₂)	0,4
Balance (Nitrogen dan Hidrogen)	13,4



Gambar 17. Hasil Jumlah Komposisi Biogas

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat perbandingan jumlah hasil komposisi biogas yang menggunakan ragi dan tanpa ragi. Jumlah komposisi biogas yang menggunakan ragi memiliki jumlah gas metan (CH₄) 7,2 % dan karbon dioksida (CO₂) 65,7 %, sedangkan yang tanpa ragi gas metan (CH₄) 9,9 % dan karbon dioksida (CO₂) 76,3 %. Perbandingan jumlah komposisi biogas yang menggunakan ragi dan tanpa ragi memiliki perbandingan yang signifikan. Pada pengujian ini proses anaerob terlihat pada biogas yang tidak menggunakan ragi dengan hasil oksiges (O₂) yaitu 0,4 %.

Hal ini dapat diketahui starter yang digunakan sangat berpengaruh pada jumlah produksi biogas yang dihasilkan. Starter yang digunakan mengandung bakteri *saccharomyces cerevisiae* yang merupakan genus khamir atau ragi yang mengubah glukosa menjadi alkohol dan CO₂, sehingga kandungan karbon dioksida lebih tinggi dibandingkan gas metan yang dihasilkan selama proses fermentasi.

5 Kesimpulan

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Tekanan biogas yang menggunakan ragi lebih tinggi 62 % dari pada tekanan biogas tanpa ragi, akibat produksi CO₂ yang meningkat dan kecepatan debit gas yang menggunakan ragi $1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ dan kecepatan debit gas yang tidak menggunakan ragi $2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ maka kecepatan debit gas yang tidak menggunakan ragi lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan ragi.
2. Hasil dari proses fermentasi biogas selama 21 hari yang menggunakan starter jumlah gas metan (CH₄) 7,2 % dan karbon dioksida (CO₂) 65,7 %, sedangkan yang tidak menggunakan starter jumlah gas metan (CH₄) 9,9 % dan karbon dioksida (CO₂) 76,3 %, sehingga gas yang dihasilkan mengakibatkan tidak dapat terbakar.

5.2 Saran

Penelitian pengaruh ragi dalam proses pembentukan biogas dengan limbah buah dengan memperpanjang waktu fermentasi sehingga menghasilkan gas metan yang lebih banyak yang mampu melakukan proses pembakaran. Selanjutnya dimanfaatkan juga tekanan biogas hasil fermentasi dengan menggunakan ragi yang 62 % lebih besar dibandingkan tanpa ragi.

Kepustakaan

- [1]. Wahyuni, SE, MP, Sri, 2013. Panduan Praktis BIOGAS, Bogor. Penerbit: Penebar Swadaya.
- [2]. Wahyuni, SE, MP, Sri, 2013. *Biogas Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas, dan Listrik*, Bogor. Penerbit: Agro Media.
- [3]. Handoyo M.Eng, Dr. Ir, dkk, 2014. *Panduan Praktis Membuat Biogas Portable Skala Rumah Tangga dan Industri*, Bandar Lampung. Penerbit: ANDI
- [4]. Bayuseno, Athanasius P, 2009, "Penerapan Dan Pengujian Model Teknologi Anaerob Digester Untuk Pengolahan Sampah Buah-Buahan Dari Pasar Tradisional", Semarang, Program Magister Teknik Mesin, Program Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro.
- [5]. Judoamidjojo, R. Muljono, Sa'id, E. Gumbira, Hartoto, Liesbetini, 1989, *Biokonversi*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Pusat Antar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor.
- [6]. Yenni, Dewilda, Yommi, Mutia sari, Serly, 2012, "Uji Pembentukan Dari Substrat Sampah Sayur Dan Buah Dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi", Jurnal Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Andalas
- [7]. Nur Sasongko, Mega, 2014, "Pengaruh Prosentase CO₂ Terhadap Karakteristik Pembakaran Difusi Biogas", Jurusan Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- [8]. Yuliani, Cici, Nugrahini, Panca, 2014, "Pengolahan Sampah Organik (Buah - Buahan) Pasar Tugu Menjadi Biogas Dengan Menggunakan Starter Kotoran Sapi Dan Pengaruh Penambahan Urea Secara Anaerobik Pada Reaktor Batch", Bandar Lampung, Jurnal Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Lampung.
- [9]. Wawang Armansyah, [\(http://www.rumuskimia.net/2015/12/rumus-kimia-metana.html#\)](http://www.rumuskimia.net/2015/12/rumus-kimia-metana.html#) (17 September 2016)
- [10]. Elizabeth Wina, 1999, "Pemanfaatan Ragi (Yeast) Sebagai Pakan Imbuhan Untuk Meningkatkan Produktivitas Ternak Ruminansia", Balai Penelitian Ternak, Bogor
- [11]. Karlina Simbolon, 2008, "Pengaruh Presentase Ragi Tape Dan Lama Fermentasi terhadap Mutu Tape Ubi jalar", Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatra Utara.
- [12]. <http://library.binus.ac.id/eColls/eThesisdoc/Bab2/2012-2-00812HM%20Bab2001.pdf>, Landasan Teori Ragi (08 November 2016)
- [13]. Darimiyya Hidayati, dkk, 2013, "Pola Pertumbuhan Ragi Tape Pada Fermentasi Kulit Singkong", Teknologi Industri Pertanian Universitas Trunojoyo Madura.
- [14]. <https://iksan35.wordpress.com/fisika-xi2/fluida/fluida-zat-alir/> (09November 2016)
- [15]. Ellis Kartika, 2009, "Alat Ukur Massa Jenis Zat Cair Dengan Menggunakan Metode Mohr", Skripsi, Program Studi Fisika, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

