

**KONTROL DAN *MONITORING* SUHU PEMANAS UDARA
MENGUNAKAN PENGENDALI *FUZZY LOGIC*
CONTROLLER (FLC)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro



Oleh:

Nama : Defri Pramono

No. Mahasiswa : 07524029

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2012

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**KONTROL DAN MONITORING SUHU PEMANAS UDARA
MENGUNAKAN PENGENDALI FUZZY LOGIC
CONTROLLER (FLC)**

TUGAS AKHIR



Oleh:

Nama : Defri Pramono

No. Mahasiswa : 07524029

Yogyakarta, Desember 2011

Menyetujui,

Pembimbing Tunggal

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Dwi Ana Ratna Wati', is written over the text 'Pembimbing Tunggal'.

(Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng.)

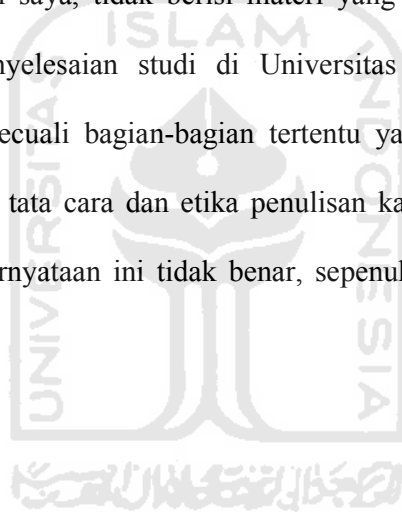
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama : Defri Pramono

No. Mahasiswa : 075240329

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri, dan sepanjang sepengetahuan saya, tidak berisi materi yang ditulis oleh orang lain sebagai persyaratan penyelesaian studi di Universitas Islam Indonesia atau perguruan tinggi lain, kecuali bagian-bagian tertentu yang saya ambil sebagai acuan dengan mengikuti tata cara dan etika penulisan karya ilmiah yang lazim. Jika ternyata terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya.



Yogyakarta, Desember 2011

Defri Pramono

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
KONTROL DAN *MONITORING* SUHU PEMANAS UDARA
MENGGUNAKAN PENGENDALI *FUZZY LOGIC CONTROLLER*
(FLC)

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : Defri Pramono

No. Mahasiswa : 07524029

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat

untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, Maret 2012

Tim Penguji,

Dwi Ana Ratna Wati, ST, M. Eng.

Ketua

Dr. Eng. Hendra Setiawan, ST., MT.

Anggota I

Tito Yuwono, ST, M. Sc.

Anggota II

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia



Tito Yuwono, ST, M.Sc.


.....


.....


.....

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya Ini Aku Persembahkan

Dari Sebuah Amanah:

"Endang Lulus, Lek Golek Kerjo"...???



HALAMAN MOTTO

**Tak Ada Rahasia Untuk Menggapai Sukses. Sukses itu
Dapat Terjadi Karena Persiapan, Kerja Keras dan Mau
Belajar Dari Kegagalan.**

**Belajar Memang Melelahkan, Namun Lebih Lelah Nanti
Kelak Jikalau Saat Ini Tidak Belajar.**



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb

Syukur Alhamdulillah tak henti- hentinya dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang mana telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dan semoga Tugas Akhir ini akan bermanfaat bagi orang banyak nantinya. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta para keluarganya, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Semoga kita menjadi umat-umatnya yang mendapatkan syafaat beliau di yaumul akhir nanti.

Alhamdulillah sekali lagi penulis ucapkan, karena akhirnya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Kontrol Dan Monitoring Suhu Pemanas Udara Menggunakan Pengendali *Fuzzy Logic Controller* (FLC)”. Sungguh banyak kisah dan pengalaman yang sangat mengesankan selama mengerjakan tugas akhir ini. Adapun dalam tugas akhir ini membahas tentang perancangan Pengendali *Fuzzy Logic Controller* (FLC), sehingga menghasilkan sebuah alat yang bisa mengendalikan suhu udara pada suhu tertentu.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, dukungan, kerjasama, fasilitas dan kemudahan lainnya kepada beberapa pihak antara lain:

1. Bapak Tito Yuwono, ST, M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.

2. Ibu Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng. Selaku Pembimbing Tunggal Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan tentang pengendali FLC sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro, terima kasih atas bimbingan selama saya kuliah di Jurusan Teknik Elektro.
4. Mas Heri dan Mas Anwar, yang selalu menyediakan tempat, alat-alat dan komponen di laboratorium.
5. Teman-teman; Agus, Hardi, Ari, Erik, Hifni, Insan, Irdan Rudi, Sapta, Adam, Iwan dan teman-teman elektro '07 yang telah memberikan dukungan kepadaku.
6. Bapak, Mamak, Abangku, Kakaku, Adiku dan seluruh Saudaraku di Riau & Jateng yang senantiasa memberikan dukungan baik moril maupun materiil, semangat dan doa yang diberikan kepada penulis selama ini.
7. *Special thank's to;* Istriku tercinta yang telah mendampingiku sampai detik ini.
8. Dan banyak pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan seluruhnya yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini disebabkan karena keterbatasan kemampuan dan kurangnya pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif dan solutif dari semua

pembaca untuk kebaikan dan kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi siapa saja yang membutuhkan.

Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, Desember 2011



Penulis

ABSTRAKSI

Penelitian ini fokus pada *control* dan *monitoring* suhu *air heater* dengan menggunakan *fuzzy logic controller* (FLC). *Control* dan *monitoring* sistem dilakukan secara *real time* pada sebuah PC dengan menggunakan program LabVIEW sebagai *Graphical User Interface* (GUI)-nya, sedangkan proses akuisisi datanya menggunakan NI USB-6009. Perancangan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) menggunakan LabVIEW *PID and Fuzzy Logic Toolkit*. FLC yang dirancang mempunyai 2 buah *crisp input* yaitu *error* (e) dan *change of error* (Δe), dan mempunyai 1 buah *crisp output* yaitu *change of voltage* (Δu), dengan metode inferensi Max-Min dan metode defuzzifikasi *Center of Area* (COA). Jumlah label yang digunakan untuk perancangan ada 5 label dengan tipe segitiga dan *trapezoid*, dengan 25 *rules*. Pada pengujian dengan suhu referensi 70 °C dan suhu awal 28 °C, didapatkan *rise time* sebesar 64.3334 detik, *settling time* 89.135 detik dan *overshoot* sebesar 0.1112 %. Pada pengujian dengan suhu referensi naik dan turun, FLC yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan mampu beroperasi secara baik pada rentang suhu naik 40 °C - 70 °C dan pada rentang suhu turun 70 °C - 40 °C. Pemberian dua buah gangguan berupa solder panas dan es, dengan suhu awal 28 °C pada gangguan berupa solder panas sehingga membuat suhu *plant* naik sampai 45.77423 °C dan dibutuhkan waktu 38.5781 detik untuk kembali ke suhu referensi dengan gangguan solder panas. Gangguan berupa es dengan suhu awal 28 °C, sehingga membuat suhu *plant* turun sampai 47.703317 °C dan dibutuhkan waktu 108.2344 detik untuk kembali ke suhu referensi.

Kata kunci: *Fuzzy Logic Controller*, kendali suhu, LabVIEW

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan Pembimbing	ii
Lembar Pernyataan Keaslian	iii
Lembar Pengesahan Penguji	iv
Halaman Persembahan	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar	vii
Abstraksi	x
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xv
Daftar Tabel	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka	8



2.2	Fuzzy Logic Controller (FLC)	10
2.2.1	Himpunan Fuzzy	11
2.2.2	Operasi Himpunan Fuzzy	11
2.2.3	Pengendali Fuzzy Logic Controller (FLC)	13
2.2.3.1	Fuzzifikasi	14
2.2.3.2	Basis Aturan (<i>Rule Base</i>)	15
2.2.3.3	Inferensi	16
2.2.3.4	Defuzzifikasi	18
2.3	NI USB-6009	21
2.3.1	Konstruksi NI USB-6009	23
2.3.2	<i>Input</i> Analog	23
2.3.3	<i>Output</i> Analog	25
2.4	LabVIEW	26
2.5	Sensor Suhu LM35	28
2.6	IC TCA 785	29
2.7	Kontrol Fasa Tegangan AC 1 Φ	32
2.8	TRIAC	35
2.9	<i>Optocoupler</i>	36
2.10	Penguat Operasional (Op-Amp)	37
BAB III PERANCANGAN SISTEM		
3.1	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	42
3.1.1	Rangkaian Penguat Sensor Suhu LM35	42
3.1.2	Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol	43

