

# PENGGUNAAN FUZZY INFERENCE SYSTEM MODEL SUGENO PADA PENGENDALIAN SUHU RUANGAN

Wahyu Herman Susila<sup>1</sup>, Wahyudi<sup>2</sup>, Iwan Setiawan<sup>2</sup>

*Abstrak - Teknik kendali dengan menggunakan Fuzzy telah banyak diaplikasikan. Hal ini disebabkan sistem ini relatif mudah dan fleksibel, dirancang dengan tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang dikendalikan. Struktur dasar pengendali Fuzzy terdiri dari empat komponen utama, yaitu Fuzzifikasi, Basis Pengetahuan, Mekanisme Penalaran Fuzzy, dan Defuzzifikasi. Proses defuzzifikasi disebut juga Fuzzy Inference System (FIS). Tiap model FIS berbeda untuk perhitungan maupun respon keluarannya Pada teknik kendali ini digunakan FIS model Sugeno karena mudah dalam proses perhitungannya.*

*Tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat sebuah kendali Fuzzy dan mengamati respon sistem yang dihasilkan. Masukan dari sistem kendali Fuzzy ini adalah sinyal kesalahan dan perubahan nilai sinyal kesalahan, sedangkan keluarannya adalah hasil dari proses FIS (nilai byte) yang nantinya digunakan sebagai sinyal kontrol pada plant. Pengendalian pada plant adalah pengendalian suhu ruangan dalam kotak berbentuk balok yang dilengkapi dengan elemen pemanas dan sensor suhu. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kalang terbuka, pengujian referensi tetap, pengujian referensi naik, pengujian referensi turun, dan pengujian dengan gangguan.*

*Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa teknik kendali Fuzzy mampu menghasilkan respon seperti yang diharapkan, yaitu mampu mengurangi osilasi, nilai offset, dan sinyal kesalahan sampai dengan nol.*

**Kata kunci :** Fuzzy Inference System, model Sugeno, pengendalian suhu.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Logika fuzzy telah banyak diterapkan dalam bidang kontrol otomatis dan industri, karena proses kendali ini relatif mudah dan fleksibel dirancang dengan tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang akan dikendalikan. Dalam merancang sistem kontrol logika fuzzy terdapat empat proses yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan, mekanisme penalaran Fuzzy, dan defuzzifikasi. Proses defuzzifikasi disebut juga *Fuzzy Inference System* (FIS).

FIS berfungsi untuk mengkonversi tiap hasil mekanisme penalaran Fuzzy yang diekspresikan dalam bentuk Fuzzy-set ke bilangan real, hasil

konversi diaplikasikan pada kendali logika Fuzzy. Tiap model FIS berbeda untuk perhitungan maupun respon keluarannya. FIS model Sugeno dipilih karena kemudahan dalam proses perhitungannya.

Teknik kendali Fuzzy diuji atau diaplikasikan pada sebuah *plant* pengatur suhu ruangan. Sebuah PC (*Personal Computer*) dengan program kendali Fuzzy digunakan untuk pengendalian sekaligus untuk menampilkan respon dari sistem yang dikendalikan, sehingga karakteristik sistem termasuk di dalamnya adalah waktu tunda, waktu naik, waktu lonjakan, waktu penetapan, besarnya lonjakan maksimum, dan waktu pemulihan (*recovery time*) setelah pemberian gangguan dapat diamati. Penggunaan mikrokontroler AT89S51 adalah sebagai perangkat antarmuka (*interface*), yang berfungsi sebagai penghubung komunikasi antara PC dengan *plant* yang dikendalikan

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah membuat aplikasi sistem kendali Fuzzy pada pengendalian suhu ruangan yang proses defuzzifikasinya menggunakan *Fuzzy Inference System* model Sugeno.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. *Plant* yang dikendalikan adalah elemen pemanas dengan daya 150 W.
2. Objek pengaturan adalah temperatur ruangan dalam kotak dengan ukuran (40 × 20 × 22) cm, jangkauan pengaturan suhu adalah 35 °C sampai 65 °C.
3. Suhu *plant* dianggap merata di daerah yang diatur suhunya.
4. Suhu yang dijadikan referensi untuk perhitungan pada komputer adalah suhu hasil pembacaan dari sensor suhu LM35, tidak ada kalibrasi dengan peralatan pengukur suhu standar.
5. Kendali Fuzzy menggunakan FIS model Sugeno, fungsi keanggotaan masukan himpunan Fuzzy adalah segitiga dan trapesium, fungsi keanggotaan keluaran himpunan Fuzzy yang digunakan adalah singleton, metode pengambilan keputusan menggunakan aturan operasi minimum (*min*), dan

<sup>1</sup> Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Diponegoro

<sup>2</sup> Dosen Teknik Elektro Universitas Diponegoro

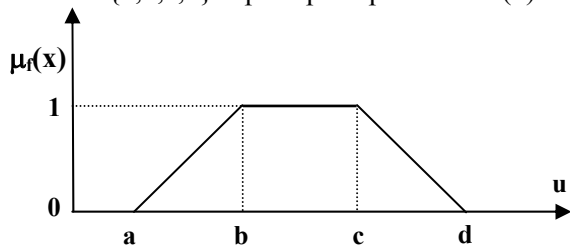
perhitungan nilai keluaran menggunakan rata-rata terbobot (*weighted average*).

6. Program kendali Fuzzy direalisasikan dengan bahasa pemrograman Delphi.
7. Respon sistem yang diamati adalah respon sistem dengan referensi tetap, respon sistem dengan referensi naik, respon sistem dengan referensi turun, dan respon sistem dengan gangguan sesaat berupa kipas angin.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Fungsi Keanggotaan

Dalam bentuk fungsional, derajat keanggotaan dinyatakan sebagai fungsi matematis tertentu. Untuk mengetahui derajat keanggotaan dari masing-masing elemen dalam semesta pembicaraan memerlukan perhitungan. Fungsi-fungsi matematis yang biasanya digunakan yaitu fungsi trapesium. Fungsi keanggotaan trapesium mempunyai bentuk seperti pada Gambar 1 dan dispesifikasikan oleh empat parameter {a,b,c,d} seperti pada persamaan (1).



