

Rancang Bangun Sistem Pendingin Mesin Mobil Menggunakan Pengendali Logika Fuzzy

Purwanto Priyojtmiko¹, Akhmad Musafa²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Budi Luhur

Jl. Raya Ciledug, Petukangan Utara, Jakarta Selatan, 12260

E-mail : akhmadmusafa@gmail.com

Abstrak

Makalah ini membahas perancangan sistem pendingin mesin mobil menggunakan pengendali logika fuzzy (FLC). Sistem akan mengatur kecepatan putar kipas radiator disesuaikan dengan kondisi suhu air radiator dan suhu ruang mesin yang dideteksi menggunakan sensor PT100. Masukan dari sensor suhu akan diolah oleh mikrokontroler menggunakan algoritma kontrol logika fuzzy. Keluaran control logika fuzzy berupa sinyal PWM yang akan digunakan untuk mengatur putaran kipas pendingin radiator. Dari hasil pengujian, dalam kondisi tanpa gangguan sistem dapat bekerja dengan baik dengan nilai steady state error sebesar 1°C (0.012%). Dalam kondisi system diberi gangguan berupa suhu ruang mesin bergerak naik, sistem dapat bekerja dengan baik dengan nilai steady state error sebesar 1°C (0.012%). Sedangkan ketika sistem diberi gangguan berupa suhu ruang mesin bergerak turun, system dapat bekerja dengan baik dengan nilai steady state error sebesar 2°C (0.024%).

Kata kunci : suhu, sistem pendingin, mesin mobil, pengendali logika fuzzy, mikrokontroler.

1 PENDAHULUAN

Teknologi otomotif yang terdapat pada mobil keluaran terbaru saat ini sudah dilengkapi dengan peralatan yang canggih, salah satunya adalah dalam hal sistem kontrol yang ditanamkan. Pada sistem pengapian, sistem bahan bakar, sudah dikontrol oleh *Electronic Control Unit* (ECU). Pada sistem pendingin mesin mobil saat ini juga sudah mengandalkan kipas elektrik tidak seperti pada mobil-mobil keluaran lama yang masih menggunakan kipas konvensional yang masih mengikuti putaran dari mesin.

Pada umumnya pengendalian kipas elektrik masih menggunakan masukan dari temperatur switch, yang dalam proses kerjanya masih bersifat on/off dan masih mempunyai beberapa kelemahan seperti tidak dilengkapi dengan alarm untuk peringatan bagi pengemudi jika mesin overheat, putaran kipas masih bersifat tetap walaupun suhu air radiator overheat. Untuk meningkatkan kinerja sistem pendingin mesin mobil, maka putaran

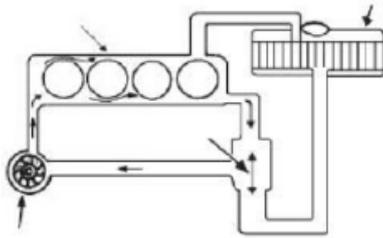
kipas pendingin radiator akan diatur kecepatannya menyesuaikan dengan input suhu air radiator dan ruang mesin secara kontinyu menggunakan sistem pengendali logika fuzzy berbasis mikrokontroler.

2 LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Pendingin Mesin Mobil

Sistem pendingin merupakan salah satu sistem pendukung yang terdapat pada suatu mesin (*engine*). Saat ini, semua mesin mobil menggunakan sistem pendingin air, yaitu mesin yang didinginkan dengan menggunakan air atau *coolant* untuk menjaga suhu mesin pada suhu acuan dan mencegah mesin dari panas berlebih (*over heat*).

Ketika mesin bekerja, air pendingin bersirkulasi melalui sistem pendingin pada tekanan tertentu, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



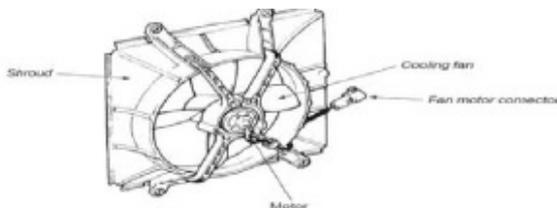
Gambar 1 Sirkulasi cairan pendingin pada mesin mobil

Sistem pendingin mesin mobil terdiri dari beberapa bagian yaitu radiator, kipas pendingin (*motor fan*), dan pompa air (*water pump*). Radiator merupakan bagian yang berfungsi untuk menurunkan suhu cairan pendingin. Bentuk dan bagian-bagian radiator seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



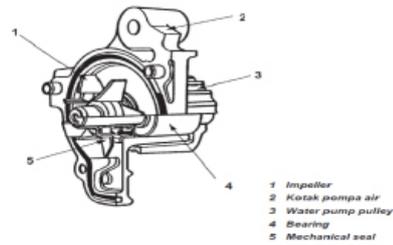
Gambar 2 Radiator dan bagian-bagiannya

Kipas pendingin merupakan bagian dari sistem pendingin mesin yang terletak di belakang radiator, yang akan menghembuskan angin dari bagian depan ke bagian belakang radiator. Bentuk dan bagian-bagian kipas pendingin ditunjukkan pada Gambar 3.