3.1.3	Rangkaian Pengontrol Sudut Fasa Tegangan AC	44
3.1.4	Rangkaian Saklar Elektronik	46
3.1.5	Rangkaian <i>Stirrer</i> (Pendorong Udara Dan Pendingin)	46
3.2	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	48
3.2.1	Pengendali Fuzzy Logic Controller (FLC)	48
3.2.1.1	Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)	51
3.2.1.1.1	Himpunan Fuzzy Input 1 “Error”	52
3.2.1.1.2	Himpunan Fuzzy Input 2 “Change of Error”	53
3.2.1.1.3	Himpunan fuzzy Output “Change of Voltage”	54
3.2.1.2	Pembuatan <i>Rules</i>	54
3.2.1.2	Karakteristik I/O Fuzzy Logic Controller (FLC)	57
3.2.2	Perancangan GUI	58
BAB IV PENGUJIAN, ANALISIS DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengujian Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	64
4.1.1	Pengujian Rangkaian Penguat Sensor LM 35	64
4.1.2	Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol	67
4.1.3	Pengujian Rangkaian Driver AC	69
4.1.4	Pengujian Rangkaian <i>Stirrer</i>	73
4.2	Pengujian Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	73
4.2.1	Pengujian <i>Analog Input</i> pada LabVIEW	73
4.2.2	Pengujian <i>Analog Ouput</i> pada LabVIEW	76
4.3	Pengujian Sistem Pengendali Fuzzy Logic controller (FLC)	77
4.3.1	Pengujian pada Variasi Fungsi Keanggotaan Error	77

4.3.2	Pengujian pada Referensi Naik dan turun	81
4.3.3	Pengujian dengan Pemberian Gangguan	83
4.3.5	Pengujian dengan Metode Defuzzifikasi MOM	85
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	88
5.2	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik fungsi keanggotaan himpunan <i>crisp</i> dan fuzzy	11
Gambar 2.2 Struktur dasar pengendali FLC	14
Gambar 2.3 Tipe fungsi keanggotaan fuzzy	15
Gambar 2.4 Metode Max-Min	17
Gambar 2.5 Metode Max-Product	18
Gambar 2.6 Metode defuzzifikasi	20
Gambar 2.7 NI USB-6009	21
Gambar 2.8 Blok diagram NI USB-6009	23
Gambar 2.9 Skema mode diferensial	24
Gambar 2.10 Skema mode RSE	25
Gambar 2.11 <i>Connecting load</i> AO	26
Gambar 2.12 <i>Analog input</i> pada panel	27
Gambar 2.13 <i>Analog output</i> pada panel	27
Gambar 2.14 Aplikasi dasar LM35 sebagai sensor suhu	28
Gambar 2.15 Bentuk fisik IC TCA 785	29
Gambar 2.16 Konfigurasi pin IC TCA 785	29
Gambar 2.17 Diagram pulsa IC TCA 785	32
Gambar 2.18 Rangkaian pengontrol gelombang penuh satu fasa	33
Gambar 2.19 Bentuk gelombang pengontrol gelombang penuh sata fasa	34
Gambar 2.20 (a) Rangkaian ekivalen TRIAC	35
(b) Simbol TRIAC	35

Gambar 2.21 Karakteristik TRIAC	36
Gambar 2.22 Skema <i>optocoupler</i>	37
Gambar 2.23 Diagram skematis Op-Amp	38
Gambar 2.24 Penguat <i>non-inverting</i>	39
Gambar 2.25 Hubungan sinyal <i>input-output</i> penguat <i>non-inverting</i>	39
Gambar 3.1 Blok diagram sistem kendali suhu <i>air heater</i>	40
Gambar 3.2 Blok diagram sistem pengendali FLC	41
Gambar 3.3 Rangkaian penguat sensor suhu LM35	42
Gambar 3.4 Rangkaian penguat tegangan kontrol	43
Gambar 3.5 Rangkaian pengontrol fasa	44
Gambar 3.6 Rangkaian saklar elektronik	46
Gambar 3.7 Rangkaian <i>stirrer</i>	47
Gambar 3.8 Grafik respon sistem dengan kalang terbuka	49
Gambar 3.9 Himpunan fuzzy <i>input1 error</i>	52
Gambar 3.10 Himpunan fuzzy <i>input2 change of error</i>	54
Gambar 3.11 Himpunan fuzzy <i>output change of voltage</i>	54
Gambar 3.12 Sistem <i>step respon</i>	55
Gambar 3.13 Karakteristik input/output (a) <i>error</i> dan (b) <i>d-error</i>	57
Gambar 3.14 GUI pengendali suhu <i>water heater</i>	59
Gambar 3.15 Blok diagram pengendali suhu pada LabVIEW	61
Gambar 4.1 Grafik hubungan tegangan keluaran LM35 dengan Op-Amp	65
Gambar 4.2 Grafik hubungan suhu thermometer dengan suhu diLabVIEW	67
Gambar 4.3 Grafik hubungan tegangan kanal AO NI USB-6009	

dengan Op-Amp	69
Gambar 4.4 Prosedur pengujian driver AC	70
Gambar 4.5 Grafik hubungan tegangan kontrol dengan tegangan beban	72
Gambar 4.6 Blok manipulasi suhu pada LabVIEW	75
Gambar 4.7 GUI untuk <i>analog input</i>	75
Gambar 4.8 GUI untuk <i>analog input</i>	76
Gambar 4.9 Respon sistem pada variasi <i>range</i> fungsi keanggotaan <i>error</i>	78
Gambar 4.10 Grafik respon sistem pada suhu referensi naik	82
Gambar 4.11 Respon <i>plant</i> dengan gangguan	84
Gambar 4.12 Respon sistem dengan metode defuzzifikasi MOM	86



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Fungsi setiap pin terminal analog	24
Tabel 2.2 Deskripsi fungsi pin-pin IC TCA 785	30
Tabel 3.1 Sebagian data dengan sistem kalang terbuka	50
Tabel 3.2 Sebagian <i>rule</i> dan penjelasannya	56
Tabel 3.3 <i>Rules</i> untuk <i>output</i>	57
Tabel 4.1 Pengujian rangkaian penguat sensor LM35	64
Tabel 4.2 Pengujian nilai suhu thermometer dengan nilai suhu LabVIEW	66
Tabel 4.3 Pengujian rangkaian penguat tegangan kontrol	68
Tabel 4.4 Pengujian blok driver AC	71
Tabel 4.5 Data penunjukkan termometer dan tegangan pada LabVIEW	74
Tabel 4.6 Karakteristik respon sistem pada variasi <i>range MF error</i>	78
Tabel 4.7 Karakteristik respon sistem pada variasi metode defuzzifikasi	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknik pengontrolan otomatis saat ini memberikan peranan yang sangat besar dalam kehidupan sehari-hari, khususnya di bidang ilmu pengetahuan dan industri. Beberapa di antaranya adalah pada pengaturan suhu sebuah tangki, pengaturan kelembaban udara dalam sebuah ruangan, pengaturan level air, pengaturan tekanan udara yang dijaga supaya berada dalam kondisi stabil seperti yang diharapkan, dan lain sebagainya.

Sistem kendali digunakan untuk memelihara/menjaga kestabilan nilai keluaran sistem (*measured value*) agar berada pada harga yang telah ditentukan (*setting value*). Sistem ini memiliki sifat dasar bahwa sebuah sinyal penggerak konstan akan menghasilkan keluaran yang berharga konstan. Sistem kendali akan bekerja untuk menjaga agar kesalahan yang terjadi berada pada harga seminimum mungkin. Semakin kecil selisih perbedaan nilai keluaran dengan masukan maka semakin baiklah kinerja sistem tersebut.

Dalam sistem kendali diperlukan suatu besaran-besaran yang memerlukan kondisi/persyaratan khusus. Persyaratan khusus yang dimaksud yaitu sistem kendali harus stabil, yaitu mempunyai harga yang konstan untuk selang waktu tertentu, sensitif terhadap gangguan, cepat dalam merespon perubahan variabel-variabel sistem, dan akurat dalam menampilkan nilai keluaran sistem. Sering terjadi permasalahan dalam sistem kendali terjadi *overshoot/undershoot* yang

besar sehingga kemungkinan dapat terjadi osilasi yang tinggi. Dengan osilasi yang semakin tinggi, maka *recovery time/transient time* yang dibutuhkan oleh sistem untuk mencapai kondisi *steady state* juga akan semakin lama. Dengan kondisi demikian, dapat dikatakan sistem tidak memenuhi syarat-syarat dalam suatu pengendalian.

Salah satu aplikasi sistem kendali adalah pada pengendalian proses yaitu kendali suhu udara. Karakteristik dari pengendalian proses yang berupa suhu udara adalah perubahan proses yang cepat. Hal ini dikarenakan dalam proses pengendalian suhu udara melibatkan perpindahan panas secara konduksi dan konveksi, yaitu dari suhu normal ke pemanasan suhu udara. Dengan demikian diperlukan suatu pengendali yang cepat menanggapi setiap perubahan dari besaran fisis yang dikendalikan sekaligus mempunyai kestabilan yang dapat diandalkan.