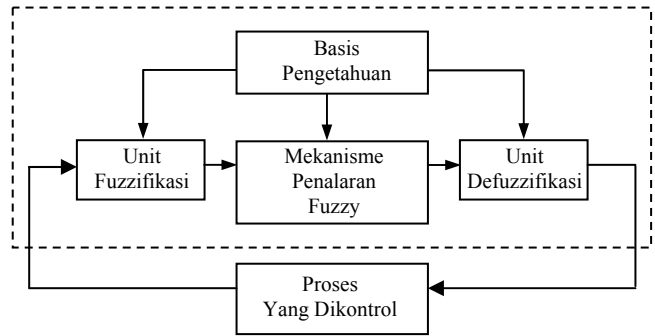
Gambar 1 Fungsi keanggotaan trapesium.

$$\text{Trapezium}(x;a,b,c,d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (1)$$

Parameter {a,b,c,d} (dengan  $a < b < c < d$ ) menentukan derajat keanggotaan dari x.

### 2.2 Dasar Kendali Fuzzy

Struktur dasar pengendali Fuzzy terdiri dari empat komponen utama, yaitu Unit Fuzzifikasi (*Fuzzification Unit*), Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*), Mekanisme Penalaran Fuzzy (*Fuzzy Reasoning*), dan Unit Defuzzifikasi (*Defuzzification Unit*). Struktur dasar pengendali Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Konfigurasi dasar kendali Fuzzy.

Penjelasan dari gambar di atas adalah sebagai berikut:

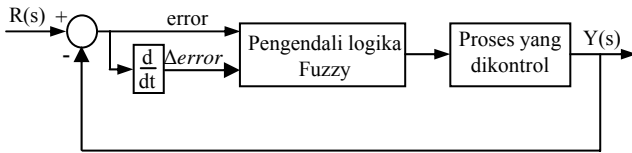
- **Unit Fuzzifikasi**  
Unit fuzzifikasi berfungsi untuk mengubah data masukan *crisp* ke dalam bentuk himpunan Fuzzy (derajat keanggotaan).
- **Basis Pengetahuan**  
Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan. Basis data mendefinisikan himpunan Fuzzy atas ruang-ruang masukan dan keluaran. Basis aturan berisi aturan (*rule*) pengendalian proses.
- **Mekanisme Penalaran Fuzzy**  
Mekanisme penalaran Fuzzy dipergunakan untuk mengolah variabel-variabel masukan berdasarkan basis aturan (*rule*) ke dalam suatu himpunan Fuzzy keluaran dengan derajat keanggotaan yang telah ditetapkan.
- **Unit Defuzzifikasi**  
Defuzzifikasi atau FIS menggunakan model Sugeno, yaitu mengkonversi himpunan Fuzzy keluaran ke bentuk bilangan *crisp* dengan metode perhitungan rata-rata terbobot (*weighted average*):

$$\text{Keluaran Crisp} = \frac{\sum (\text{Alpha}) \times (\text{Konsekuen})}{\sum (\text{Konsekuen})} \quad (2)$$

Alpha = Derajat keanggotaan parameter keluaran  
Konsekuen = Nilai parameter keluaran

### 2.3 Teknik Kendali Fuzzy

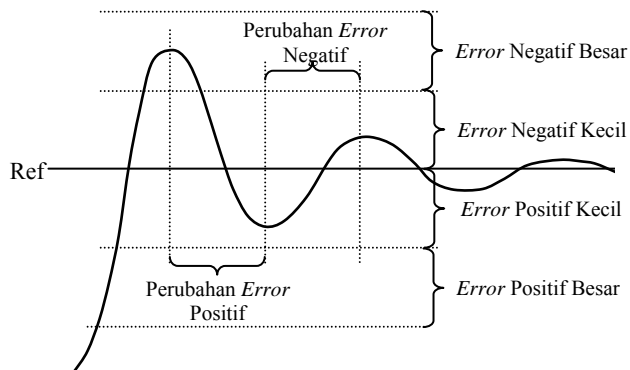
Teknik kendali Fuzzy merupakan sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia di dalam melakukan kendali terhadap suatu proses. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah pengendali berdasarkan logika Fuzzy adalah masukan dan keluaran aktual (*crisp*) serta semesta pembicaraan, faktor skala dari variabel masukan dan keluaran, fungsi keanggotaan yang digunakan untuk masukan dan keluaran, dan aturan Fuzzy yang digunakan. Sistem *loop* tertutup dengan pengendali Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem loop tertutup dengan kendali Fuzzy.

*Crisp Input* berupa masukan kesalahan (*error*) dan perubahan kesalahan ( $\Delta error$ ). *Error* dan  $\Delta error$  diperoleh dari nilai referensi, keluaran *plant*, dan *error* sebelumnya. Dua masukan tersebut akan diolah oleh pengendali Fuzzy. Nilai keluaran yang dihasilkan pengendali Fuzzy berupa *Crisp Output* (sinyal kontrol).

Dalam pengendalian Fuzzy terdapat proses evaluasi aturan-aturan (*rules*). Perancangan aturan dibuat berdasarkan analisis terhadap respon sinyal yang memiliki lonjakan maksimum dan berosilasi, kemudian menentukan besarnya keluaran yang diperlukan. Dalam analisis ini sinyal masukan dan sinyal keluaran digolongkan ke dalam batas-batas linguistik. Gambar sinyal respon sistem ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan basis aturan untuk kendali Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4 Respon sistem dengan lonjakan dan osilasi.

		$\Delta Error$				
		NB	NK	Z	PK	PB
Error	NB	NB	NB	NB	NK	Z
	NK	NB	NK	NK	Z	PK
	Z	NB	NK	Z	PK	PB
	PK	NK	Z	PK	PK	PB
	PB	Z	PK	PB	PB	PB

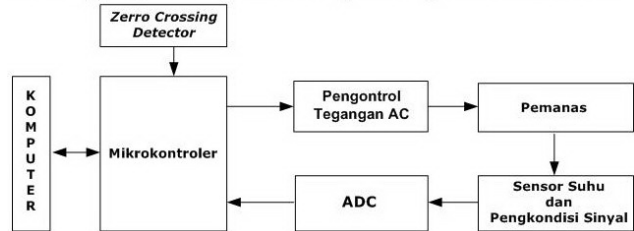
Keterangan:  
 NB : Negatif Besar  
 NK : Negatif Kecil  
 Z : Zero  
 PK : Positif Kecil  
 PB : Positif Besar

Gambar 5 Basis aturan pengendali Fuzzy.