Pengaruh Kekasaran Material Pada Laju Penguapan Air Laut Dalam Proses Desalinasi Dengan Panas Matahari

Oktarina Heriyani^{1*}, Dan Mugisidi², Hamdi Faturahman²

1. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka
Jl. Tanah Merdeka no 6. Ciracas, Kp Rambutan, Jakarta 13830
Telp. +62 21- 8400941 Fax. +62 21-87782739, Mobile 0816610785

2. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka
Jl. Tanah Merdeka no 6. Ciracas, Kp Rambutan, Jakarta 13830
Telp. +62 21- 8400941 Fax. +62 21-87782739, Mobile 0816610785

* Penulis Koresponden

Abstrak – Pemanfaatan energi panas matahari pada proses desalinasi sangat cocok di Indonesia untuk menghasilkan air tawar dengan biaya produksi rendah. Untuk mempercepat proses penguapan, bahan yang sesuai dibutuhkan sebagai penampung air laut. Salah satunya, material penampung tersebut harus dapat mengalirkan panas ke air laut untuk mempercepat proses penguapan. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukaan material pada laju penguapan air laut dalam proses desalinasi dengan panas matahari. Penelitian ini menggunakan material stainless dengan variasi 5 tingkat kekasaran, yaitu 0,11 μm ; 0,15 μm ; 0,5 μm ; 3,64 μm ; dan 4,65 μm . Penguapan yang terbanyak pada tingkat kekasaran 4,65 μm . Peningkatan kekasaran material akan menyebabkan luas permukaan material tersebut bertambah sehingga meningkatkan laju aliran panas dari material penampung ke air laut di dalam penampung. Dengan demikian, dalam proses desalinasi dengan menggunakan panas matahari, kekasaran permukaan material mempengaruhi jumlah air yang menguap. Semakin kasar luas permukaan material maka volume air yang diuapkan juga akan lebih besar.

Kata kunci: Air, kekasaran, laut, penguapan, permukaan, desalinasi.

I. Pendahuluan

Air adalah kebutuhan utama dalam kehidupan. Manusia, tumbuhan, dan hewan tidak akan bertahan hidup tanpa air. Seiring dengan pertumbuhan populasi di dunia, konsumsi air semakin meningkat. Penambahan populasi manusia sebanyak 15% akan mengurangi sumber air dan meningkatkan kekurangan air sebesar 40% (Schewe et al., 2014), sedangkan jumlah air tawar di permukaan bumi hanya tersedia 2,8%, sisanya adalah air laut sebesar 97,2% (Belessiotis, Kalogirou, dan Delyannis 2016). Karena itu, air laut merupakan sumber potensial air untuk diubah menjadi air tawar. Berbagai metode dan penelitian telah dilakukan untuk mengubah air laut menjadi air tawar. Desalinasi adalah salah satu metode yang paling banyak digunakan. Proses desalinasi menjadi lebih murah dengan memanfaatkan energi matahari, meski produksinya tidak

tinggi. Metode pemanasan langsung dengan panas matahari adalah cara yang paling tepat untuk menghasilkan air tawar hingga 200 m³/hari (Garcia-Rodriguez 2002).

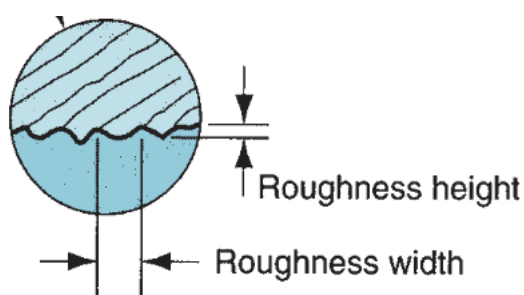
Material penampung air laut memberikan pengaruh pada proses penguapan sehingga banyak peneliti melakukan penelitian untuk melihat pengaruh kekasaran material terhadap proses perpindahan panas. Yuanyuan He dkk menemukan bahwa distribusi koefisien perpindahan panas lokal terutama bergantung pada kekasaran permukaan fraktur, diikuti oleh *aperture*, dan laju alir (Yuanyuan He, Bing Bair, et al 2016). Menurut W. Buzzard bahwa tingkat kekasaran permukaan menunjukkan kemampuan yang luar biasa untuk menghasilkan peningkatan tingkat perpindahan panas (W. Buzzard, Z. Ren, et al 2016). Kekasaran permukaan secara signifikan mempengaruhi perilaku *quenching*. Semakin tinggi kekasaran permukaan, semakin rendah waktu pendinginan selama *spray cooling* (Deendarlianto, et al 2016). Kekasaran

material mempengaruhi perpindahan panas yang terjadi pada material atau perpindahan panas ke air sehingga kekasaran menjadi faktor pendukung dalam penguapan air laut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kekasaran material terhadap laju penguapan air laut dalam proses desalinasi dengan panas matahari.