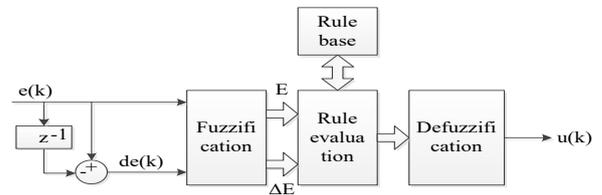
Gambar 3 Kipas pendingin dan bagian-bagiannya

Water pump menempel pada cylinder block dan menekan cairan pendingin agar bersirkulasi di sekitar sistem pendingin. Water pump digerakkan oleh poros engkol melalui drive belt. Bentuk dan bagian-bagian water pump ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Water pump dan bagian-bagiannya

- a. Fuzzy Logic Controller (FLC)
 Pengendali logika fuzzy (*Fuzzy Logic Controller*) merupakan pengendali yang dalam proses kerjanya menggunakan pendekatan cara berpikir, pengalaman, dan pengetahuan manusia, tanpa harus memodelkan plant dalam persamaan matematika yang kompleks. Secara umum, konfigurasi sistem dengan pengendali logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Diagram blok sistem FLC

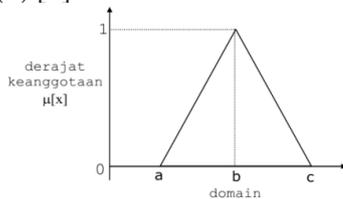
Salah satu sistem inferensi fuzzy yang dapat digunakan adalah metode Mamdani (Metode Max-Min). Metode ini membagi proses fuzzy dalam empat tahap yaitu pembentukan himpunan fuzzy (*fuzzification*), aplikasi fungsi implikasi dan komposisi aturan (*rule evaluation*), serta penegasan (*defuzzification*).

Input pengendali logika fuzzy adalah sinyal error ($e(k)$) dan delta error ($de(k)$) yang diperoleh dari hasil perbandingan antara sinyal set point (sp) dengan *control variable* (cv) seperti ditunjukkan pada persamaan (1) dan (2).

$$e(k) = sp - cv \tag{1}$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k - 1) \tag{2}$$

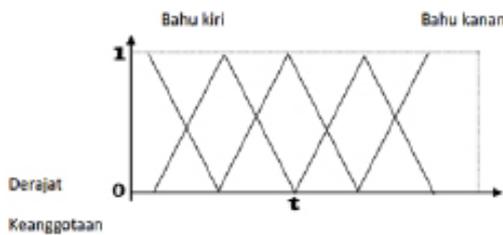
Pada tahap fuzzifikasi, sinyal error dan delta error yang merupakan besaran crisp akan diubah menjadi besaran fuzzy dengan memetakan nilai setiap sinyal input tersebut dalam beberapa fungsi keanggotaan (*membership function*). Jumlah fungsi keanggotaan yang umumnya digunakan adalah 3,5 atau 7. Bentuk fungsi keanggotaan yang digunakan adalah kurva segitiga (Gambar 6) dan kurva bahu (Gambar 7), dengan persamaan fungsi keanggotaan adalah (3) [1].



Gambar 6. Fungsi keanggotaan kurva segitiga

Fungsi keanggotaan untuk kurva segitiga adalah sebagai berikut :

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x < a \text{ atau } x > c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \tag{3}$$



Gambar 7. Fungsi keanggotaan kurva bahu

Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variable yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik dan turun. Tetapi terkadang salah satu sisi dari variable tersebut tidak mengalami perubahan.

Himpunan fuzzy bentuk kurva bahu, bukan segitiga, digunakan untuk mengakhiri variable suatu daerah fuzzy. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah, demikian juga bahu kanan bergerak dari salah ke benar.