Untuk kegunaan pengendalian sistem, ada banyak sekali teknik kendali yang dapat digunakan seperti kendali umpan balik, fungsi alih, maupun kendali PID yang telah populer digunakan saat ini. Kebanyakan dari sistem kendali tersebut sangat tergantung pada model matematis saat perancangannya. *Fuzzy Logic Controller* (FLC) memberikan alternatif lain dalam sistem kendali. Dalam FLC tidak diperlukan model matematis dari sistem karena FLC bekerja berdasarkan aturan-aturan yang diambil sesuai dengan pemikiran dan pengetahuan manusia baik sebagai operator maupun ahli, sehingga kebutuhan model matematis yang sangat rumit dan kompleks dapat dibatasi penggunaannya. Kelebihan lain dari FLC adalah lebih kokoh, karena dapat mencakup daerah operasi yang lebih luas dan dapat bekerja dengan lingkungan yang bernoise dan banyak pengganggu.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang dipaparkan sebelumnya, dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan suatu sistem pengendali suhu dengan menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller* (FLC)?
2. Bagaimana merancang pengendali *Fuzzy Logic Controller* (FLC) sehingga dihasilkan sistem dengan respon yang cepat, sekaligus mempunyai kestabilan yang baik?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Hanya dibahas pengendalian suhu pada udara menggunakan metode FLC dengan batas suhu 30 °C sampai 70 °C (suhu naik dan turun).
2. FLC yang digunakan adalah tipe Mamdani, dengan komposisi aturan menggunakan operator AND dan metode defuzzifikasi *Center of Area* (COA) atau juga dikenal sebagai metode *Center Of Gravity* (COG).
3. Fungsi keanggotaan *input-output* FLC berbentuk segitiga dan *trapezoid*, dengan lima buah nilai linguistik dan jumlah aturan yang digunakan adalah 25 buah.
4. Respon sistem yang diamati adalah respon sistem *open loop*, respon sistem pada pengujian dengan beberapa varian range fungsi keanggotaan *error*, respon sistem dengan nilai referensi naik, respon sistem dengan

pemberian gangguan dan respon sistem pada metode defuzzifikasi *Mean of Maxima* (MOM).

5. *Hardware* akuisisi data menggunakan NI USB-6009.
6. *Interface* yang digunakan adalah dengan menggunakan program LabVIEW 8.6.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan respon sistem yang mempunyai *rise time*, *overshoot*, *undershoot*, *settling time* dan *error* seminimum mungkin dengan menggunakan pengendali *Fuzzy Logic Controller* (FLC).

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dan pembahasan laporan tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan:

1.1 Latar Belakang

1.2 Rumusan Masalah

1.3 Batasan Masalah

1.4 Tujuan Penelitian

1.5 Sistematika Penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori yang berkaitan dan mendukung dengan materi penelitian dari berbagai sumber, serta ulasan mengenai penelitian sebelumnya yang mendukung dan berkaitan:

2.1 Tinjauan Pustaka

2.2 Fuzzy Logic Controller (FLC)

2.2.1 Himpunan Fuzzy

2.2.2 Operasi Himpunan Fuzzy

2.2.3 Pengendali Fuzzy Logic Controller (FLC)

2.2.3.1 Fuzzifikasi

2.2.3.2 Basis Aturan (Rule Base)

2.2.3.3 Inferensi

2.2.3.4 Defuzzifikasi

2.3 NI USB-6009

2.3.1 Konstruksi NI USB-6009

2.3.2 Input Analog

2.3.3 Output Analog

2.4 LabVIEW

2.5 Sensor Suhu LM35

2.6 IC TCA 785

2.7 Kontrol Fasa Tegangan AC 1 Φ

2.8 TRIAC

2.9 Optocoupler

2.10 Penguat Oprasional (Op-Amp)

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Bagian ini menjelaskan langkah-langkah dalam perancangan sistem yang akan dibuat baik *hardware* maupun *software* dan cara implementasinya:

3.1 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

3.1.1 Rangkaian Penguat Sensor Suhu LM35

3.1.2 Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol

3.1.3 Rangkaian Pengontrol Sudut Fasa Tegangan AC

3.1.4 Rangkaian Saklar Elektronik

3.1.5 Rangkaian *Stirrer* (Pendorong Udara Dan Pendingin)

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

3.2.1 Pengendali Fuzzy Logic Controller (FLC)

3.2.1.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)

3.2.1.1.1 Himpunan Fuzzy *Input 1* “*Error*”

3.2.1.1.2 Himpunan Fuzzy *Input 2* “*Change of Error*”

3.2.1.1.3 Himpunan fuzzy *Output* “*Change of Voltage*”

3.2.1.2 Pembuatan *Rules*

3.2.1.3 Karakteristik Input/Output Fuzzy Logic Controller (FLC)

3.2.2 Perancangan *Graphical User Interface* (GUI)

BAB IV PENGUJIAN, ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi hasil pengujian sistem dan penjelasannya serta indikator keberhasilan penelitian:

4.1 Pengujian Perangkat Keras (*Hardware*)

4.1.1 Pengujian Rangkaian Penguat Sensor LM 35

4.1.2 Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol

4.1.3 Pengujian Rangkaian Driver AC

4.1.4 Pengujian Rangkaian *Stirrer*

4.2 Pengujian Perangkat Lunak (*Software*)

4.2.1 Pengujian *Analog Input* pada LabVIEW

4.2.2 Pengujian *Analog Ouput* pada LabVIEW

4.3 Pengujian Sistem Pengendali Fuzzy Logic Controller (FLC)

4.3.1 Pengujian pada Variasi Fungsi Keanggotaan *Error*

4.3.2 Pengujian pada Suhu Referensi Naik Dan Turun

4.3.3 Pengujian dengan Pemberian Gangguan

4.3.4 Pengujian dengan Metode Defuzzifikasi *Mean of Maxima* (MOM)

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat kesimpulan dari penelitian yang telah dilaksanakan serta saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut:

5.1 Kesimpulan

5.2 Saran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Muhammad Adi Farchan (2010). Pada penelitian ini diterangkan hanya mengidentifikasi dan akuisisi data sistem pemanas udara dengan menggunakan pengendali PID. Pada penelitian ini kendali PID dibentuk dengan bantuan program LabVIEW yang terhubung dengan NIDAQ 6009 yang digunakan untuk mengendalikan tegangan yang disuplai ke heater. Selanjutnya suhu udara diukur dengan sensor suhu LM35 sebagai masukan NIDAQ 6009 dan dikirim ke komputer untuk diolah lebih lanjut. Pada komputer digunakan program LabVIEW untuk mengolah data dan menampilkan nilai SP (*Setting Point*) dan PV (*Present Value*) nya.

Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Dedy Kurniawan (2010) tentang sistem pengendalian suhu udara dengan PID berbasis SCADA yang bisa di kendalikan lewat komputer. Sistem SCADA digunakan sebagai sistem monitoring dan pengendali suhu udara . Sebagai elemen SCADA, PLC berperan sebagai perangkat kontrol PID yang berfungsi untuk kendali suhu pemanas udara agar suhu yang diinginkan (*set value*) sesuai dengan suhu sebenarnya (*present value*). Sensor suhu LM35 yang outputnya merupakan nilai *present value*. Konstanta PID dan *set value* dimasukkan melalui software CIMON. Pengaturan parameter dan pemograman dilakukan menggunakan software KGL-WIN 3.65.

Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Isnanto (2011) tentang perancangan pengendali fuzzy untuk kontrol dan monitoring suhu pemanas air. Proses kontrol dan monitoring sistem ini menggunakan NIDAQ 6009 dan program LabVIEW sebagai GUI (*Graphical User Interface*) nya. NIDAQ 6009 digunakan untuk mengakuisisi data (suhu) output pemanas yang selanjutnya akan diolah oleh komputer (LabVIEW) dengan menggunakan metode logika fuzzy (FLC). Keluaran dari FLC digunakan untuk mengendalikan driver AC yang berfungsi untuk mengatur tegangan yang diberikan ke heater.

Penelitian juga dilakukan (Wibisono: 2010), tentang perancangan pengendali fuzzy untuk optimasi panel surya. Pada penelitian ini *Fuzzy Logic Controller* (FLC) digunakan untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh sel surya. Proses kontrol dan monitoring sistem ini menggunakan NI USB-6009 dan program Matlab sebagai GUI (*Graphical User Interface*) nya. NI USB-6009 digunakan untuk mengakuisisi data (tegangan dan arus) *output* panel sel surya yang selanjutnya akan diolah oleh komputer (Matlab) dengan menggunakan metode logika fuzzy (FLC). Keluaran dari FLC digunakan untuk mengendalikan driver DC yang berfungsi saklar elektronik untuk menyuplai daya dari panel sel surya ke beban.