II. Landasan Teori

Menurut Gaitonde V. N (2012), kekasaran (*roughness*) adalah ukuran tekstur pada sebuah permukaan yang ditentukan oleh deviasi vertikal permukaan sebenarnya dari bentuk idealnya. Jika nilai deviasinya besar maka permukaannya kasar, jika deviasinya kecil berarti permukaannya halus. Kekasaran dianggap sama dengan frekuensi tinggi, panjang gelombang yang pendek pada permukaan yang diukur. Permukaan yang kasar biasanya lebih cepat rusak dan memiliki gesekan yang besar dibandingkan dengan permukaan yang halus. Kekasaran sering dijadikan sebagai prediktor yang baik pada kinerja komponen mekanik, sejak ketidakaturan pada permukaan dapat menjadi pusat terjadinya retak atau korosi. Pada proses manufaktur, menurunkan nilai kekasaran permukaan dapat didefinisikan sebagai rata-rata dari vertikal penyimpangan dari permukaan nominalnya selama jangka permukaan yang ditentukan.

Kekasaran mengacu pada kecilnya penyimpangan secara aritmetik dengan jarak dari permukaan nominalnya yang ditentukan oleh karakteristik material dan proses yang terbentuk di permukaan.



Gambar 1. Lebar dan Tinggi Kekasaran
(Sumber: *fundamentals of modern manufacturing, mikell-p-groover*)

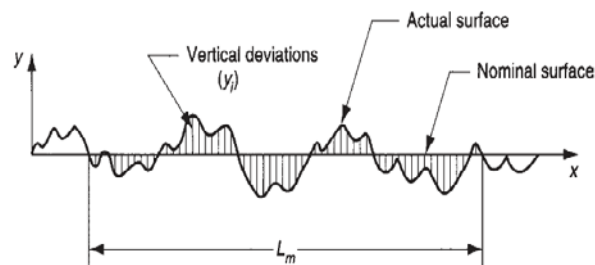
Kekasaran permukaan menurut P. Groover, Mikell, 2010 dapat didefinisikan sebagai rata-rata dari vertikal penyimpangan dari permukaan nominalnya selama jangka permukaan yang ditentukan. Aritmatika rata (AA) secara umum digunakan, berdasarkan pada nilai-nilai absolut dari penyimpangan, dan kekasarannya. Nilai ini disebut dengan kekasaran rata-rata. Dalam bentuk persamaan:

$$R_a = \int_0^{L_m} \frac{|y|}{L_m} dx \quad (1)$$

di mana:

R_a = aritmatika berarti nilai kekasaran, m (in);

y = deviasi vertikal dari permukaan nominalnya (dikonversi ke nilai absolut), m (in); dan
 L_m = jarak ditetapkan lebih dimana penyimpangan permukaan diukur



Gambar 2. Metode AA
(Sumber: *fundamentals of modern manufacturing, mikell-p-groover*)

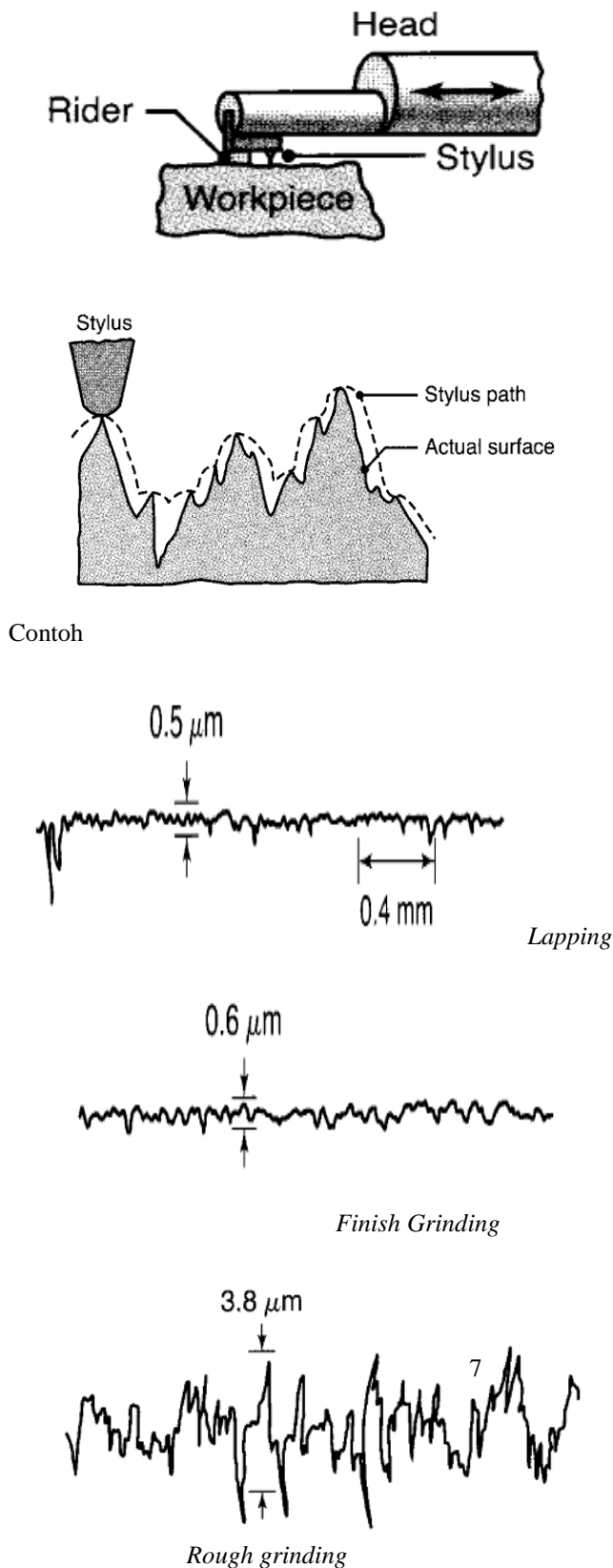
Metode AA adalah metode yang paling banyak digunakan untuk kekasaran permukaan pada saat ini, seperti ditunjukkan pada gambar 2 diatas. Alternative, kadang-kadang digunakan di Amerika Serikat, adalah root-mean-square (RMS) Rata-rata, yang merupakan akar kuadrat dari rata-rata dari simpangan kuadrat lebih dari ukur yang panjangnya. RMS nilai kekasaran permukaan akan hampir selalu lebih besar dari nilai AA karena penyimpangan yang lebih besar akan mencari dengan lebih jelas dalam perhitungan RMS.