Pada tahap penyusunan aturan fuzzy (*rule evaluation*) dengan menggunakan aturan jika-maka (*If-Then Rules*), fungsi implikasi yang digunakan adalah Min. Tiap-tiap aturan (proposisi) pada basis pengetahuan fuzzy akan berhubungan dengan suatu relasi fuzzy. Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah:

$$IF \ x \ is \ A \ THEN \ y \ is \ B \tag{4}$$

Dengan x dan y adalah skalar, A dan B adalah himpunan fuzzy.

Proposisi pada persamaan (4) dapat diperluas dengan menggunakan operator fuzzy seperti berikut:

$$IF \ (X_1 \ is \ A_1) \bullet \ (X_2 \ is \ A_2) \bullet \ (X_3 \ is \ A_3) \bullet \ ... \bullet \ THEN \ y \ is \ B \tag{5}$$

dengan • adalah operator (misal: AND atau OR).

Banyaknya aturan (*rule*) yang akan disusun mengikuti aturan sebagai berikut :

$$\text{Banyaknya Aturan} = (\text{Jumlah MF})^{\text{jumlah input}} \tag{6}$$

Jika sistem terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Metode inferensi yang akan digunakan adalah metode Max (Maximum). Pada metode ini, solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikannya ke output dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika semua proposisi telah dievaluasi, maka output akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Inferensi fuzzy dengan metode Max dapat dituliskan:

$$\mu_{sf}(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (7)$$

dengan:

$\mu_{sf}(x_i)$ = nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}(x_i)$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-i

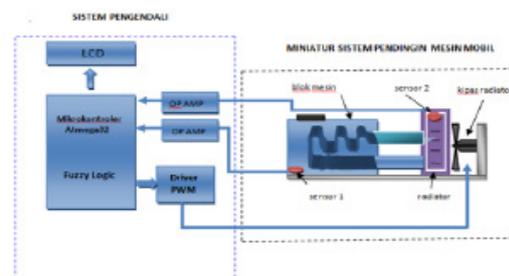
Proses defuzzifikasi secara sederhana dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi keanggotaan keluaran singleton, yang diwakili oleh titik-titik dalam ruang keluaran yang tidak memiliki masa, sehingga merupakan beberapa nilai keluaran berbentuk nilai nyata.

3 METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan perancangan hardware simulator sistem pendingin mesin mobil dan perancangan software realisasi algoritma pengendali logika fuzzy yang akan ditanamkan pada mikrokontroler.

Perancangan Hardware

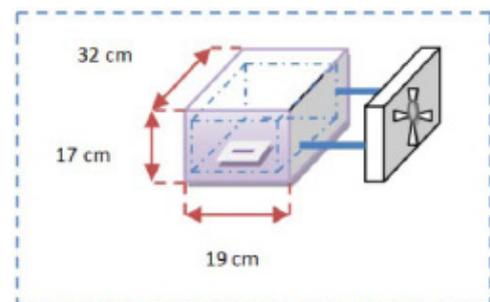
Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram blok sistem

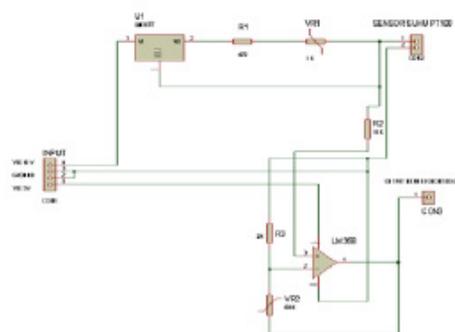
Perangkat keras sistem terdiri dari mekanik simulator sistem pendingin mesin mobil dan sistem elektronik. Rancangan miniatur mekanik sistem pendingin mobil ditunjukkan pada Gambar 9. Miniatur system pendingin dibuat menggunakan radiator motor Yamaha Vixion yang sudah dilengkapi motor kipas pendingin. Pada bagian miniatur juga ditambahkan plat dengan ketebalan 1

mm yang mampu menghantarkan panas dan tahan pada suhu tinggi. Konstruksi terdiri dari dua kotak, kotak bagian luar sebagai tempat air pendingin sekaligus sebagai saluran air yang berfungsi mendinginkan kotak bagian dalam. Pada kotak bagian luar terdapat saluran air masuk dan air keluar yang akan mengalirkan dan mensirkulasikan air pendingin ke radiator. Pada kotak bagian dalam diletakkan elemen pemanas yang ditempelkan pada dindingnya.