Contoh lain dari penelitian yang pernah dilakukan (Muharam: 2008), tentang pengendalian suhu air menggunakan mikrokontroler ATmega8 dengan kendali logika fuzzy berbasis PC (*Personal Computer*). Pada penelitian ini kendali FLC menggunakan mikrokontroler ATmega8 untuk mengendalikan tegangan yang

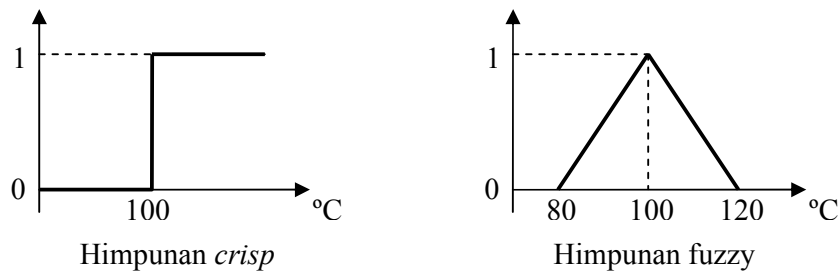
disuplai ke *heater* dan pengaduknya. Selanjutnya suhu air diukur dengan menggunakan sensor suhu LM35 sebagai masukan pada mikrokontroler. Koneksi mikrokontroler dengan PC menggunakan serial 232 yang selanjutnya ditampilkan ke PC dengan bantuan program Delphi 7.0. Pada PC akan ditampilkan *Setting Point* (SP), *Present Value* (PV), pengaduk dan grafik hubungan antara SP dan PV.

2.2 Fuzzy Logic Controller (FLC)

FLC pertama kali dikenalkan kepada publik oleh Lotfi Zadeh, seorang profesor di University of California di Berkeley. FLC digunakan untuk menyatakan hukum operasional dari suatu sistem dengan ungkapan bahasa, bukan dengan persamaan matematis. Banyak sistem yang terlalu kompleks untuk dimodelkan secara akurat, meskipun dengan persamaan matematis yang kompleks. Dalam kasus seperti itu, ungkapan bahasa yang digunakan dalam logika fuzzy dapat membantu mendefinisikan karakteristik operasional sistem dengan lebih baik. Ungkapan bahasa untuk karakteristik sistem biasanya dinyatakan dalam bentuk implikasi logika, misalnya aturan **Jika – Maka**.

Pada teori himpunan klasik yang disebut juga dengan himpunan *crisp* (himpunan tegas) hanya dikenal dua kemungkinan dalam fungsi keanggotaannya, yaitu kemungkinan termasuk keanggotaan himpunan (logika 1) atau kemungkinan berada di luar keanggotaannya (logika 0). Namun dalam teori himpunan fuzzy tidak hanya memiliki dua kemungkinan dalam menentukan sifat keanggotaannya tetapi memiliki derajat keanggotaan yang nilainya antara 0 dan 1. Fungsi yang

menetapkan nilai ini dinamakan fungsi keanggotaan yang disertakan dalam himpunan fuzzy.



Gambar 2.1 Grafik fungsi keanggotaan himpunan *Crips* dan Fuzzy

2.2.1 Himpunan Fuzzy

Misalkan U adalah kumpulan obyek yang secara umum dinyatakan dengan $\{x\}$. U disebut semesta pembicaraan dan x mewakili elemen-elemen dari U . Suatu himpunan fuzzy A dalam semesta pembicaraan U dapat direpresentasikan oleh suatu fungsi keanggotaan (*membership function*) μ_A yang mewakili nilai dalam interval $[0,1]$ untuk tiap x dalam U dinyatakan sebagai $\mu_A = U \rightarrow [0,1]$.

Himpunan fuzzy A dalam U biasanya dinyatakan sebagai himpunan pasangan berurutan x dan derajat keanggotaan.

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\} \quad (2.1)$$

Jika U kontinyu, himpunan fuzzy A dapat ditulis sebagai:

$$A = \int_x \frac{\mu_A(x)}{x} \quad (2.2)$$

Jika U diskrit, himpunan fuzzy A dinyatakan sebagai:

$$A = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_A(x_i)}{x_i} \quad (2.3)$$

2.2.2 Operasi Himpunan Fuzzy

Jika A dan B adalah dua buah himpunan fuzzy dalam semesta pembicaraan U dengan fungsi keanggotaan $\mu_A(x)$ dan $\mu_B(x)$, maka pada kedua himpunan fuzzy tersebut dapat berlaku operasi:

1. Kesamaan (*equality*)

Dua buah himpunan fuzzy A dan B dapat dinyatakan sama jika:

$$\mu_A(x) = \mu_B(x); \forall x \in U \quad (2.4)$$

2. Gabungan (*union*)

Fungsi keanggotaan dari gabungan dua buah himpunan fuzzy A dan B ($\mu_{A \cup B}$), dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max [\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \vee \mu_B(x); \forall x \in U \quad (2.5)$$

3. Irisan (*intersection*)

Fungsi keanggotaan dari irisan dua buah himpunan fuzzy A dan B ($\mu_{A \cap B}$), dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x); \forall x \in U \quad (2.6)$$

4. Komplemen (*complement*)

Fungsi keanggotaan dari komplemen himpunan fuzzy A ($\mu_{\bar{A}}$) dapat dinyatakan sebagai:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x); \forall x \in U \quad (2.7)$$

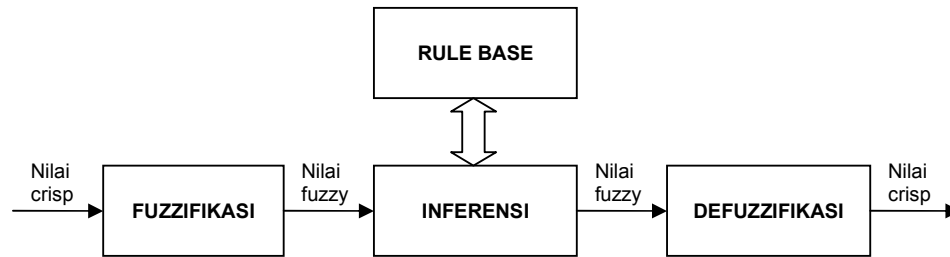
5. Himpunan bagian (*subset*)

Himpunan fuzzy A merupakan himpunan bagian atau *subset* B ($A \subseteq B$), jika dan hanya jika:

$$\mu_A(x) \leq \mu_B(x); \forall x \in U \quad (2.8)$$

2.2.3 Pengendali *Fuzzy Logic Controller* (FLC)

Tujuan utama dalam sistem pengendali adalah mendapatkan keluaran (*output*) sebagai respon dari masukan (*input*). Dalam kendali dengan cara klasik, melibatkan formula-formula matematika yang cukup rumit. Hal ini berbeda dengan kendali fuzzy. Pengendali Fuzzy merupakan suatu sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia didalam melakukan kendali terhadap suatu proses. Konsep matematika yang mendasari logika fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti. Pendekatan fuzzy melibatkan aturan-aturan yang dinyatakan dalam kata-kata dan tidak memerlukan presisi yang tinggi serta ada toleransi untuk data yang kurang tepat. Struktur dasar sebuah pengendali fuzzy diperlihatkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur dasar pengendali FLC

2.2.3.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi yaitu suatu proses untuk mengubah suatu masukan dari bentuk tegas (*crisp*) menjadi fuzzy (variabel linguistik) yang biasanya disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy dengan suatu fungsi keanggotaannya masing-masing. Beberapa bentuk himpunan fuzzy yang sering digunakan:

1. *Triangular/segitiga*

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{for } b \leq x \leq c \\ 0, & \text{for } x > c \end{cases} \quad (2.9)$$

2. *Gaussian*

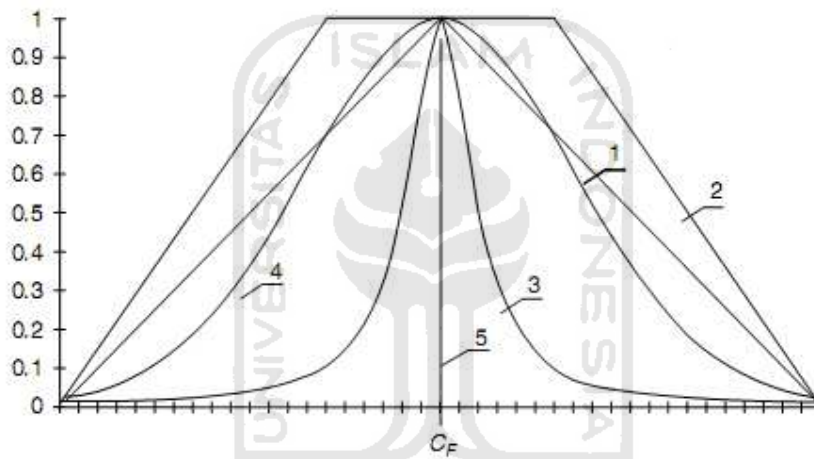
$$\mu_F(x) = e^{-(x-c_F)^2/w} \quad (2.10)$$