### III. PERANCANGAN

#### 3.1 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras sistem pengendalian suhu terdiri dari pemanas, sensor suhu dan pengkondisi sinyal, ADC, pengontrol tegangan AC, *zero crossing detector*, mikrokontroler, dan komputer. Blok diagram sistem pengendali suhu ditunjukkan pada Gambar 6.



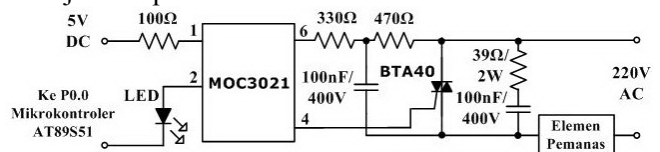
Gambar 6 Blok diagram sistem pengendali suhu.

Pengaturan suhu dilakukan dengan cara mengatur besarnya panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas melalui pemberian tegangan AC, besar tegangan yang diberikan diatur oleh rangkaian pengontrol tegangan AC. Besaran suhu sebagai hasil keluaran yang dihasilkan selama proses kemudian diukur oleh sensor suhu. Selanjutnya keluaran sensor dikuatkan oleh pengkondisi sinyal dan digunakan sebagai masukan ADC, kemudian keluaran ADC dihubungkan ke port di mikrokontroler. Data dari ADC dikirimkan ke komputer melalui komunikasi serial.

Masukan dari sensor disebut sebagai variabel *process value* yang kemudian dibandingkan dengan nilai *setpoint* (suhu yang dikehendaki). Kedua variabel tersebut diolah oleh komputer berdasarkan algoritma kontrol Fuzzy, kemudian hasil dari proses tersebut dikirim ke mikrokontroler. Selanjutnya data dari hasil proses komputer dan data keluaran *zero crossing detector* diolah dan digunakan sebagai masukan pada pengontrol tegangan AC. Peralatan komputer juga digunakan untuk menampilkan grafik respon sistem.

##### 3.1.1 Rangkaian Pengontrol Tegangan AC

Pengontrol tegangan AC adalah rangkaian pemacu (*trigger*) triac. Triac BTA40 berhubungan langsung dengan beban yaitu pemanas dan juga berhubungan langsung dengan tegangan jala-jala listrik 220 Volt. Rangkaian pengontrol tegangan AC ditunjukkan pada Gambar 7.

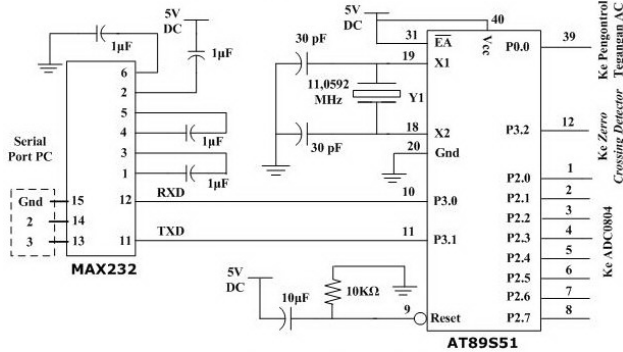


Gambar 7 Rangkaian pengontrol tegangan AC.



### 3.1.5 Rangkaian Antarmuka

Rangkaian antarmuka (*interface*) berfungsi sebagai penghubung komunikasi antara PC (*Personal Computer*) dengan perangkat *plant* yang dikendalikan, dua komponen penting dalam rangkaian ini adalah mikrokontroler AT89S51 dan IC RS232. Rangkaian antarmuka ditunjukkan pada Gambar 11.

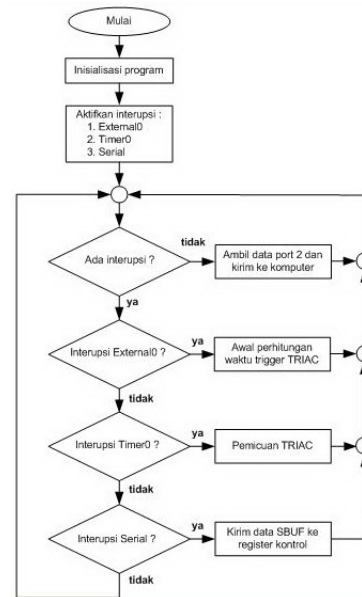


Gambar 11 Rangkaian antarmuka.

Mikrokontroler AT89S51 digunakan untuk mengatur aliran data dari PC ke program pengontrol tegangan AC dan dari ADC ke PC, sedangkan rangkaian RS232 sebagai komunikasi serial mikrokontroler dan PC. Untuk melakukan fungsi-fungsinya tersebut di atas, maka dilakukan pengalokasian terhadap port yang ada pada mikrokontroler AT89S51. Port 1 digunakan sebagai penerima masukan data dari ADC. P0.1 berfungsi sebagai keluaran menuju pengontrol tegangan AC, yang selanjutnya digunakan untuk pemberian sinyal picu triac yang akan digunakan untuk mengatur pemberian tegangan ke pemanas. Port 3 sebagian difungsikan sebagai masukan dan sebagian sebagai keluaran, yaitu P3.0 (RXD) dan P3.1 (TXD) untuk komunikasi serial melalui rangkaian RS232 dengan PC, sedangkan P3.2 (INT0) untuk interupsi eksternal dari *zero crossing detector*.