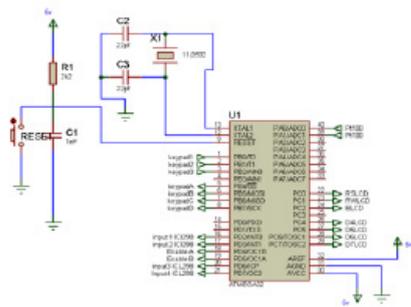


Gambar 9 Rancangan mekanik sistem

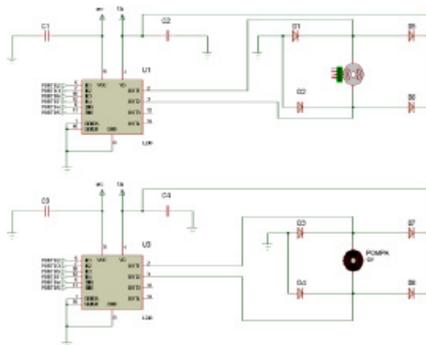
Sistem elektronik yang terdapat pada sistem terdiri dari rangkaian sensor suhu menggunakan PT100 dan op-amp (Gambar 10), rangkaian kontroler menggunakan sistem minimum mikrokontroler Atmega32 (Gambar 11), rangkaian driver motor (motor kipas dan motor pompa) menggunakan IC L298 (Gambar 12) dan display menggunakan LCD 16x2 (Gambar 13).



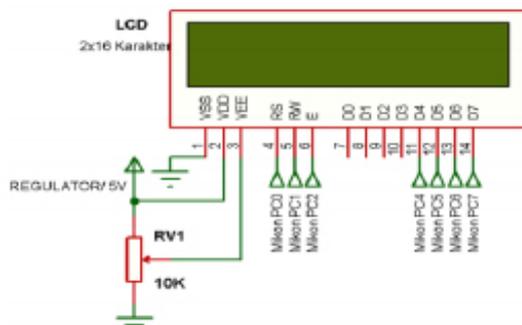
Gambar 10 Rangkaian sensor suhu



Gambar 11 Rangkaian kontroler



Gambar 12 Rangkaian driver motor



Gambar 13 Rangkaian display

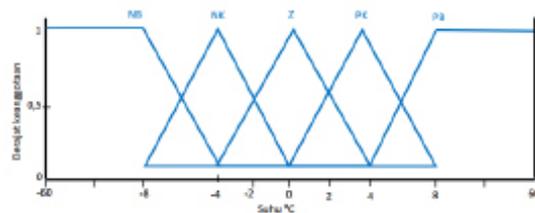
Perancangan Software

Dalam perancangan algoritma program pengendali logika fuzzy dari sistem kontrol pendingin mesin mobil ini menggunakan metode MAMDANI. Dimana didalam pengendali logika fuzzy terdiri dari tiga bagian utama yaitu proses fuzzyfikasi input, proses pengevaluasian aturan-aturan untuk menentukan output, dan proses defuzzyfikasi output. Dalam perancangan ini sebagai set point diberikan suhu mesin sebesar 85

^o C. Proses fuzzyfikasi input dari Error dan Delta Error menggunakan lima (5) buah Membership Function (MF) jenis segitiga dan bahu. Error range dan Delta Error range merupakan selisih suhu set point tertinggi (85^oC) dan suhu air radiator waktu kondisi normal (25^oC).

Tabel 1 Batasan nilai fuzifikasi error FLC

Batasan Nilai Error : -60°C s/d 60°C					
Label MF	Bentuk	Nilai Error			
NB	Bahu	-60	-60	-8	-4
NK	Segitiga		-8	-4	0
Z	Segitiga		-4	0	4
PK	Segitiga		0	4	8
PB	Bahu	4	8	60	60

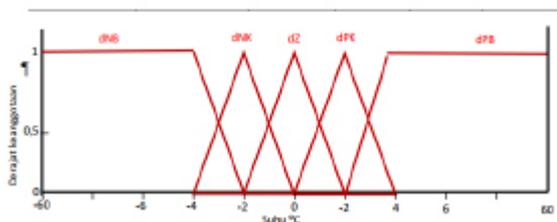


Gambar 14 Grafik fuzifikasi input error

Input delta error diperoleh dengan mengacu ke persamaan (2), sehingga batasan nilai delta error sama dengan batasan nilai error, yaitu -60^oC sampai 60^oC, yang difuzifikasi dalam lima fungsi keanggotaan seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 15.