Root-mean-square adalah parameter root-mean-square yang berhubungan dengan nilai R_a dengan persamaannya sebagai berikut.

$$R_a = \sqrt{\frac{1}{L_m} \int [(y(x) - y_{avg})]^2 dx} \quad (2)$$

Kekasaran permukaan mengalami jenis yang sama dari defisiensi setiap ukuran tunggal yang digunakan untuk mengukur atribut fisik yang kompleks, menurut Kalpakjian, Serope & R. Schmid, Steven, 2009. Sebagai contoh, kegagalan untuk memperhitungkan letak permukaan pola; dengan demikian, kekasaran permukaan dapat bervariasi secara signifikan, tergantung pada arah mana yang diukur.

Mengukur Kekasaran Permukaan. Biasanya, instrumen yang disebut profilometers permukaannya digunakan untuk mengukur dan kekasarannya untuk merekam permukaannya. Sebuah profilometer yang di miliki material, seperti terlihat pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Profilometers (Sumber: Kalpakjian, Serope & R. Schmid, Steven. *Manufacturing Engineering and Technology*).

Stylus yang bergerak sepanjang garis lurus di atas permukaan. Jarak bahwa *stylus* perjalanan disebut *cutoff*, yang umumnya berkisar dari 0,08 hingga 25 mm. Sebuah *cutoff* 0,8 mm khas untuk aplikasi teknik sebagian besar. Aturan praktis adalah bahwa *cutoff* harus cukup besar untuk memasukkan 10 sampai 15 penyimpangan kekasaran permukaan, serta semua *waviness* permukaannya. Dalam rangka untuk mengetahui kekasaran permukaan, jejak profilometer dicatat yang terbesar skala vertikal (dalam hitungan lipatan terbesar dari skala horisontal); besarnya skala tersebut dinamakan gain pada perekaman instrumen. Dengan demikian, profil direkam terdistorsi secara signifikan, dan permukaan tampaknya jauh lebih kasar daripada yang sebenarnya. Instrumen perekaman mengkompensasi untuk setiap *waviness* permukaannya; itu hanya menunjukkan kekasaran permukaan.

Kekasaran permukaan dapat diamati secara langsung melalui optik atau *scanning electron* mikroskop. Foto *stereoscopic* akan sangat berguna untuk tiga dimensi dilihat dari permukaan dan juga dapat digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan.

Karena sifat permukaan dapat bervariasi secara signifikan dengan arah di mana jejak profilometer diambil, sering kebutuhan yang untuk mengukur profil digunakan permukaan tiga dimensi. Dalam kasus yang paling sederhana, ini bisa dilakukan dengan profilometer permukaannya yang memiliki kemampuan mengindeks jarak pendek antara jejak. Sejumlah alternatif lain telah dikembangkan, dua di antaranya, yaitu *Optical-interference microscopes* dan mikroskop *atomic-force*.

Optical-interference microscopes ini memberi cahaya terhadap reflektif permukaan dan merekam pinggiran interferensi yang dihasilkan dari benda dan gelombang yang dipantulkan. Teknik ini memungkinkan untuk pengukuran langsung dari kemiringan permukaan area benda. Sebagai jarak vertikal antara sampel dan sasaran interferensi akan berubah, pola sisi juga berubah sehingga memungkinkan untuk ketinggian permukaan pengukuran.

Atomic-force microscopes (AFMS) digunakan untuk mengukur permukaan sangat halus dan bahkan memiliki kemampuan atom yang membedakan dari atom halus permukaan. Pada prinsipnya, sebuah AFM hanyalah profilometer permukaannya yang sangat halus dengan laser yang digunakan untuk mengukur posisi *probe*. Profil permukaan dapat diukur dengan akurasi tinggi dan dengan resolusi vertikal pada skala atom, dan daerah scan dapat

pada urutan $100/\mu\text{m}$ persegi, meskipun daerah yang lebih kecil yang lebih umum.