3. *Bell-shaped*

$$\mu_F(x) = \frac{1}{1+(x-c_F)^2} \quad (2.11)$$

4. Trapezoidal

$$\mu_F(x) = \begin{cases} 0, & \text{for } x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{for } a \leq x < b \\ 1, & \text{for } b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{for } c \leq x \leq d \\ 0, & \text{for } x > d \end{cases} \quad (2.12)$$



Gambar 2.3 Tipe fungsi keanggotaan fuzzy: 1-triangular, 2-trapezoidal, 3-Gaussian, 4- bell-shaped, 5-singleton

2.2.3.2 Basis Aturan (*Rule Base*)

Basis aturan berisi aturan-aturan fuzzy yang digunakan untuk pengendalian sistem. Aturan-aturan ini dibuat berdasarkan logika dan intuisi manusia, serta berkaitan erat dengan jalan pikiran dan pengalaman pribadi yang membuatnya. Jadi tidak salah bila dikatakan bahwa aturan ini bersifat subjektif, tergantung dari

ketajaman yang membuat. Aturan yang telah ditetapkan digunakan untuk menghubungkan antara variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran.

Aturan ini berbentuk 'JIKA – MAKA' (*IF THEN*), sebagai contoh adalah:

Aturan 1 : JIKA x adalah A_1 DAN y adalah B_1 MAKA z adalah C_1

Aturan 2 : JIKA x adalah A_2 DAN y adalah B_2 MAKA z adalah C_2

.....

.....

Aturan i : JIKA x adalah A_i DAN y adalah B_i MAKA z adalah C_i

Dengan:

A ($i = 1,2,3,\dots$) adalah himpunan fuzzy ke i untuk variabel masukan x

B ($i = 1,2,3,\dots$) adalah himpunan fuzzy ke i untuk variabel masukan y

C ($i = 1,2,3,\dots$) adalah himpunan fuzzy ke i untuk variabel keluaran z

2.2.3.3 Inferensi

Berdasarkan basis aturan yang telah dibuat, variabel-variabel masukan fuzzy diolah lebih lanjut untuk mendapatkan suatu penyelesaian. Dengan demikian dapat diambil suatu keputusan berupa variabel fuzzy keluaran, yaitu himpunan-himpunan keluaran fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang ditetapkan berdasarkan metode yang digunakan. suatu keputusan. Metode yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan ini adalah:

1. Metode Max-Min

Pada metode Max-Min, pengambilan keputusan didasarkan pada aturan operasi menurut Mamdani. Keputusan yang diambil berdasarkan

aturan ke- i dapat dinyatakan dengan $\alpha_i \wedge \mu_{c_i}(z)$, sehingga keanggotaan C adalah titik yang diberikan oleh:

$$\mu_c(z) = (\alpha_1 \wedge \mu_{c1}(z)) \vee ((\alpha_2 \wedge \mu_{c2}(z)) \vee \dots \vee (\alpha_i \wedge \mu_{c_i}(z))) \quad (2.13)$$

atau $\mu_c(z) = \max \{ \min (\alpha_1, \mu_{c1}(z)), \min ((\alpha_2, \mu_{c2}(z)), \dots, \min (\alpha_i, \mu_{c_i}(z))) \}$

dimana:

$$\alpha_1 = \mu_{A1}(x) \wedge \mu_{B1}(x) = \min \{ \mu_{A1}(x), \mu_{B1}(x) \}$$

$$\alpha_2 = \mu_{A2}(x) \wedge \mu_{B2}(x) = \min \{ \mu_{A2}(x), \mu_{B2}(x) \}$$

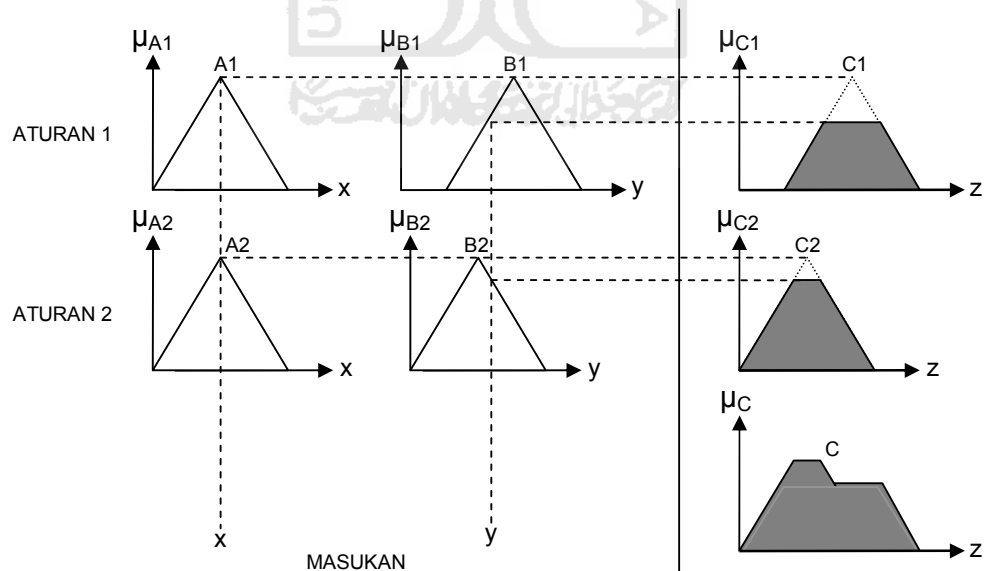
$$\alpha_3 = \mu_{A3}(x) \wedge \mu_{B3}(x) = \min \{ \mu_{A3}(x), \mu_{B3}(x) \}$$

.....

.....

$$\alpha_i = \mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(x) = \min \{ \mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(x) \} \quad (2.14)$$

Proses pengambilan keputusan Max-Min dapat dilukiskan seperti pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Metode Max-Min

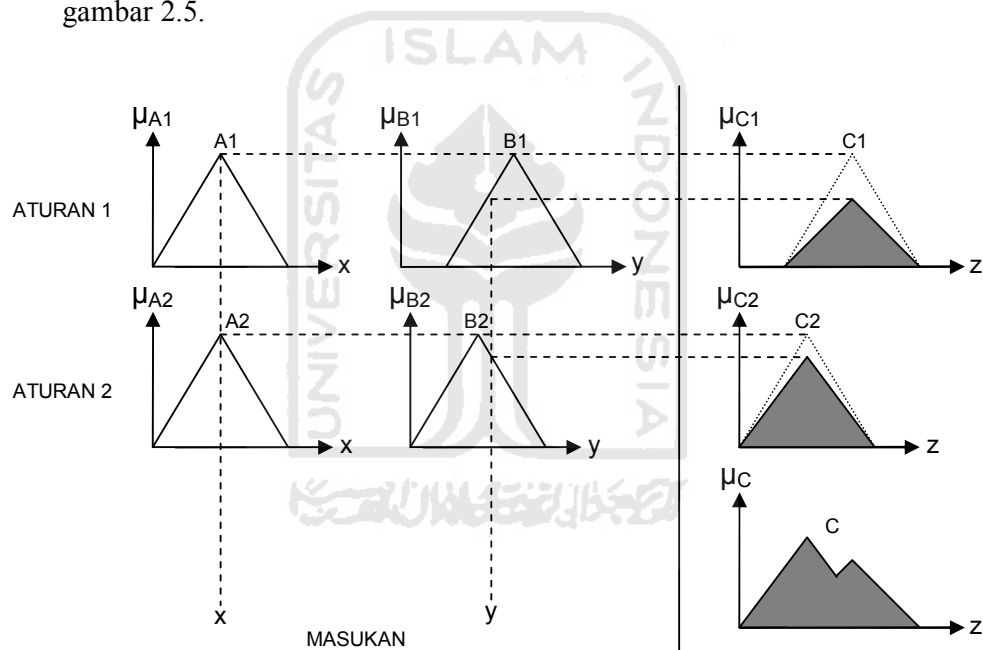
2. Metode Max-Product (Max-Dot)