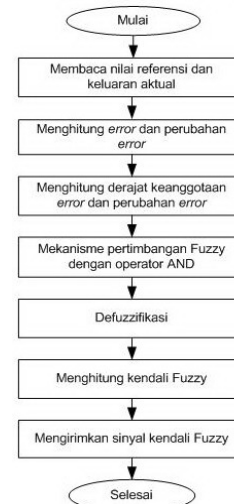
### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan adalah bahasa pemrograman Delphi 7 yang berfungsi untuk membuat program aplikasi kendali Fuzzy. Selain itu juga digunakan untuk membuat program monitor terhadap kondisi suhu *plant* yang dikendalikan dengan menampilkan grafik tanggapan respon sistem. Jenis perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman perangkat antarmuka (*interface*) adalah bahasa *assembler*. Diagram alir rutin program *assembler* untuk perangkat antarmuka ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Diagram alir pemrograman perangkat antarmuka.

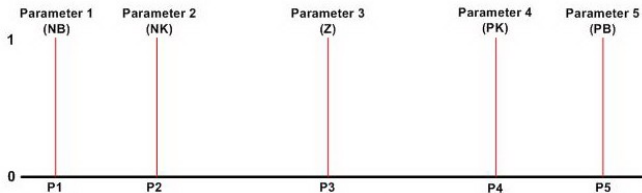
Kendali Fuzzy dirancang dengan tujuan untuk mempercepat respon sistem dan mengatasinya bila terjadi gangguan, sehingga keluaran dari *plant* cepat mencapai referensinya (*set point*). Diagram alir program kendali Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Diagram alir utama sistem kendali Fuzzy.

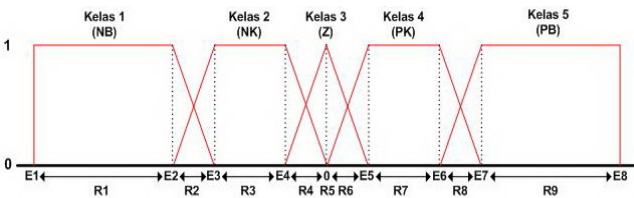
Pengendali Fuzzy yang dirancang memiliki dua buah masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, sedangkan keluaran pengendali Fuzzy menghasilkan nilai byte yang digunakan untuk menentukan tingkat pemanasan sebuah aktuator pemanas.

Himpunan Fuzzy untuk keluaran dibagi dalam 5 tingkat pemanasan yang berbentuk diskrit, nama linguistik kelima tingkatan ini adalah parameter. Kelima parameter ini adalah NB (Negatif Besar), NK (Negatif Kecil), Z (Zerro), PK (Positif Kecil), dan PB (Positif Besar). Realisasi bentuk dan batasan keluaran Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 14.

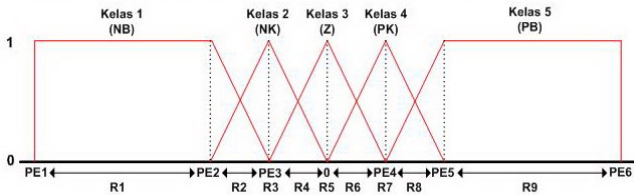


Gambar 14 Realisasi bentuk dan batasan keluaran Fuzzy.

Himpunan Fuzzy untuk masukan *error* dan perubahan *error* ( $\Delta error$ ), masing-masing dibagi menjadi 5 kelas variabel linguistik. Kelas variabel linguistik ini adalah NB (Negatif Besar), NK (Negatif Kecil), Z (Zerro), PK (Positif Kecil), dan PB (Positif Besar), tiap-tiap kelas ini lazim juga disebut sebagai sub-himpunan Fuzzy. Realisasi bentuk dan batasan masukan *error* dan perubahan *error* ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16.

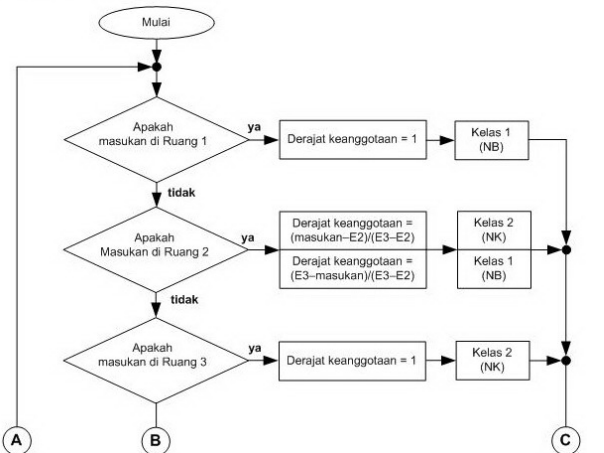


Gambar 15 Realisasi bentuk dan batasan masukan *error*.

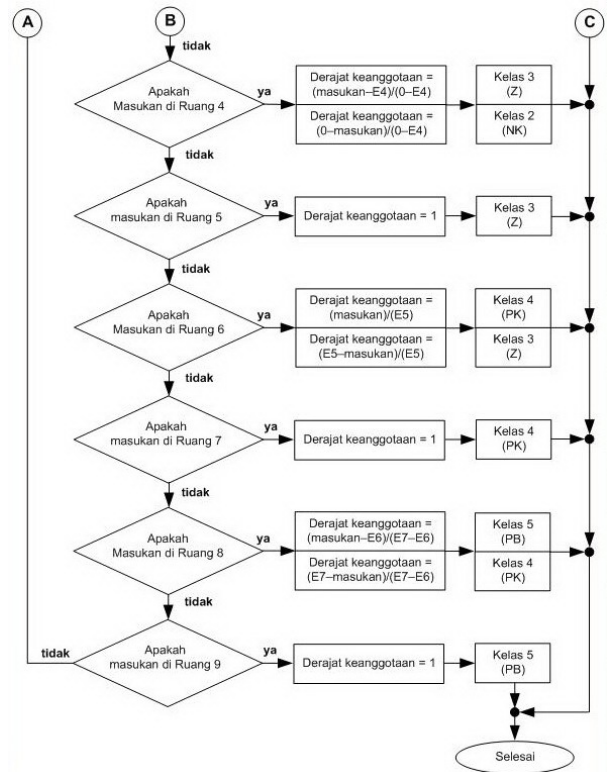


Gambar 16 Realisasi bentuk dan batasan masukan  $\Delta error$ .

