

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.

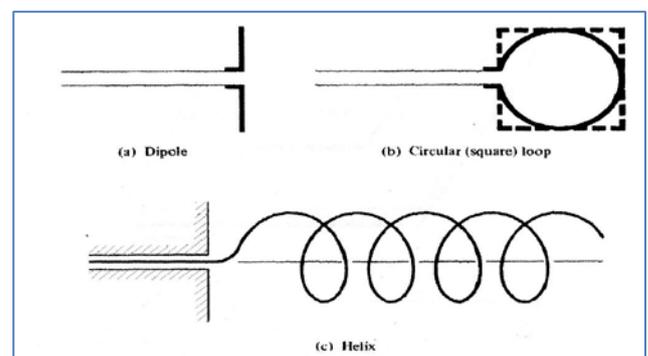
2 Rujukan - Rujukan

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)

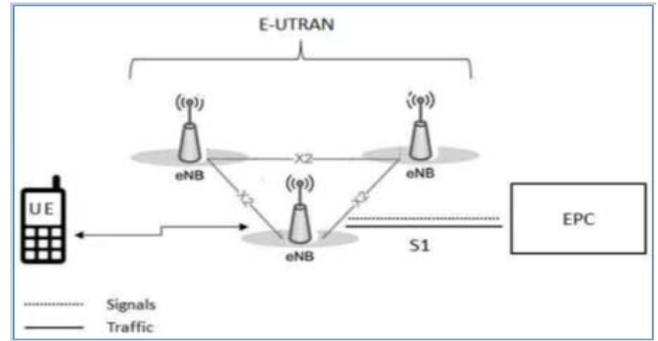
LTE merupakan salah satu produk dari Third Generation Partnership Project (3GPP), yang mempunyai layanan kapasitas gigabytes [17].

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 bertanggung jawab 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].

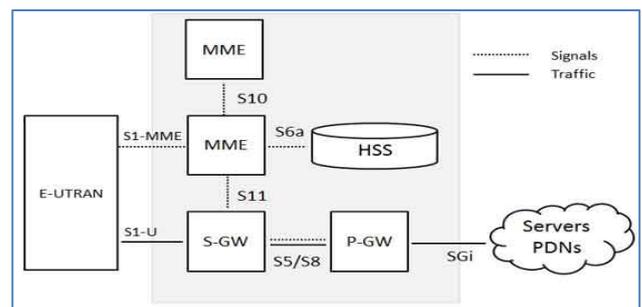


Gambar 3. Arsitektur dari EPC

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* SGi. 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].

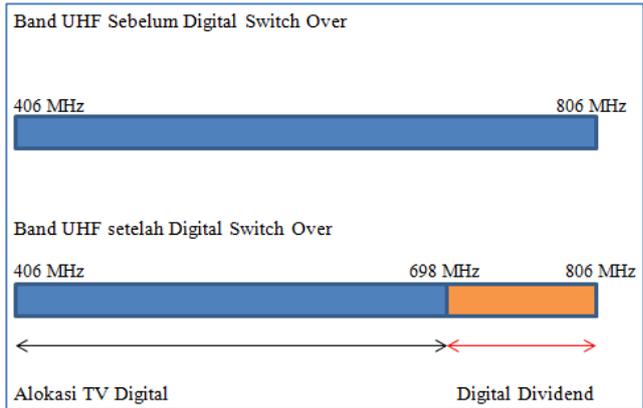
Teknik FDD lebih banyak menggunakan spektrum frekuensi yang tersedia, tetapi lebih unggul dalam menangani latency dibandingkan TDD karena harus lebih lama menunggu waktu pemrosesan dalam multiplexing.

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)	Duple x 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.

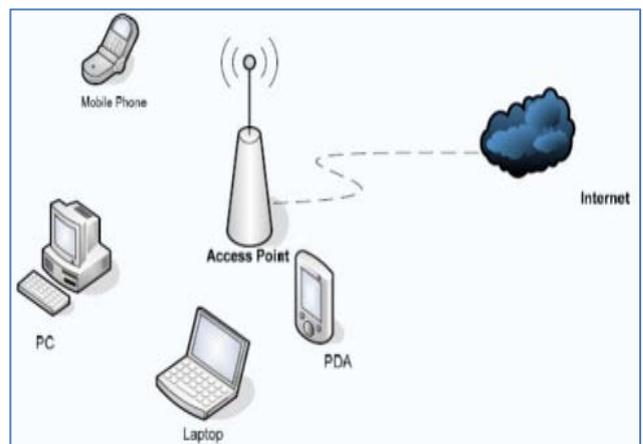


Gambar 5. Sisa Band Frekuensi Penyiaran Setelah Migrasi

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.