Keputusan yang diambil berdasarkan aturan ke i dapat dinyatakan dengan $\alpha_i \cdot \mu_{c_i}(z)$, sehingga keanggotaan C adalah titik yang diberikan oleh:

$$\mu_c(z) = (\alpha_1 \cdot \mu_{c_1}(z)) \vee ((\alpha_2 \cdot \mu_{c_2}(z)) \vee \dots \vee (\alpha_i \cdot \mu_{c_i}(z))) \quad (2.15)$$

atau $\mu_c(z) = \{\min(\alpha_1, \mu_{c_1}(z)), \min(\alpha_2, \mu_{c_2}(z)), \dots, \min(\alpha_i, \mu_{c_i}(z))\}$

Proses pengambilan keputusan Max-Product dapat dilukiskan seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Metode Max-Product

2.2.3.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses pengubahan besaran fuzzy yang disajikan dalam bentuk himpunan-himpunan fuzzy keluaran dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapatkan kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Hal ini

diperlukan sebab dalam aplikasi nyata yang dibutuhkan adalah nilai tegas (*crisp*). Ada beberapa metode defuzzifikasi yang bisa dipakai pada komposisi aturan Mamdani (Kusumadewi, 2004: 44), antara lain:

1. Metode *Centroid*

Metode *centroid* ini juga dikenal sebagai metode COA (*Center of Area*) atau metode *Center of Gravity*. Pada metode ini nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses pengambilan keputusan (*inference*). Pada semesta pembicaraan diskrit, metode COA dirumuskan sebagai berikut:

$$Z_{COA} = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j) z_j}{\sum_{j=1}^n \mu_C(z_j)} \quad (2.16)$$

Dimana:

n = banyaknya level kuantifikasi (nilai linguistik variabel keluaran)

z_j = nilai numerik aksi kendali pada level kuantifikasi ke- j

$\mu_C(z_j)$ = nilai derajat keanggotaan z_j pada himpunan fuzzy C

2. Metode *Bisector*

Pada metode ini nilai tegas keluarannya diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy.

3. Metode MOM (*Mean of Maximum*)

Pada metode ini nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan rata-rata semua aksi kontrol fuzzy yang mempunyai fungsi keanggotaan

maksimum. Pada semesta pembicaraan diskrit, MOM dirumuskan sebagai berikut:

$$Z_{\text{MOM}} = \sum_{j=1}^n \frac{z_j}{m} \quad (2.17)$$

Dimana:

Z_j = nilai *support* dimana fungsi keanggotaan mencapai nilai maksimum $\mu_c(z_j)$

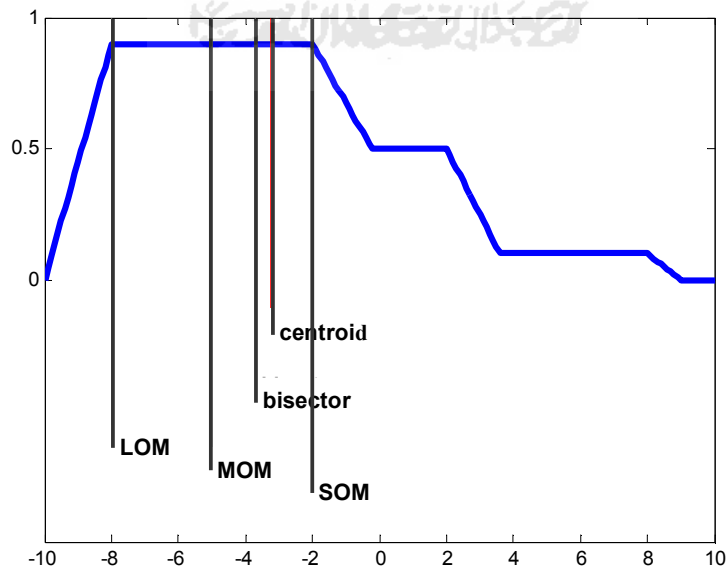
m = banyaknya nilai *support*

4. Metode LOM (*Largest of Maximum*)

Pada metode ini, nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan tingkat keanggotaan terbesar ($\mu_c(z)$ maksimum).

5. Metode SOM (*Smallest of Minimum*)

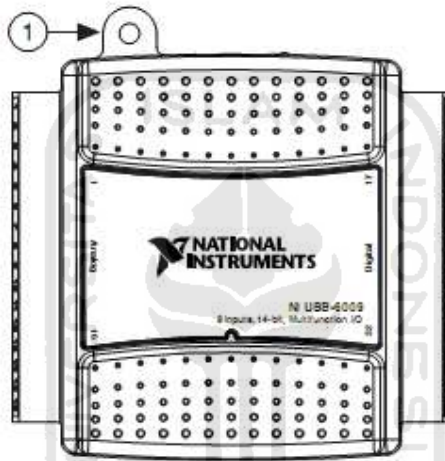
Pada metode ini, nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan tingkat keanggotaan terkecil ($\mu_c(z)$ minimum).



Gambar 2.6 Metode defuzzifikasi

2.3 NI USB-6009

NI USB-6009, sebagai suatu terobosan teknologi yang fungsi kerjanya hampir sama seperti mikrokontroler, hadir memenuhi kebutuhan (*market need*) dan teknologi baru. Sebagai teknologi baru, NI USB-6009 banyak digunakan oleh para konsumen di bidang industri dan di dalam dunia pendidikan teknik yang dapat mempermudah pekerjaan mereka untuk suatu kepentingan tertentu.



Gambar 2.7 NI USB-6009

Penggunaan NI USB-6009 cukup praktis, karena dimasa sekarang hampir semua komputer memiliki port USB untuk komunikasi data. Sehingga perangkat ini disebut juga sebagai sistem akuisisi data. Karena menggunakan sistem USB maka NI USB-6009 dapat terkoneksi secara *plug and play* pada komputer. Dengan kemampuan sistem koneksi *plug and play*, modul ini cukup mudah digunakan untuk pengukuran yang cepat dan juga serbaguna untuk aplikasi pengukuran yang lebih kompleks.

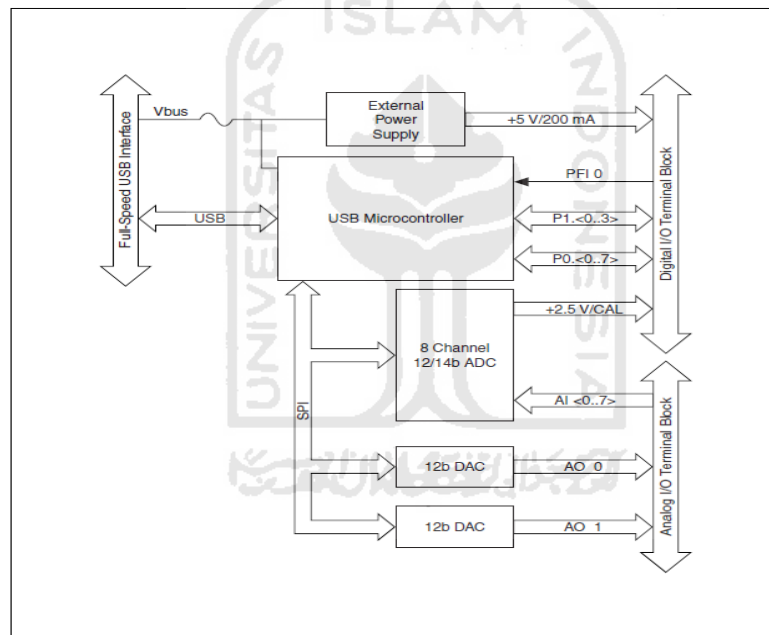
Sistem akuisisi data di sini adalah suatu proses mengumpulkan data dan mengukur sinyal elektrik dari sensor, transduser, *test probe* dan memasukkannya ke komputer untuk kemudian diproses. Data akuisisi mencakup dua tahap yaitu:

1. Membaca sinyal nyata (*real world*) dan menkonversi ke dalam sinyal tegangan.
2. Mengkonversi sinyal tegangan ke dalam bilangan biner sehingga dapat dianalisa oleh komputer.

Perangkat NI USB-6009 dapat digunakan untuk mengumpulkan masukan tegangan ke dalam sebuah komputer, dimana dapat digunakan perangkat lunak untuk memanipulasi tegangan ke dalam besaran angka. Sistem ini menggabungkan semua komponen, perangkat keras dan perangkat lunak untuk menggunakan piranti NI USB-6009. Saat menganalisa atau mengontrol fenomena dunia nyata menggunakan sebuah komputer, diharuskan mengkonversi fenomena tersebut ke dalam data sehingga komputer dapat menerjemahkan atau menghasilkan. Transduser digunakan untuk mengkonversi fenomena ke dalam sinyal elektrik sehingga peralatan NI USB-6009 dapat mengambil dan mengirimkan ke dalam komputer. Disamping itu komputer dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal elektrik sehingga piranti NI USB-6009 mengubahnya ke dalam sebuah representasi dunia nyata.