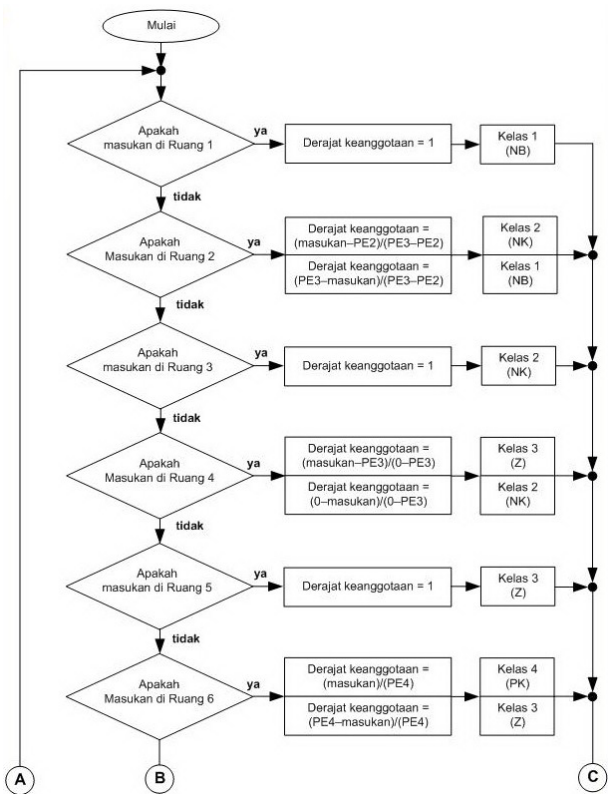
Realisasi bentuk masukan *error* dan perubahan *error* pada setiap kelasnya dapat berbentuk bahu, trapesium, atau segitiga, sedangkan batasannya dipetakan menjadi 9 ruang (R1 sampai R9). Diagram alir penghitung derajat keanggotaan *error* dan perubahan *error* ditunjukkan pada Gambar 17 dan Gambar 18.



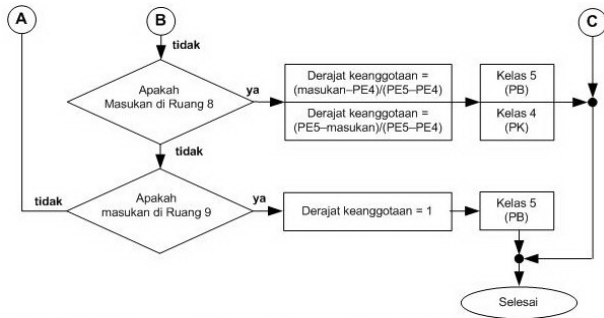
Gambar 17 Diagram alir penghitung derajat keanggotaan *error*.



Gambar 17 Diagram alir penghitung derajat keanggotaan *error* (Lanjutan).



Gambar 18 Diagram alir penghitung derajat keanggotaan  $\Delta error$ .



Gambar 18 Diagram alir penghitungan derajat keanggotaan  $\Delta error$  (Lanjutan).

Setelah menghitung derajat keanggotaan masukan *error* dan perubahan *error* ( $\Delta error$ ), tahap selanjutnya adalah evaluasi aturan-aturan (*rules*). Berdasarkan Gambar 5 dapat menjadi 25 aturan sebagai berikut:

If *error* is **NB** And  $\Delta error$  is **NB** Then  $\Delta output$  is **NB**  
 If *error* is **NB** And  $\Delta error$  is **NK** Then  $\Delta output$  is **NB**  
 If *error* is **NB** And  $\Delta error$  is **Z** Then  $\Delta output$  is **NB**  
 If *error* is **NB** And  $\Delta error$  is **PK** Then  $\Delta output$  is **NK**  
 If *error* is **NB** And  $\Delta error$  is **PB** Then  $\Delta output$  is **Z**

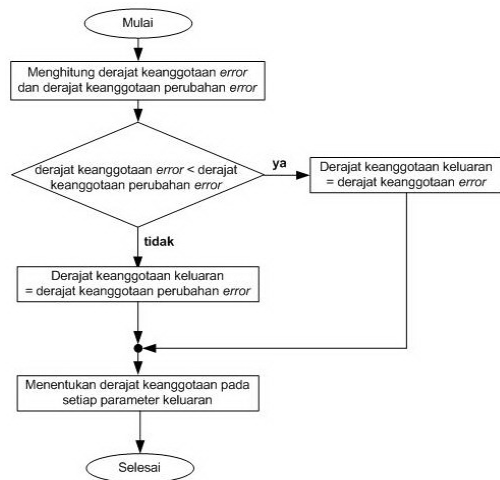
If *error* is **NK** And  $\Delta error$  is **NB** Then  $\Delta output$  is **NB**  
 If *error* is **NK** And  $\Delta error$  is **NK** Then  $\Delta output$  is **NK**  
 If *error* is **NK** And  $\Delta error$  is **Z** Then  $\Delta output$  is **NK**  
 If *error* is **NK** And  $\Delta error$  is **PK** Then  $\Delta output$  is **Z**  
 If *error* is **NK** And  $\Delta error$  is **PB** Then  $\Delta output$  is **PK**

If *error* is **Z** And  $\Delta error$  is **NB** Then  $\Delta output$  is **NB**  
 If *error* is **Z** And  $\Delta error$  is **NK** Then  $\Delta output$  is **NK**  
 If *error* is **Z** And  $\Delta error$  is **Z** Then  $\Delta output$  is **Z**  
 If *error* is **Z** And  $\Delta error$  is **PK** Then  $\Delta output$  is **PK**  
 If *error* is **Z** And  $\Delta error$  is **PB** Then  $\Delta output$  is **PB**

If *error* is **PK** And  $\Delta error$  is **NB** Then  $\Delta output$  is **NK**  
 If *error* is **PK** And  $\Delta error$  is **NK** Then  $\Delta output$  is **Z**  
 If *error* is **PK** And  $\Delta error$  is **Z** Then  $\Delta output$  is **PK**  
 If *error* is **PK** And  $\Delta error$  is **PK** Then  $\Delta output$  is **PK**  
 If *error* is **PK** And  $\Delta error$  is **PB** Then  $\Delta output$  is **PB**