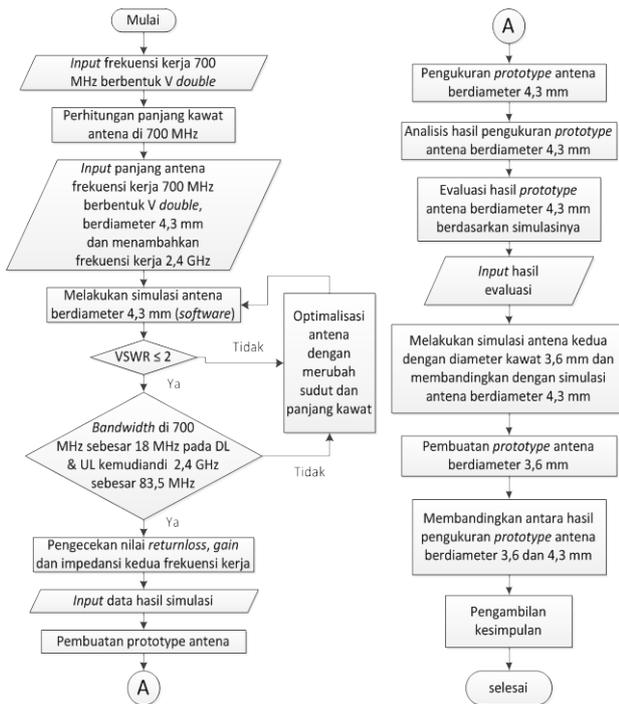
Wireless LAN (WLAN) adalah teknologi LAN yang menggunakan frekuensi dan transmisi radio sebagai media penghantarnya, pada area tertentu, menggantikan fungsi kabel. Konfigurasi jaringan WLAN terdiri dari akses point yang dihubungkan ke pengguna melalui media udara (frekuensi dan transmisi radio) seperti 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 :

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{7}$$

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 transmisi (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°.

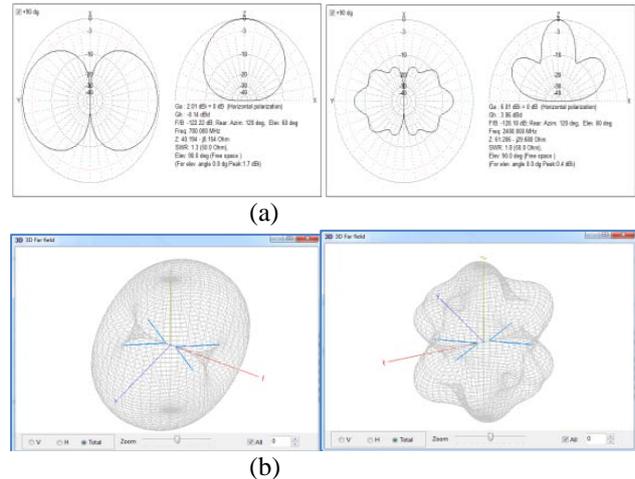
Pada proses optimalisasi panjang dan sudut kawat dilakukan pada jarak konektor 2 cm dan 1,5 cm. Dari uji coba diperoleh hasil pada jarak konektor 1,5 cm lebih baik hasilnya.

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.

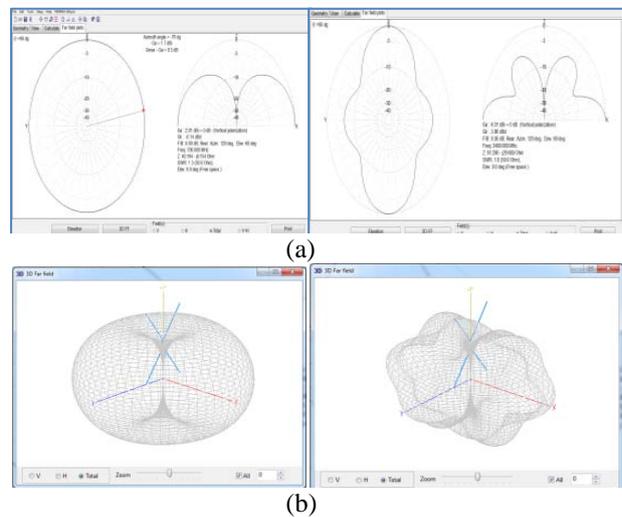


Gambar 9. Pola Radiasi (a) 2 dan (b) 3 Dimensi Frekuensi Kerja 700 MHz dan 2,4 GHz

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.



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 lossnya 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 lossnya 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 -23,1266dB dan pada frekuensi kerja 2,4 GHz adalah -16,13094dB, sudah sesuai dengan acuarreturn 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* Anten 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.