2.3.1 Konstruksi NI USB-6009

NI USB-6009 menyediakan koneksi 8 *analog input (AI) channel*, 2 *analog output (AO) channel*, 12 *digital input/output (DIO) channel*, dan 32 bit *counter* dengan USB berkecepatan penuh. Blok diagram di bawah memperlihatkan komponen-komponen fungsional yang terdapat pada NI USB-6009. NI USB-6009 memiliki 2 terminal sekrup yang dapat dipisahkan, satu untuk terminal *analog signal* dan yang satu lagi untuk terminal *digital signal*.

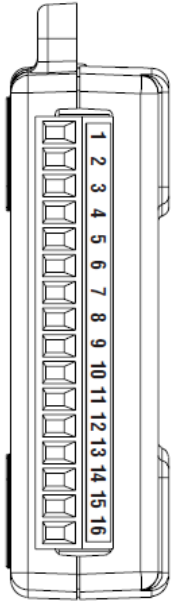


Gambar 2.8 Blok Diagram NI USB-6009

2.3.2 Input Analog

NI USB-6009 dapat menghubungkan sinyal input analog ke PC melalui *I/O connector*. Berikut ini fungsi dari masing-masing pin pada terminal analog.

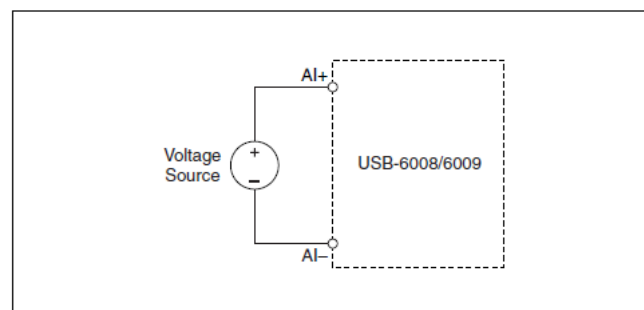
Tabel 2.1 Fungsi setiap pin terminal *analog*

Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Kanal AI dapat dikonfigurasi dalam dua mode, yaitu:

1. Mode Sinyal Tegangan Differential

Ujung sinyal positif dihubungkan ke terminal AI+ dan ujung sinyal negatif ke terminal AI-.

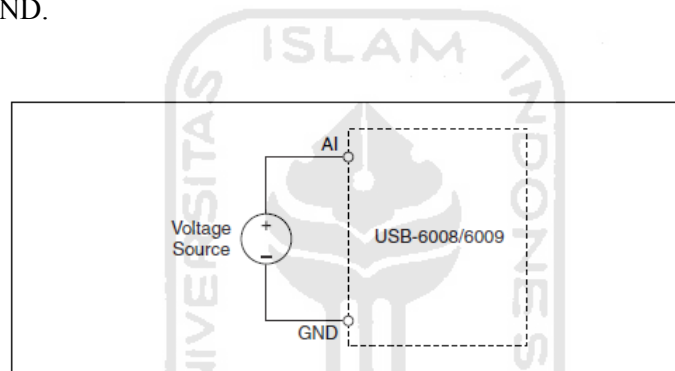


Gambar 2.9 Skema mode differential

Mode input differential dapat mengukur sinyal ± 20 V pada range ± 20 V. Bagaimanapun juga, tegangan input pada tiap pin sebesar ± 10 V yang dihubungkan ke GND. Contoh, jika $AI1 = +10$ V dan $AI5 = -10$ V, maka tegangan yang terukur pada device sebesar ± 20 V.

2. Mode *Reference Single-ended (RSE)*

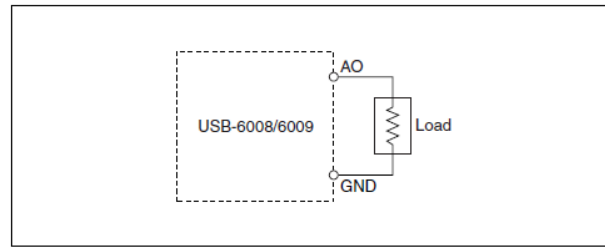
Untuk menggunakan fungsi ini, maka ujung sinyal tegangan positif dihubungkan ke salah satu terminal AI dan ujung yang lain dihubungkan ke GND.



Gambar 2.10 Skema mode RSE

2.3.3 Output Analog

NI USB-6009 memiliki dua kanal *Analog Output (AO)* yang terpisah. Kedua AO tersebut dapat membangkitkan output 0 – 5 V. Untuk menghubungkan beban ke NI USB-6009, ujung positif beban dihubungkan ke terminal AO dan *ground* beban dihubungkan ke terminal GND.

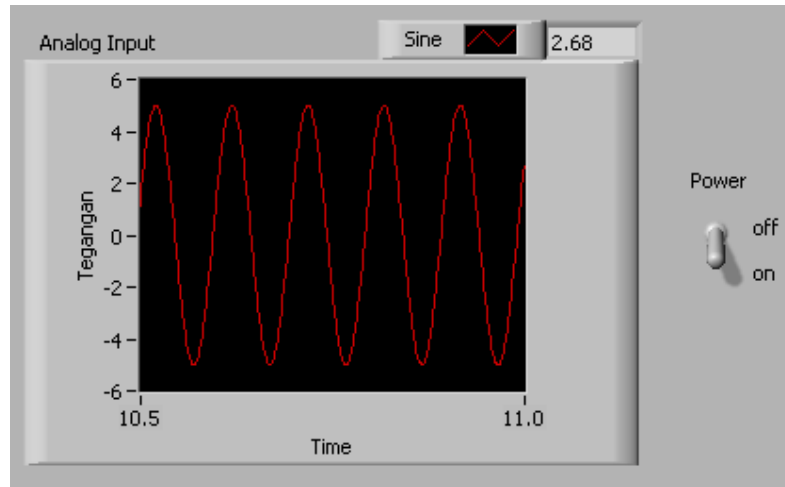


Gambar 2.11 *Connecting load AO*

2.4 LabVIEW

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*), yang merupakan instrumentasi virtual yang diproduksi oleh National Instruments, berupa sebuah sistem perangkat lunak yang dikembangkan dengan tujuan utama adalah untuk data akuisisi dan sistem kontrol yang berbasis pemrograman grafik secara real time. Oleh karena itu, LabVIEW mempunyai banyak fungsi antarmuka yang dapat langsung digunakan oleh penggunanya.

Aplikasi LabView juga telah digunakan pada kegiatan monitoring simulasi proses kontrol dari berbagai macam tipe dan jenis sensor pada bidang elektro. Perangkat lunak ini relatif mudah untuk dijalankan pada komputer dengan cara di install terlebih dahulu. Untuk dapat memonitoring kerja suatu alat yang telah dirancang, maka perangkat lunak pada komputer ini harus dihubungkan dengan perangkat keras NI USB-6009, sehingga data-data dari sebuah sensor dalam bentuk tegangan akan dapat diolah pada perangkat lunak ini. Untuk tampilan pada LabVIEW dapat dilihat pada gambar di bawah:



Gambar 2.12 Analog input pada panel

Pada analog input ini dapat dilihat suatu grafik perubahan nilai tegangan secara nyata dan terus-menerus dari pembacaan NI USB-6009. Dalam satu panel ini, tidak hanya satu grafik yang dapat ditampilkan, tetapi bisa lebih dari satu grafik sesuai yang masukan yang dibuat. Jika grafik yang ditampilkan kurang baik, bisa dimanipulasi agar didapat hasil yang baik.



Gambar 2.13 Analog output pada panel

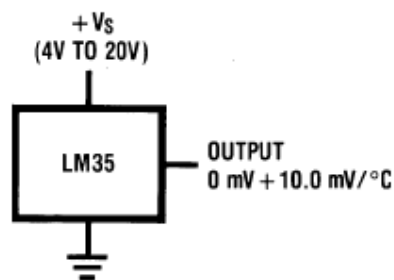
Analog output ini digunakan untuk memberikan nilai keluaran pada NI USB-6009. Besarnya nilai tegangan keluaran bisa diatur atau ditentukan pada panel

analog output pada LabVIEW. Nilai yang dapat diatur pada LabVIEW untuk tegangan keluaran pada NI USB-6009 yaitu 0 – 5 volt DC.

2.5 Sensor Suhu LM35

LM35 adalah IC sensor suhu dengan presisi Celcius, dimana tegangan outputnya proporsional linier dengan temperatur dalam derajat Celcius. LM35 memiliki kelebihan dibandingkan sensor suhu berpresisi Kelvin, dimana pemakai tidak perlu mengambil nilai tegangan konstan yang besar untuk mendapatkan skala celcius yang tepat. LM35 memiliki keadaan default yaitu akurasi $\pm 1/4$ °C pada temperatur ruang dan $\pm 3/4$ °C pada range maksimum -55 sampai +150 °C.