If *error* is **PB** And  $\Delta error$  is **NB** Then  $\Delta output$  is **Z**  
 If *error* is **PB** And  $\Delta error$  is **NK** Then  $\Delta output$  is **PK**  
 If *error* is **PB** And  $\Delta error$  is **Z** Then  $\Delta output$  is **PB**  
 If *error* is **PB** And  $\Delta error$  is **PK** Then  $\Delta output$  is **PB**  
 If *error* is **PB** And  $\Delta error$  is **PB** Then  $\Delta output$  is **PB**

Sesuai dengan basis aturan yang telah dibuat, selanjutnya sistem Fuzzy melakukan evaluasi terhadap derajat keanggotaan dari masukan *error* dan perubahan *error* untuk menentukan derajat keanggotaan parameter keluaran dari setiap aturan. Operator yang digunakan pada aturan adalah operator AND. Diagram alir mekanisme pengambilan keputusan ditunjukkan pada Gambar 19.

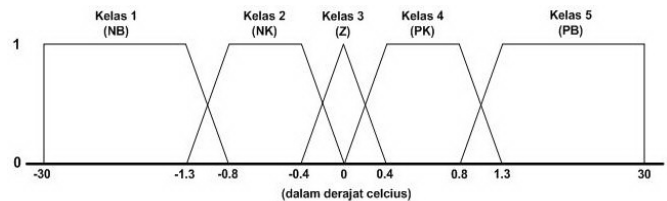


Gambar 19 Diagram alir mekanisme pengambilan keputusan.

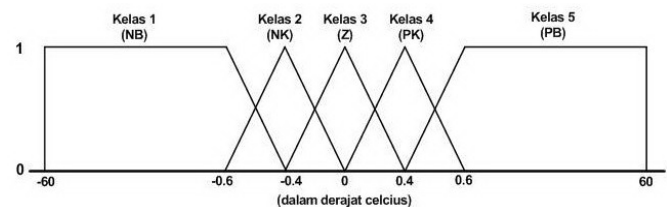
Setelah proses mekanisme pengambilan keputusan, langkah berikutnya proses defuzzifikasi atau *Fuzzy Inference System* (FIS). Berdasarkan hasil derajat keanggotaan parameter keluaran (Gambar 19) dan nilai parameter keluaran (Gambar 14), dilakukan proses FIS model Sugeno yaitu dengan metode perhitungan rata-rata terbobot (*weighted average*) seperti pada persamaan (2)

### 3.3 Parameter Kendali Fuzzy

Dalam perancangan kendali Fuzzy telah ditetapkan aturan-aturan yang digunakan, adapun bentuk dan batasan dari fungsi keanggotaan himpunan Fuzzy masukan dan himpunan Fuzzy keluaran merupakan variabel yang dapat diubah sesuai dengan performansi yang diinginkan pengguna. Bentuk dan batasan himpunan Fuzzy masukan *error* dan masukan  $\Delta error$  ditunjukkan pada Gambar 20 dan Gambar 21.

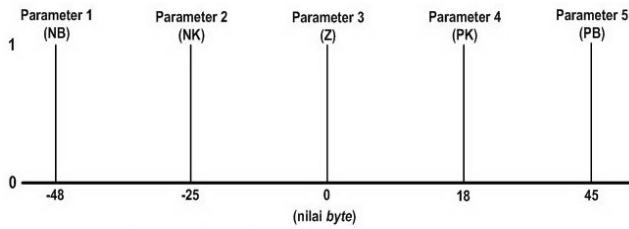


Gambar 20 Bentuk dan batasan himpunan Fuzzy masukan *error*.



Gambar 20 Bentuk dan batasan himpunan Fuzzy masukan  $\Delta error$ .

Bentuk dan batasan himpunan Fuzzy keluaran singleton ditunjukkan pada Gambar 22.

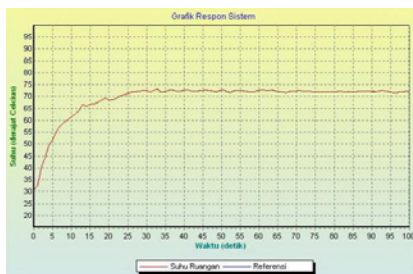


Gambar 22 Bentuk dan batasan keluaran Fuzzy.

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

##### 4.1 Pengujian Kalang Terbuka

Untuk mengetahui karakteristik *plant* suhu yang akan dikendalikan, maka dapat dilakukan dengan pengujian secara kalang terbuka. Pengujian kalang terbuka ini dilakukan dengan cara mengirimkan data dengan jangkauan antara 0 sampai 82 byte, data tersebut dikirimkan komputer ke mikrokontroler. Bila dikirimkan data 82 byte akan menyebabkan *plant* suhu menghasilkan tingkat pemanasan yang maksimal, sedangkan data 0 byte akan menyebabkan *plant* suhu menghasilkan pemanasan yang minimal. Nilai konstanta waktu sistem ( $T$ ) adalah besarnya waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu 0,632 dari suhu stabil. Respon pengujian kalang terbuka ditunjukkan pada Gambar 23.



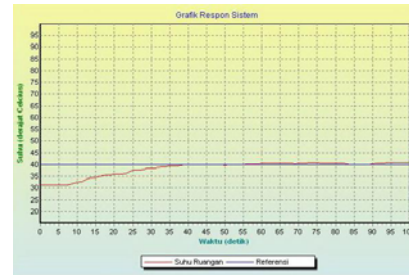
Gambar 23 Grafik respon sistem pada pengujian kalang terbuka.

Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan data 82 byte. Berdasarkan respon hasil pengujian terlihat bahwa pada suhu awal 30,588 °C, setelah 30 detik suhu *plant* stabil pada suhu 72,353 °C. Suhu untuk mendapatkan konstanta waktu sistem bernilai  $(0,632 \times (72,353 - 30,588) \text{ } ^\circ\text{C}) + 30,588 \text{ } ^\circ\text{C} = 56,983 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Berdasarkan respon hasil pengujian terlihat pada suhu 56,983 °C waktunya 6,7 detik, jadi besarnya konstanta waktu sistem adalah 6,7 detik.