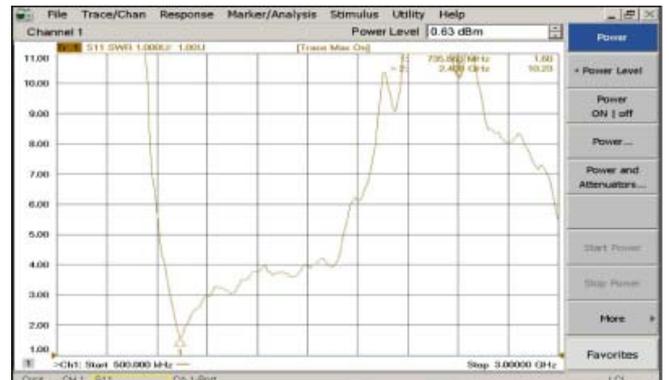
Gambar 11. Prototype Antena.

4 Implementasi dan Pengujian

4.1 Pengukuran Prototype Antena

Pengujian pada *prototypt* antena adalah melakukan pengukuran parameter VSWR, *return loss* dan impedansi menggunakan alat ukur *Network Analyzer* di laboratorium Departemen Elektro Universitas Indonesia.

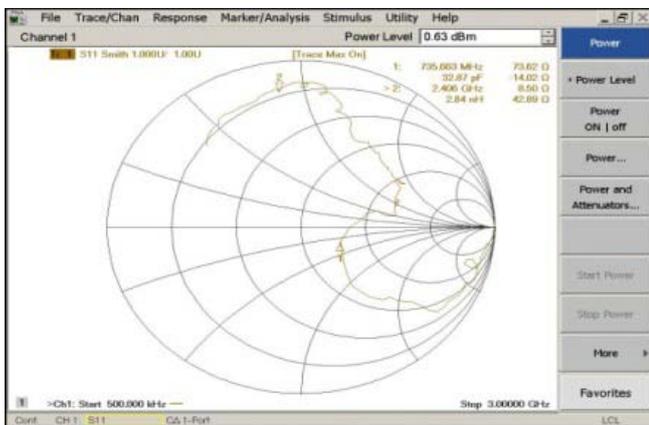
Hasil pengujian dengan *Network Analyzer* menghasilkan grafik seperti terlihat pada gambar 12, nilai-nilai hasil pengukuran diterangkan pada tabel 4, sedangkan impedansi ditampilkan dalam bentuk diagram *smith* pada gambar 13.



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 acuannya. 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

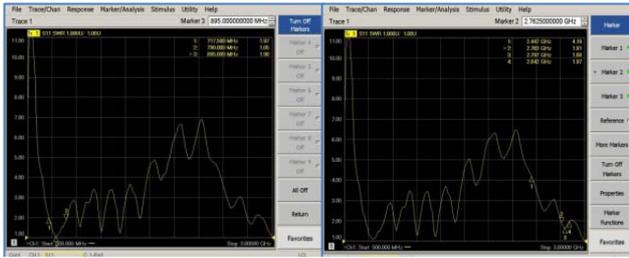
Dari hasil simulasi kemudian dirancang antena seperti terlihat pada gambar di bawah ini.



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.

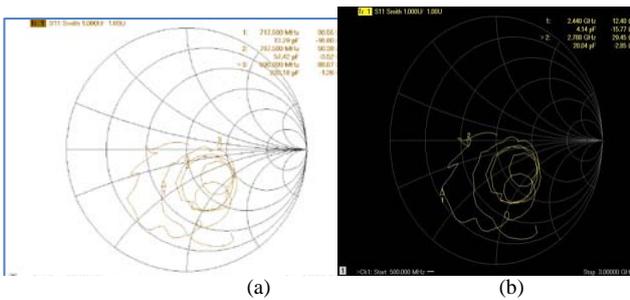
Hasil pengujian dengan Network Analyzer menghasilkan pada grafik VSWR pada gambar 15 dan grafik return loss pada gambar 16, nilai-nilai hasil pengukuran diterangkan pada tabel 7. sedangkan impedansi ditampilkan dalam bentuk diagram smith pada gambar 17.



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 Ω	66,83 - j0,0116 Ω	50,38 + j3,52 Ω	29,45 - j2,85 Ω
Rentang frekuensi.	678 - 783 MHz	2,399 - 2,51 GHz	737,5 - 875MHz	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 Ω	29,45 - j2,85 Ω	73,62 - j14,02 Ω	8,5 + j42,89 Ω
Rentang frekuensi.	737,5 MHz- 875MHz	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 Adatif 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. Analisa 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. : Mentri 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.