Tabel 2 Batasan nilai fuzifikasi delta error

Batasan Nilai Delta Error : -60°C s/d 60 °C					
Label MF	Bentuk	Nilai Delta Error			
dNB	Bahu	-60	-60	-4	-2
dNK	Segitiga		-4	-2	0
dZ	Segitiga		-2	0	2
dPK	Segitiga		0	2	4
dPB	Bahu	2	4	60	60

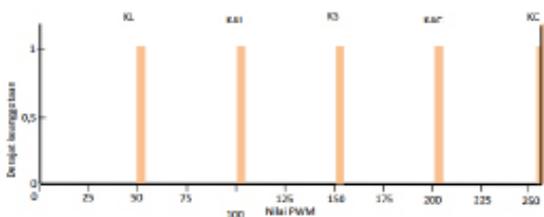


Gambar 15 Grafik fuzifikasi input delta error

Langkah selanjutnya adalah fuzifikasi variabel output, yaitu sinyal acuan PWM untuk menggerakkan motor kipas dan motor pompa. Sinyal PWM dinyatakan dalam nilai integer antara 0 sampai 255 dalam bentuk singleton seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 16.

Tabel 3 Batasan nilai fuzifikasi output FLC

Output Fuzzy (Sinyal PWM) : 0 s/d 255		
Label MF	Nilai PWM	Keterangan
KL	51	Kipas Lambat
KAL	102	Kipas Agak Lambat
KS	153	Kipas Sedang
KAC	204	Kipas Agak Cepat
KC	255	Kipas Cepat



Gambar 16 Grafik fuzifikasi output sinyal PWM

Tahap selanjutnya dalam perancangan pengendali logika fuzzy adalah pembuatan aturan (*evaluation rule*), yaitu proses untuk menentukan output dari pengendali FLC, berdasarkan kombinasi dua input (error dan delta error) dengan metode AND. Karena jumlah input ada 2 (dua) dan masing-masing input dibagi dalam 5 (lima) MF (membership function) maka rule evaluation yang

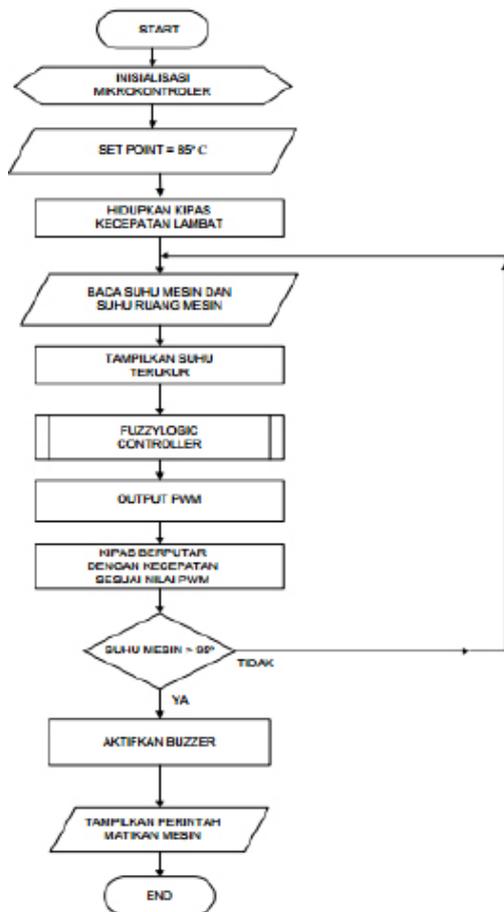
disusun sebanyak 25 rule dengan menggunakan Fuzzy Associative Membership (FAM) seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 FAM untuk FLC

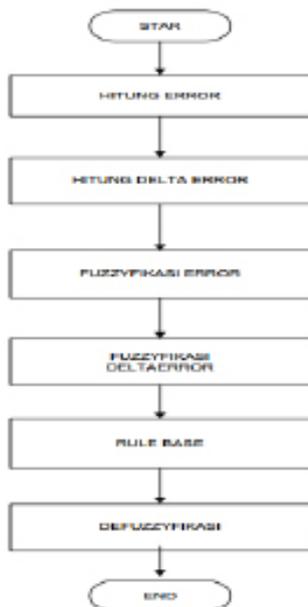
Error delta Error	PB	PK	Z	NK	NB
dPB	KL / PL	KL / PL	KL / PL	KAL / PAL	KS / PS
dPK	KL / PL	KL / PL	KAL / PAL	PS / PS	KAC / PAC
dZ	KL / PL	KAL / PAL	PS / PS	KAC / PAC	KC / PC
dNK	KAL / PAL	PS / PS	KAC / PAC	KC / PC	KC / PC
dNB	PS / PS	KAC / PAC	KC / PC	KC / PC	KC / PC