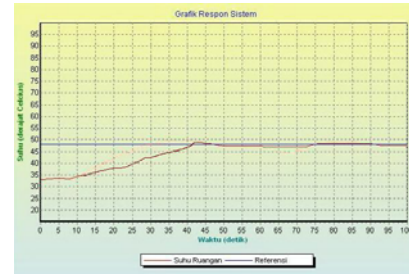
##### 4.2 Pengujian Sistem dengan Referensi Tetap

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai referensi tertentu untuk mendapatkan grafik responnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui respon untuk tiap-tiap nilai referensi. Nilai referensi yang diujikan adalah 40 °C, 46 °C, dan 56 °C. Respon hasil pengujian referensi tetap ditunjukkan pada Gambar

24, sedangkan karakteristik respon sistem pada referensi tetap ditunjukkan oleh Tabel 1.



(a) Referensi 40 °C.



(b) Referensi 48 °C.



(b) Referensi 56 °C.

Gambar 24 Grafik respon sistem pengujian referensi tetap.

Tabel 1 Karakteristik respon sistem pada referensi tetap.

Rf	X <sub>0</sub>	t <sub>r</sub>	t <sub>p</sub>	Lm	t <sub>s</sub>	X <sub>t</sub>	Ofs
40	31,176	39,98	-	-	84	41,176	1,176
48	32,941	43,5	33	1,91	74,9	47,058	-0,942
56	33,529	73,8	74	0,078	93,13	55,921	-

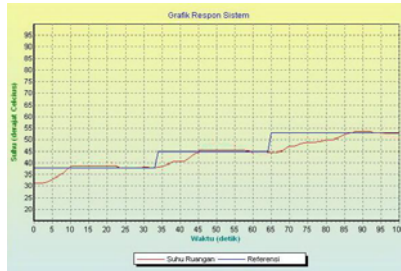
Keterangan:

- Rf = Nilai referensi (°C)
- X<sub>0</sub> = Suhu awal (°C)
- t<sub>r</sub> = Waktu naik (detik)
- t<sub>p</sub> = Waktu puncak (detik)
- Lm = Lonjakan maksimum (°C)
- t<sub>s</sub> = Waktu penetapan (detik)
- X<sub>t</sub> = Suhu akhir (°C)
- Ofs = Nilai offset (°C)

Waktu naik dari tiap pengujian memiliki nilai yang berbeda, hal tersebut karena perbedaan selisih antara suhu awal dan nilai referensi pada tiap pengujian berbeda. Nilai selisih untuk referensi 40 °C, referensi 48 °C, dan referensi 56 °C adalah 8,824 °C, 15,059 °C, dan 22,471 °C.

### 4.3 Pengujian Sistem dengan Referensi Naik

Pengujian dengan referensi naik bertujuan bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon kendali Fuzzy terhadap kenaikan nilai referensi. Respon pengujian referensi naik ditunjukkan pada Gambar 25, sedangkan karakteristik respon sistem pada referensi naik ditunjukkan oleh Tabel 2.



Gambar 25 Grafik respon sistem pengujian referensi naik.

Tabel 2 Karakteristik respon sistem pada referensi naik.

Rf	X <sub>0</sub>	t <sub>r</sub>	t <sub>p</sub>	Lm	t <sub>s</sub>	X <sub>t</sub>	Ofs
38	31,176	9,56	13	1,121	23,75	38,015	-
45	38,015	12,15	12,68	0,889	26,31	44,919	-
56	44,919	22,65	24,1	0,919	29,35	55,333	-0,667

Keterangan:

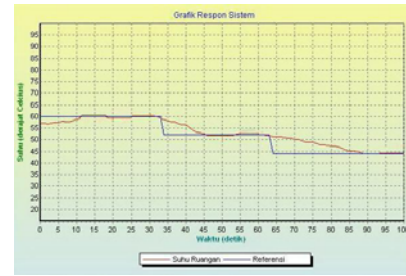
Rf = Nilai referensi (°C)  
 X<sub>0</sub> = Suhu awal (°C)  
 t<sub>r</sub> = Waktu naik (detik)  
 t<sub>p</sub> = Waktu puncak (detik)  
 Lm = Lonjakan maksimum (°C)  
 t<sub>s</sub> = Waktu penetapan (detik)  
 X<sub>t</sub> = Suhu akhir (°C)  
 Ofs = Nilai offset (°C)

Respon sistem pada pengujian referensi naik memperlihatkan bahwa terjadi lonjakan untuk tiap pengujiannya. Lonjakan maksimum pada pengujian referensi 38 °C, referensi 45 °C dan referensi 56 °C sebesar 2,95 %, 1,98 %, dan 1,64 %. *Offset* terjadi pada pengujian 56 °C sebesar 0,667 di bawah nilai referensi, hal ini karena keterbatasan tingkat ketelitian ADC yaitu kenaikan 1 bit mewakili kenaikan suhu 0,588 °C.

Perbedaan waktu naik terjadi karena perbedaan nilai selisih antara suhu awal dan nilai referensi. Nilai selisih untuk referensi 38 °C, referensi 45 °C, dan referensi 56 °C adalah 6,824 °C, 6,985 °C, dan 11,081 °C.

### 4.4 Pengujian Sistem dengan Referensi Turun

Pengujian dengan referensi naik bertujuan bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon kendali Fuzzy terhadap penurunan nilai referensi. Respon hasil pengujian referensi turun ditunjukkan pada Gambar 26, sedangkan karakteristik respon sistem pada referensi turun ditunjukkan oleh Tabel 3.



Gambar 26 Grafik respon sistem pengujian referensi turun.

Tabel 3 Karakteristik respon sistem pada referensi turun.