Kekasaran Permukaan dalam Teknik Praktik. Persyaratan untuk permukaan-kekasaran permukaan perancangan dalam aplikasi teknik umum berubah sebesar hingga dua lipat, contohnya

- bearing balls* $0.025\mu\text{m}$
- crank shaft bearings* $0.32\mu\text{m}$
- brake drums* $1.6\mu\text{m}$
- clutch-disk faces* $3.2\mu\text{m}$

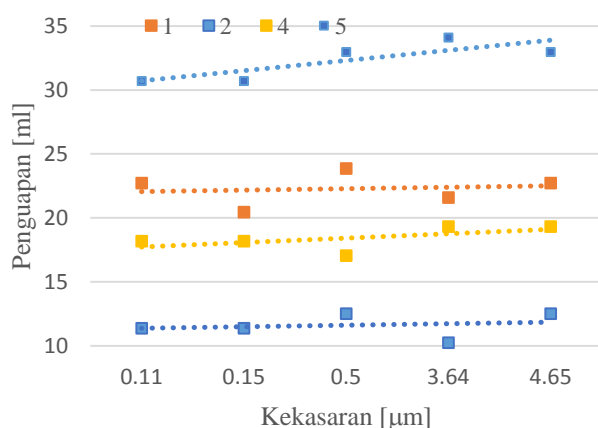
Karena banyak material dan proses variabel yang terlibat, kisaran kekasaran permukaan diproduksi bahkan dalam proses manufaktur yang sama dapat menjadi signifikan.

III. Metodologi Penelitian.

Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat pan dari bahan stainless dengan variasi 5 tingkat kekasaran, yaitu $0,11\mu\text{m}$; $0,15\mu\text{m}$; $0,5\mu\text{m}$; $3,64\mu\text{m}$; dan $4,65\mu\text{m}$. Kemudian, di lakukan pengujian kekasaran. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap pan. Langkah berikutnya, pan dengan 5 tingkat kekasaran akan diisi 250 mL air laut, kemudian dijemur di bawah sinar matahari selama lebih kurang 5 jam. Setelah 5 jam, akan dilihat seberapa besar penguapan air lautnya. Ini dilakukan sebanyak 3 kali pengujian.

IV. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian didapat data sebagai berikut.



Gambar 4. Pengaruh kekasaran terhadap penguapan air laut pada tiap percobaan.

Pada gambar 4 terdapat lima serial data yang diambil pada empat hari berbeda. Perbedaan tingkat penguapan pada hari yang berbeda disebabkan oleh temperatur lingkungan atau cerah tidaknya matahari pada hari itu. Lima wadah dengan kekasaran yang berbeda di uji pada waktu sama pukul 10.00 sampai 14.00 WIB sehingga hasilnya dapat dibandingkan. Kelima data memiliki kecenderungan yang sama, bahwa penguapan semakin meningkat dengan semakin meningkatnya kekasaran.

Pada Gambar 5 Rata-rata data penguapan pada setiap kekasaran menunjukkan bahwa semakin kasar permukaan

material penampung akan meningkatkan laju penguapan air laut. Pengaruh kekasaran terhadap penguapan mengikuti persamaan

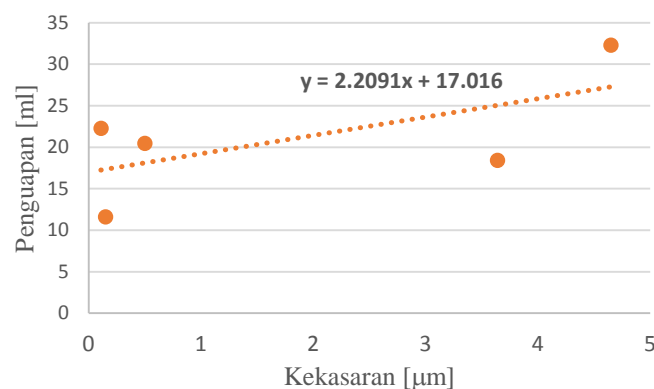
$$Y = 2,2 X + 17,02.$$

Peningkatan kekasaran akan menyebabkan luas permukaan material bertambah. Penambahan luas permukaan akan meningkatkan laju aliran panas dari penampung terhadap air laut. Laju penguapan tersebut mengikuti persamaan (Cooper, 1969):

$$(Q_{rwg} + Q_{cwg} + Q_{ewg})A_w + Q_b A_w + 2Q_{sd} A_{sd} + C_w A_w \frac{dT_w}{dt} = I a_w A_w \quad (1)$$

Di mana

- A_w, A_{sd} Luas air, dan sisi. [m^2]
- a_w Absorptivitas air
- C_w Kapasitas panas air, [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]
- I Radiasi matahari per jam, [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$]
- $Q_{rwg}, Q_{cwg}, Q_{ewg}$ Aliran panas antara air di penampung radiasi, konveksi dan penguapan, berurutan. [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$]
- Q_{sd}, Q_b Panas yang hilang dari dinding dan dasar penampung, berurutan. [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$]
- T_w Temperatur air, [K]
- t Rentang waktu, [h]



Gambar 5. Rata-rata pengaruh kekasaran terhadap penguapan air laut

Penambahan kekasaran permukaan akan memperluas permukaan sehingga meningkatkan kalor yang dapat dialirkan oleh material sesuai dengan persamaan $I a_w A_w$.