1. Nilai PWM 51 = KL = PL = Kipas Lambat / Pompa Lambat
2. Nilai PWM 102 = KAL = PAL = Kipas Agak Lambat / Pompa Agak Lambat
3. Nilai PWM 153 = KS = PS = Kipas Sedang / Pompa Sedang
4. Nilai PWM 204 = KAC = PAC = Kipas Agak Cepat / Pompa Agak Cepat
5. Nilai PWM 255 = KC = PC = Kipas Cepat / Pompa Cepat

Program pengendali logika fuzzy ini dibuat dengan bahasa C yang akan diaplikasikan pada mikrokontroler AVR Atmega32. Diagram alir program pada mikrokontroler secara keseluruhan seperti ditunjukkan pada Gambar 17. Diagram alir sub program pengendali logika fuzzy ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 17 Diagram alir program pada mikrokontroler



Gambar 18 Diagram alir sub program pengendali logika fuzzy

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bentuk fisik hasil rancangan sistem dalam bentuk miniatur ditunjukkan pada Gambar 19 sebagai berikut.

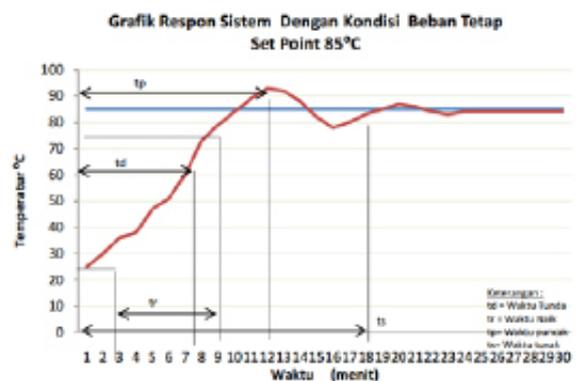


Gambar 19 Miniatur sistem pendingin mesin mobil

Pengujian sistem dilakukan untuk kondisi system tanpa gangguan dan pengujian dengan kondisi ada gangguan.

Pengujian Sistem Tanpa Gangguan

Pada pengujian system tanpa gangguan, sistem diaktifkan dalam kondisi normal yaitu suhu ruang mesin tidak mendapatkan gangguan (suhu ruang mesin diabaikan) dengan set point suhu mesin 85° C. Kondisi mesin yang bekerja sehingga menghasilkan panas disimulasikan dengan mengaktifkan heater. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 20 dan Tabel 5.



Gambar 20 Grafik respon transien system tanpa gangguan

Tabel 5 Hasil pengujian sistem tanpa gangguan

Waktu (menit)	Suhu Set Point (°C)	Suhu terbaca (°C)
1	85	25
2	85	30
3	85	36
4	85	38
5	85	47
6	85	51
7	85	60
8	85	73
9	85	79
10	85	84
11	85	89
12	85	93
13	85	92
14	85	88
15	85	82
16	85	78
17	85	80
18	85	83
19	85	85
20	85	87
21	85	86
22	85	84
23	85	83
24	85	84
25	85	84
26	85	84
27	85	84
28	85	84
29	85	84
30	85	84

Berdasarkan data pada Tabel 5 dan Gambar 20 dapat dianalisa respon transient dari sistem sebagai berikut:

- Waktu tunda dari sistem (t_d) adalah 7.5 menit
- Waktu naik /rise time (t_r) dari sistem adalah 6 menit.
- Dari grafik respon pengujian sistem terjadi over shot sebesar 8°C (0.094%), dengan waktu puncak (t_p) sebesar 12 menit.

Dari hasil pengujian alat pada set point 85°C dapat dianalisa bahwa

- Waktu dari sistem untuk mencapai steady state (t_s) adalah 18 menit dengan pengujian selama 30 menit dengan suhu awal 25°C .
- Sistem mengendalikan suhu mesin pada set point 85°C dengan hasil pembacaan sensor suhu sebesar 84°C atau steady state error sebesar 1°C (0.012%).