Rf	X <sub>0</sub>	t <sub>r</sub>	t <sub>p</sub>	Lm	t <sub>s</sub>	X <sub>t</sub>	Ofs
60	57,058	11,25	12,01	0,669	19,13	59,924	-
52	59,924	-	-	-	20,7	51,776	-
44	51,776	-	-	-	25	44,647	0,647

Keterangan:

Rf = Nilai referensi (°C)  
 X<sub>0</sub> = Suhu awal (°C)  
 t<sub>r</sub> = Waktu naik (detik)  
 t<sub>p</sub> = Waktu puncak (detik)  
 Lm = Lonjakan maksimum (°C)  
 t<sub>s</sub> = Waktu penetapan (detik)  
 X<sub>t</sub> = Suhu akhir (°C)  
 Ofs = Nilai offset (°C)

Pengujian referensi turun memperlihatkan bahwa pada suhu 44 °C nilai referensi tidak tercapai karena keluaran respon sistem cenderung stabil pada suhu 44,647 °C, ini berarti terjadi *offset* sebesar 0,647 di atas nilai referensi. Waktu penetapan pada pengujian referensi 44 °C lebih lama dibanding pengujian lainnya, sedangkan lonjakan maksimum terjadi pada pengujian referensi 60 °C sebesar 1,12 %.

### 4.5 Pengujian Sistem dengan Gangguan

Daya tahan sistem terhadap gangguan dan kecepatan respon sistem untuk kembali ke referensi sebelum gangguan, dapat diketahui dengan melakukan pengujian dengan memberikan gangguan pada sistem yang telah mencapai kestabilan pada suatu nilai referensi. Respon *plant* terhadap gangguan ditunjukkan pada Gambar 27.



Gambar 27 Grafik respon sistem pengujian dengan gangguan.

Gangguan yang diberikan dengan cara menyalakan kipas angin secara sesaat, kipas tersebut kemudian menyerap udara keluar sehingga suhu *plant* akan turun. Waktu yang diperlukan untuk kembali ke referensi semula disebut waktu pemulihan.

Pengujian dengan gangguan dimulai dengan menetapkan suhu referensi yaitu 45 °C dengan suhu awal 37,588 °C. Lonjakan maksimum terjadi pada waktu 23,75 detik, kemudian respon sistem mulai stabil setelah 34,1 detik. Setelah 48,83 detik kipas angin mulai dinyalakan sesaat, sekitar  $\pm 9,17$  detik. Selanjutnya diketahui bahwa suhu dalam *plant* turun sampai dengan 33,921 °C pada detik ke 58. Setelah pemberian gangguan, respon sistem berangsur-angsur kembali ke referensi sebelumnya pada detik ke 88,98. Waktu pemulihan dari pengujian tersebut adalah 30,98 detik.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan pengujian secara kalang terbuka didapatkan konstanta waktu sistem sebesar 6,7 detik.
2. Waktu naik dari respon sistem akan semakin lama bila nilai referensi semakin tinggi.
3. Pada pengujian dengan nilai referensi tetap tertentu, waktu naik untuk tiap pengujiannya nilainya semakin besar.
4. Respon sistem dikatakan mengalami offset bila selisih antara suhu akhir dan nilai referensi tidak melebihi 0,588 °C.
5. Pada pengujian referensi naik, lonjakan maksimum untuk tiap pengujiannya nilainya semakin kecil.
6. Nilai offset bernilai negatif jika suhu akhir di bawah nilai referensi, sedangkan bernilai positif jika suhu akhir di atas nilai referensinya.
7. Pada pengujian referensi turun, waktu penetapan untuk tiap pengujiannya nilainya semakin besar.
8. Pada pengujian dengan gangguan didapatkan nilai waktu pemulihan sebesar 30,98 detik.

### 5.2 Saran

Beberapa saran dari pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mempercepat respon sistem terhadap kenaikan suhu perlu ditambahkan pemanas, sedangkan untuk mempercepat respon terhadap penurunan suhu perlu ditambahkan pendingin.
2. Bila diinginkan hasil respon sistem yang baik, maka dapat dicoba dengan mengubah dan

mengatur basis aturan serta fungsi keanggotaan pada pengendali logika Fuzzy, atau menggunakan ADC 12 bit yang memiliki resolusi lebih tinggi.

3. Untuk mengetahui performansi kendali Fuzzy pada sistem, maka dapat diuji misalnya untuk pengendalian suhu dan kelembaban, atau pengendalian kecepatan putaran motor.
4. Untuk karakteristik pengendali sistem yang lain, maka *plant* dapat diaplikasikan pada jenis pengendali yang lain misalnya kendali hibrid PI Fuzzy, kendali ANFIS, atau Jaringan Syaraf Tiruan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiharto, Widodo., *Interfacing Komputer dan Mikrokontroler*, Elexmedia komputindo, Jakarta, 2004.
- [2] Carr, Joseph J., *Sensors and Circuits*, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1993.
- [3] Jamsidi Mohammad, Nader Vadiac and Timothy J Ross, *Fuzzy Logic and Control: Software and Hardware Applications*, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1993.
- [4] Kusumadewi, Sri., *Analisis & Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2002.
- [5] Nalwan, Paulus Andi., *Panduan Praktis Teknik Antarmuka dan Pemrograman Mikrokontroler AT89C51*, Gramedia, Jakarta, 2003.
- [6] Ogata, Katsuhiko., *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1996.
- [7] Passino, Kevin M. dan Yurkovich, Stephen, *Fuzzy Control*, Adisson Wesley Longman Inc., California, 1997.
- [8] Rashid, Muhammad., *Power Electronics, Circuit, Devices and Applications, Second Edition*, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1988.
- [9] Sutikno, *Perbandingan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali Logika Fuzzy (Studi Kasus Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC)*, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.

**BIOGRAFI PENULIS**



Wahyu Herman Susila, lahir di Batang, 14 Juni 1980. Mahasiswa Teknik Elektro Ekstensi 2003, Bidang Konsentrasi Teknik Kontrol Universitas Diponegoro.

**Menyetujui dan Mengesahkan,**

**Pembimbing I,**

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke extending to the left.

Wahyudi, S.T., M.T.  
NIP 132 086 662  
Tanggal .....

**Pembimbing II,**

A handwritten signature in black ink, featuring a prominent vertical stroke and a few smaller loops.

Iwan Setiawan, S.T., M.T.  
NIP 132 283 183  
Tanggal .....