IV. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin kasar luas penguapan suatu material maka penguapan akan semakin besar. Artinya, peningkatan kekasaran material akan menyebabkan luas permukaan material tersebut bertambah sehingga meningkatkan laju aliran panas dari pan ke air laut di dalam pan.

Kepustakaan

- [1]. Schewe, Jacob, Jens Heinke, Dieter Gerten, Ingjerd Haddeland, and Nigel W. Arnell. 2014. "Multimodel Assessment of Water Scarcity under Climate Change." P. vol: 111 (9) pp: 3245-50 in Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Retrieved (www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC3948304).
- [2]. Belessiotis, Vassilis, Soteris Kalogirou, and Emmy. Delyannis. 2016. Thermal Solar Desalination - Methods and Systems. 1st ed. edited by M. Convey. ELSEVIER.
- [3]. Garcia-Rodriguez, L. 2002. "Seawater Desalination Driven by Renewable Energies: A Review." Desalination.
- [4]. Yuanyuan He, Bing Bai, Shaobin Hu Xiaochun Li. 2016. Effects of surface roughness on the heat transfer characteristics of water flow through a single granite fracture. Computers and Geotechnics, volume 80. pages 312 – 321. Elsevier.
- [5]. W. Buzzard, Z. Ren, P. Ligrani, C. Nakamata, and S. Ueguchi. 2016. Influences of Target Surface Roughness on Impingement Jet Array Heat Transfer: Part 1 — Effects of Roughness Pattern, Roughness Height, and Reynolds Number. Paper No. GT2016-56354, pp. V05AT13A003; 14 pages, doi:10.1115/GT2016-56354.
- [6]. Deendarlianto, Yasuyuki Takata, Masamichi Kohno, Sumitomo Hidaka, Takaaki Wakui, Akmal Irfan Majid, Hadiyan Yusuf Kuntoro, Indarto, Adhika Widyaparaga. 2016. The effects of the surface roughness on the dynamic behavior of the successive micrometric droplets impacting onto inclined hot surfaces. International Journal of Heat and Mass Transfer. Volume 101, October 2016, Pages 1217-1226. Elsevier.
- [7]. GaitondeV. N, 2012. Application of Particle Swarm Optimization for Achieving Desired Surface Roughness in Tungsten-Copper Alloy Machining. India.
- [8]. P. Groover, Mikell. 2010. Fundamentals Of Modern Manufacturing, Materials, Processes, and Systems. United States of America.
- [9]. Kalpakjian, Serop & R. Schmid, Steven. 2009. Manufacturing Engineering and Technology.
- [10]. Cooper, P.I., 1969a. The absorption of radiation in solar stills. Solar Energy. 12, 333-346.



FROZEN FOOD

www.uwenake.com

UWENAKE Frozen Food
Makanan Khas Nusantara
yang Lezat, Sehat Siap Saji
Tanpa MSG dan Bahan Pengawet
Dengan bahan dasar HALAL