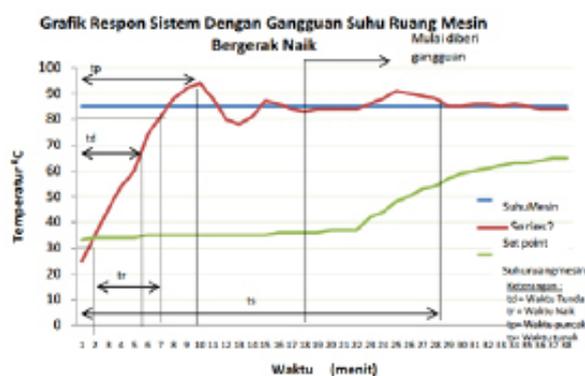
- Dari grafik respon pengujian sistem pada set point 85°C dapat disimpulkan bahwa alat ini dapat bekerja dengan sesuai perancangan.

Pengujian Sistem dengan Gangguan

Gangguan yang dimaksud dalam pengujian ini adalah gangguan yang berupa suhu ruang mesin bergerak naik dan suhu ruang mesin bergerak turun.

Pengujian Sistem dengan Kondisi Suhu Ruang bergerak Naik

Tujuan pengujian pada sistem dengan adanya gangguan (*disturbance*) ini adalah untuk mengetahui kinerja saat sistem bekerja dan diberikan gangguan. Gangguan diberikan pada saat sistem bekerja dalam keadaan steady state, yaitu dengan cara memberikan gangguan panas pada ruang mesin dengan menggunakan alat pemanas yaitu solder. Hasil pengujian sistem dengan gangguan ditunjukkan pada Gambar 21 dan Tabel 6.



Gambar 21 Grafik respon transient sistem dengan gangguan kenaikan suhu ruang mesin

Tabel 6 Hasil pengujian sistem dengan gangguan kenaikan suhu ruang mesin

Waktu (menit)	Suhu Set Point (°C)	Suhu Ruang (°C)	Suhu Mesin terbaca (°C)
1	85	33	25
2	85	34	35
3	85	34	45
4	85	34	54
5	85	34	60
6	85	35	74
7	85	35	81
8	85	35	88
9	85	35	92
10	85	35	94
11	85	35	88
12	85	35	80
13	85	35	78
14	85	35	81
15	85	35	87
16	85	36	86
17	85	36	84
18	85	36	83
19	85	36	84
20	85	37	84
21	85	37	84
22	85	37	84
23	85	42	86
24	85	44	88
25	85	48	91
26	85	50	90
27	85	53	89
28	85	54	88
29	85	57	85
30	85	59	85
31	85	60	86
32	85	61	86
33	85	62	85
34	85	63	86
35	85	63	85
36	85	64	84
37	85	65	84
38	85	65	84

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 21 dapat dianalisa respon transient dari sistem sebagai berikut:

- Waktu tunda (td) dari sistem adalah 6 menit
- Waktu naik / rise time (tr) dari sistem adalah 5 menit.
- Dari grafik respon pengujian sistem terjadi over shot suhu sebesar 9°C (0.10%), dengan waktu puncak (tp) sebesar 10 menit.

Dari hasil pengujian waktu diberikan gangguan dapat dianalisa bahwa:

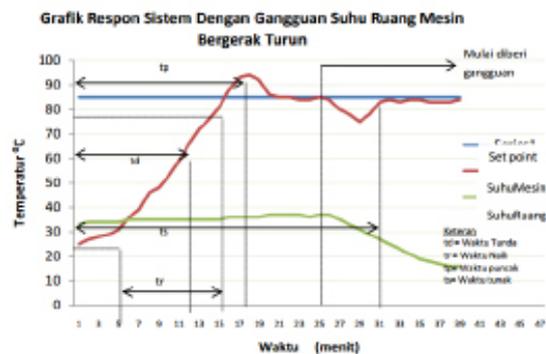
- Sistem mengendalikan suhu mesin pada set point 85°C dengan hasil pembacaan sensor suhu sebesar 84°C atau nilai steady state error sebesar 1°C (0.012%).

- Waktu dari sistem untuk mencapai steady state adalah 28 menit dengan pengujian selama 38 menit dengan suhu awal 25°C.
- Dari grafik respon pengujian sistem pada set point 85°C dapat disimpulkan bahwa alat ini dapat bekerja sesuai perancangan.

Dari hasil pengujian dengan kondisi suhu ruang mesin bergerak naik ini dapat dilihat bahwa saat sudah steady state kemudian diberikan gangguan maka terjadi over shoot.

Pengujian Sistem dengan Kondisi Suhu Ruang bergerak Turun

Pada pengujian ini, gangguan diberikan pada saat sistem bekerja dalam keadaan steady state dengan cara memberikan gangguan penurunan suhu ruang mesin dengan memberikan pendingin, dalam hal ini menggunakan batu es yang diletakkan pada ruang mesin. Pengujian ini bertujuan untuk mensimulasikan ketika mobil digunakan pada wilayah dengan suhu udara rendah seperti musim dingin (salju) di beberapa Negara. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 22 dan Tabel 7.