Kakap Fillet



Ayam Fillet



Daging Sapi



Pedas Hijau



Cabe Merah



Sate Goreng



Pedas Merah



Cabe Ijo



Dendeng Kelem

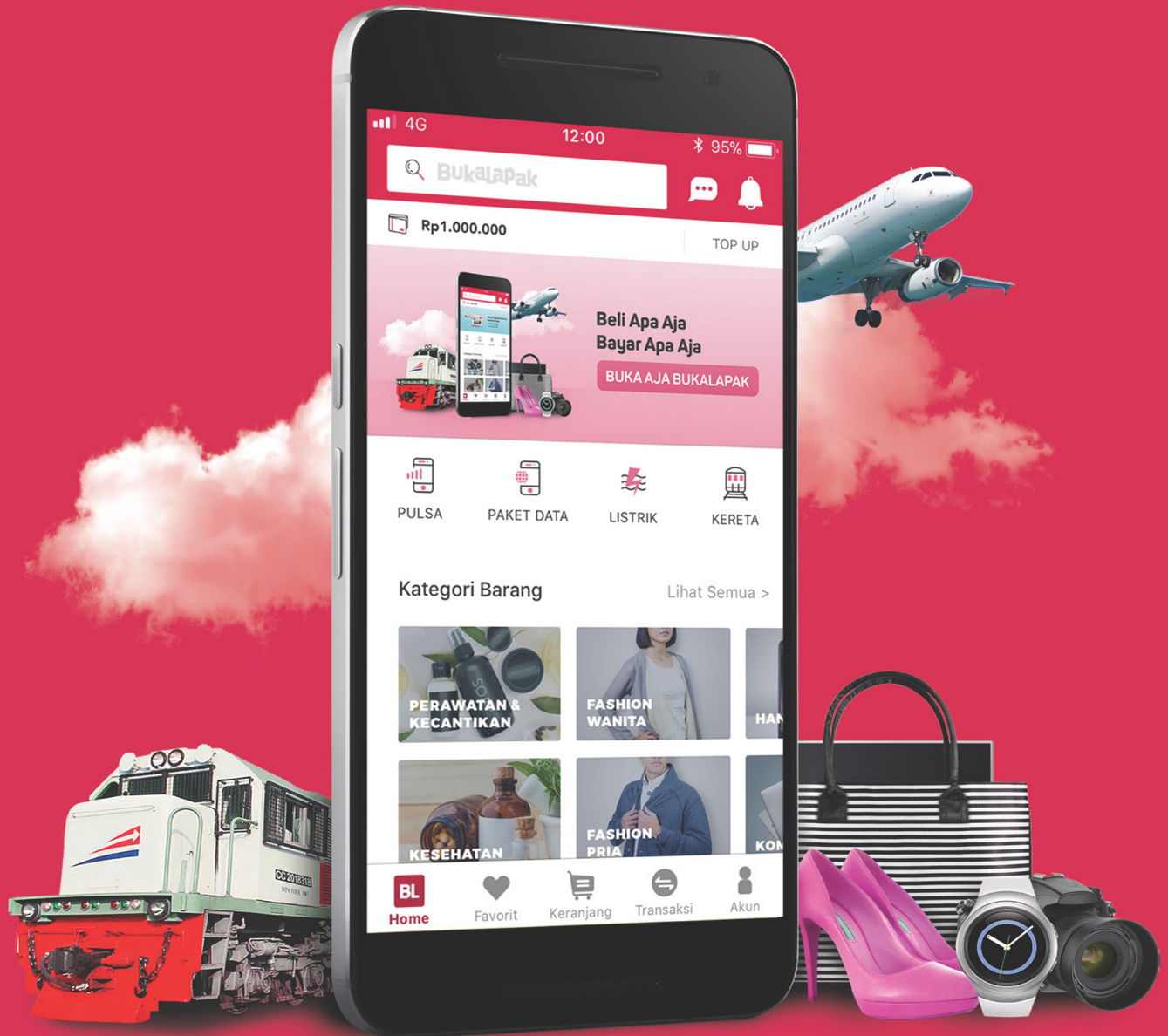


UWENAKE



BELI APA AJA
BAYAR APA AJA
BUKA AJA

Bukalapak

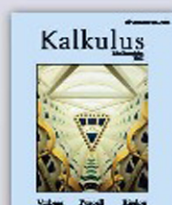


15

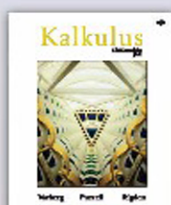
Judul unggulan bidang Mipa-Teknik



PENERBIT ERLANGGA



KALKULUS JL.1 ED.9
PURCELL
51-34-020-0
Tahun 2010 | 424 Hal
9789790339378
Rp 310.000



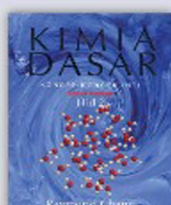
KALKULUS JL.2 ED.9
PURCELL
51-34-021-0
Tahun 2011 | 448 Hal
9789790991545
Rp 278.000



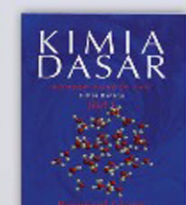
FISIKA JL.1 ED.7
DOUGLAS C.
GIANCOLI
007-530-003-0
Tahun 2014 | 608 Hal
9785022981885
Rp 310.000



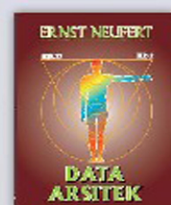
FISIKA JL.2 ED.7
DOUGLAS C.
GIANCOLI
007-530-004-0
Tahun 2015 | 408 Hal
9786022984337
Rp 245.000



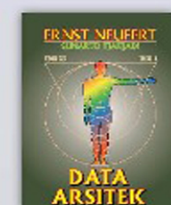
KIMIA DASAR JL.1
ED.3
RAYMOND CHANG
22-00-025-2
Tahun 2005 | 440 Hal
9757810399
Rp 395.000



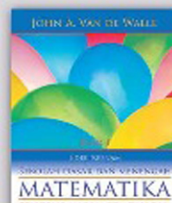
KIMIA DASAR JL.2 ED.3
RAYMOND CHANG
22-00-025-3
Tahun 2006 | 344 Hal
9797810402
Rp 325.000



DATA ARSITEK JL.1
ED.33
ERNST NEUFERT
32-00-101-8
Tahun 1996 | 304 Hal
9794113077
Rp 420.000



DATA ARSITEK JL.2
ED.33
ERNST NEUFERT
32-00-101-9
Tahun 2003 | 304 Hal
9794115525
Rp 247.000



**MATEMATIKA :
PENGEMBANGAN
PENGAJARAN JL.1**
ED.6
JOHN VAN DE WALLE
51-84-002-0
Tahun 2008 | 336 Hal
9789790331310
Rp 210.000



**MATEMATIKA :
PENGEMBANGAN
PENGAJARAN JL.2**
ED.6
JOHN VAN DE WALLE
51-84-005-0
Tahun 2009 | 312 Hal
9789790334380
Rp 210.000