Gambar 22 Grafik respon transient sistem dengan gangguan penurunan suhu ruang mesin

Tabel 7 Hasil pengujian sistem dengan gangguan penurunan suhu ruang mesin

Waktu (menit)	Suhu Set Point (°)	Suhu Ruang Mesin (°)	Suhu terbaca (°)
1	85	33	25
2	85	34	27
3	85	34	28
4	85	34	29
5	85	34	31
6	85	35	36
7	85	35	39
8	85	35	46
9	85	35	48
10	85	35	53
11	85	35	59
12	85	35	66
13	85	35	72
14	85	35	76
15	85	35	81
16	85	35	88
17	85	36	93
18	85	36	94
19	85	36	92
20	85	37	86
21	85	37	85
22	85	37	85
23	85	37	84
24	85	37	84
25	85	36	85
26	85	37	84
27	85	37	80
28	85	35	78
29	85	33	75
30	85	31	78
31	85	29	83
32	85	27	84
33	85	25	83
34	85	23	84
35	85	21	83
36	85	18	83
37	85	17	83
38	85	16	83
39	85	16	84

Berdasarkan Gambar 22 dan Tabel 7 dapat dianalisa respon transient dari sistem sebagai berikut:

- Waktu tunda (t_d) dari sistem adalah 12 menit
- Waktu naik / rise time (t_r) dari sistem adalah 11 menit.
- Dari grafik respon pengujian sistem terjadi overshoot suhu sebesar 8°C (0.094%), dengan waktu puncak (t_p) sebesar 18 menit.

Dari hasil pengujian alat pada saat diberikan gangguan dapat dianalisa bahwa:

- Waktu dari sistem untuk mencapai steady state adalah 31 menit dengan pengujian selama 39 menit dengan suhu awal 25°C .
- Sistem mengendalikan suhu mesin pada set point 85°C dengan hasil pembacaan sensor suhu sebesar 83°C atau steady state error sebesar 2°C (0.024%).
- Dari grafik respon pengujian sistem pada set point 85°C dapat disimpulkan bahwa alat ini dapat bekerja dengan sesuai perancangan.

Dari pengamatan pada pengujian sistem dengan gangguan suhu ruang bergerak turun saat sistem steady state kemudian diberikan gangguan maka terjadi respon under shot tetapi kemudian kembali steady state. Berdasarkan hasil pengujian dan analisa sistem secara keseluruhan kinerja dari sistem kontrol pendingin mesin mobil dengan logika fuzzy berbasis mikrokontroler dapat mengendalikan suhu mesin mobil dengan baik.

5 SIMPULAN

1. Pada saat sistem tidak diberikan gangguan (suhu ruang mesin diabaikan) waktu untuk mencapai steady state adalah 18 menit dari waktu pengujian selama 30 menit dengan nilai steady state error sebesar 1°C (0.012%).
2. Pada saat sistem diberikan gangguan suhu ruang mesin bergerak naik, waktu untuk mencapai steady state 28 menit dari waktu pengujian selama 38 menit dengan nilai steady state error sebesar 1°C (0.012%).
3. Pada saat sistem diberikan gangguan berupa suhu bergerak turun waktu untuk mencapai steady state 31 menit dalam waktu pengujian selama 39 menit dengan nilai steady state error sebesar 2°C (0.024%).

KEPUSTAKAAN

- [1] Budiharto, Widodo, *Perancangan Sistem dan Aplikasi Mikrokontroler*, Penerbit Elex Media Komputindo, Jakarta, 2005.
- [2] Kusumadewi S, Purnomo H. *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Graha Ilmu, Yogyakarta, 2010.
- [3] Ogata, Katsuhiko, *Discrete-Time Control System*, Prentice-Hall, New Jersey, 1995.
- [4] Singgih Santosa Benny, *Rancang Bangun Sistem Pengaturan Kecepatan, Coolpad Menggunakan Sistem Kontrol Logika Fuzzy*, Tugas Akhir, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS, Surabaya, 2010.
- [5] Wiedyanto Sandy, *Simulasi Sistem Kendali Temperatur Mesin Cat Oven Dengan Fuzzy Logic Controller*, Tugas Akhir, Universitas Budi Luhur, Jakarta, 2013
- [6] Yan & Ryan Powers, *Using Fuzzy Logic*, Prentice Hall, New York, 1994.