**MATEMATIKA U/
TEKNIK JL.1 ED.5**
24-00-065-9
Tahun 2004 | 696 Hal
9796889985
Rp 418.000



**MATEMATIKA U/
TEKNIK JL.2 ED.5**
K.A. STROUD
24-00-065-0
Tahun 2004 | 468 Hal
9796889994
Rp 423.000



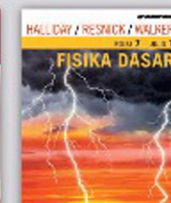
BIOLOGI JL.1 ED.8
CAMPBELL
51-34-017-0
Tahun 2010 | 606 Hal
9789790756885
Rp 597.000



BIOLOGI JL.2 ED.8
CAMPBELL
51-34-018-0
Tahun 2012 | 568 Hal
9789790757776
Rp 440.000



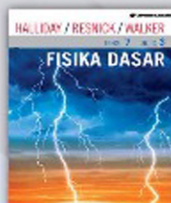
BIOLOGI JL.3 ED.8
CAMPBELL
51-34-019-0
Tahun 2012 | 576 Hal
9789790991538
Rp 406.000



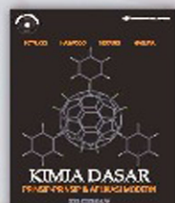
FISIKA DASAR JL.1
ED.7
HALLIDAY, RESNICK &
WALKER
007-530-005-0
Tahun 2012 | 548 Hal
9789790993273
Rp 310.000



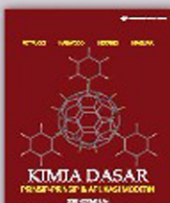
FISIKA DASAR JL.2
ED.7
HALLIDAY, RESNICK &
WALKER
007-530-006-0
Tahun 2014 | 544 Hal
9786022415954
Rp 370.000



FISIKA DASAR JL.3
ED.7
HALLIDAY, RESNICK &
WALKER
007-530-007-0
Tahun 2014 | 288 Hal
9786022417361
Rp 255.000



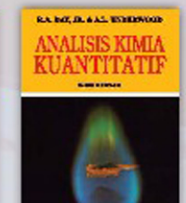
KIMIA DASAR JL.1
ED.9 | PETRUCCI
51-34-022-0
Tahun 2011 | 448 Hal
9789790755895
Rp 400.000



KIMIA DASAR JL.2
ED.9 | PETRUCCI
51-34-023-0
Tahun 2012 | 488 Hal
9789790991989
Rp 320.000



KIMIA DASAR JL.3
ED.9 | PETRUCCI
51-34-024-0
Tahun 2014 | 472 Hal
9786022411628
Rp 290.000



**ANALISIS KIMIA
KUANTITATIF ED.6**
R.A. DAY & UNDERWOOD
22-00-032-5
Tahun 2002 | 692 Hal
9789796882410
Rp 487.000



**PERENCANAAN
STRUKTUR BAJA
DENGAN METODE
LRFD ED.2**
AGUS SETIAWAN
007-624-001-0
Tahun 2013 | 368 Hal
9786022414988
Rp 220.000



**PENGANTAR
PENERBANGAN
PERSPEKTIF
PROFESIONAL**
CAPT. DESMOND H.
51-17-001-0
Tahun 2013 | 384 Hal
978602241100-0
Rp 203.000



**BERPIKIR MATEMATIS:
MATEMATIKA UNTUK SEMUA**
WONO SETYA BUDHI
Kode Buku : 007-511-002-0
Tahun 2015 | 272 Hal
9786022982791
Rp 113.000



**ARSITEKTUR BENTUK,
RUANG & TATANAN ED.3**
FRANCIS D.K. CHING
51-37-068-0
Tahun 2009 | 448 Hal
9789790339385
Rp 290.000



**ILUSTRASI KONSTRUKSI
BANGUNAN**
FRANCIS D.K. CHING
51-38-012-0
Tahun 2008 | 456 Hal
9789790159440
Rp 296.000

**ERLANGGA
GOES TO
Campus**

**PIRACY
ISN'T
PART
OF
ME**

**Belajar Lebih,
Lebih Belajar**

ErlanggaKampus

Penerbit Erlangga

@ErlanggaPerti

erlangga.co.id

BELI APA AJA
BAYAR APA AJA
BUKA AJA

Bukalapak



15

Judul unggulan
bidang Mipa-Teknik

PENERBIT ERLANGGA



ERLANGGA
Campus

PIRACY
SWIFT

Belajar Lebih
Lain Belajar

erlangga.com

Penerbit Erlangga

@erlangga

erlangga.co.id



www.uwenake.com

UWENAKE Frozen Food
Makanan Khas Nusantara
yang Lezat, Sehat Siap Saji
Tanpa MSG dan Bahan Pengawet
Dengan bahan dasar HALAL

FROZEN FOOD

Kakap Fillet

Ayam Fillet

Daging Sapi



Pedas Hijau

Cabe Merah

Sate Goreng



Pedas Merah

Cabe Ijo

Dendeng Kefem



UWENAKE



DIDUKUNG OLEH :

Bukalapak



PENERBIT ERLANGGA

Kami Melayani Ilmu Pengetahuan



0818 914 400

@UWENAKE

f UWENAKE