LM35 memiliki faktor skala linier $+10.0$ mV/°C, ini berarti untuk tiap kenaikan satu derajat celcius pada suhu sekitar tegangan output akan naik 10 mV. Tegangan kerja dari LM35 adalah 4 sampai 30 Volt dengan kuat arus sebesar 60 μ A.



Gambar 2.14 Aplikasi dasar LM35 sebagai sensor suhu

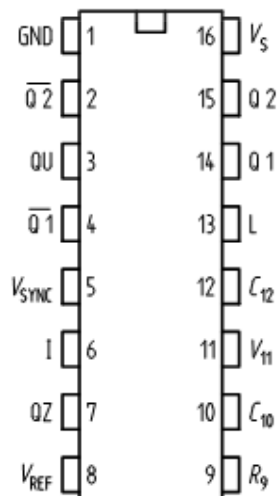
2.6 IC TCA 785

IC TCA 785 merupakan produk dari *Siemen Semiconductor Group* yang dibuat untuk menghasilkan pulsa pemicu (*trigger pulse*) untuk mengontrol fasa pada SCR, triac, dan transistor, antara $0^\circ - 180^\circ$ pada sumber tegangan ac, sedangkan jika sumber tegangannya dc maka diperlukan komutasi khusus.



Gambar 2.15 Bentuk fisik IC TCA 785

Gambar 2.15 adalah bentuk fisik IC TCA 785. IC ini dapat diaplikasikan pada kontrol tegangan ac terkontrol (*ac-ac converter*) satu fasa dan tiga fasa, penyearah terkontrol (*control rectifier*) satu fasa maupun tiga fasa dan kontrol tegangan dc terkontrol (*dc chopper*). IC ini memiliki kaki (pin) sejumlah 16 buah, seperti yang terlihat pada gambar 2.16



Gambar 2.16 Konfigurasi pin IC TCA 785

Berikut ini adalah fungsi dari tiap-tiap pin IC TCA 785:

Tabel 2.2 Deskripsi fungsi pin-pin IC TCA 785

Pin	Symbol	Function
1	GND	Ground
2	$\overline{Q2}$	Output 2 inverted
3	Q U	Output U
4	$\overline{Q2}$	Output 1 inverted
5	V_{SYNC}	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	Q Z	Output Z
8	V_{REF}	Stabilized voltage
9	R_9	Ramp resistance
10	C_{10}	Ramp capacitance
11	V_{11}	Control voltage
12	C_{12}	Pulse extension
13	L	Long pulse
14	Q 1	Output 1
15	Q 2	Output 2
16	V_s	Supply voltage

IC TCA 785 memerlukan sumber tegangan antara 8 Volt hingga 18 Volt, frekuensi kerja 10 Hz hingga 500 Hz, serta temperatur kerja antara -250 hingga 85 °C. Prinsip kerja IC TCA 785 adalah sinyal sinkronisasi dari tegangan sumber dihubungkan pada kaki nomor 5 (V_{SYNC}) melalui resistor berhambatan tinggi. Peraba nol (*zero detector*) akan menentukan letak titik nol dan disimpan dalam memori sinkron. *Detector* ini kemudian akan mengendalikan generator gelombang tegangan gigi gergaji yang sesuai dengan frekuensi sumber tegangan. Kapasitor C_{10} dan resistor R_9 akan menentukan kemiringan dari gelombang gigi gergaji yang dihasilkan. Nilai kapasitansi kapasitor antara 500 pF sampai 1 μF dan R_9 dapat diperoleh dari resistor dengan resistansi 3 k Ω sampai 100 k Ω . Gelombang ini kemudian dibandingkan dengan tegangan referensi V_{11} oleh *comparator*

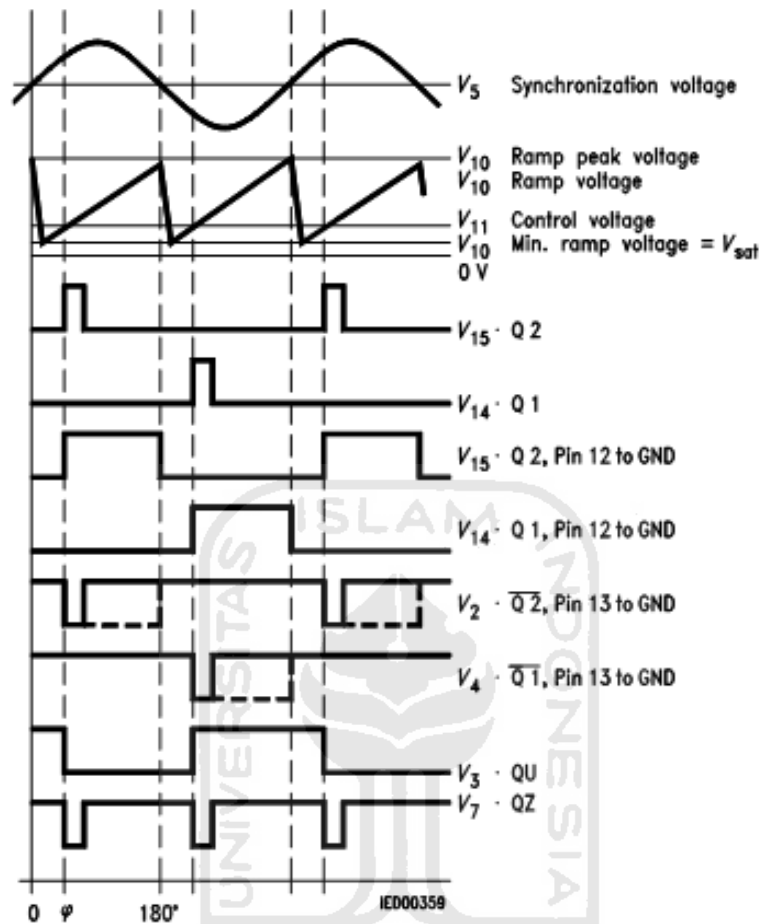
(pembanding). Sinyal *output* dari *comparator* ini kemudian akan diteruskan ke rangkaian logika. Bila tegangan referensi pada kaki 11 (V_{11}) pada posisi terendah, maka sudut penyulutan akan menunjukkan $\alpha = 0^\circ$. Sehingga untuk mengatur pemicuan dapat dilakukan memvariasi tegangan yang masuk pada kaki 11 (tegangan kontrol). Persamaan yang dapat digunakan untuk mendapatkan sudut pemicuan adalah:

$$\alpha = \frac{V_{CONTROL}}{V_{SAT}} \times 180^\circ \quad (2.18)$$

dimana:

- α = Sudut pemicuan ($^\circ$)
- $V_{CONTROL}$ = Tegangan kontrol, V_{11} (Volt)
- V_{SAT} = Tegangan pada pin 10, V_{10} (Volt)

V_{sat} (V_{10}), biasanya bernilai 10 V, namun lebih tepatnya pengaturan sudut picu dapat dilakukan dengan menggunakan *oscilloscope*, sehingga dapat diperoleh pengukuran yang lebih baik. Pada IC TCA 785, jika V_{sat} (V_{10}) melebihi tegangan kontrol V_{11} , maka sebuah sinyal akan diproses dalam logika. Proses ini dapat dilakukan berdasarkan besarnya tegangan kontrol V_{11} sehingga didapatkan sudut α antara $0^\circ - 180^\circ$. Keluaran dari IC ini adalah pada kaki 14 (negatif) dan 15 (positif). Diagram pulsa dari proses pembangkitan sinyal pada IC TCA 785 dapat dilihat pada gambar 2.17.

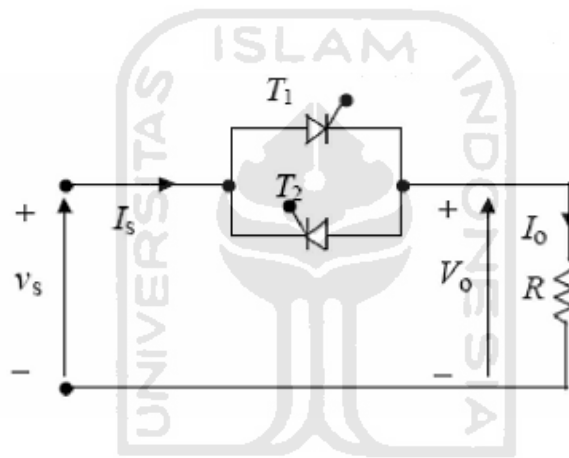


Gambar 2.17 Diagram pulsa IC TCA 785

2.7 Kontrol Fasa Tegangan AC 1 Φ

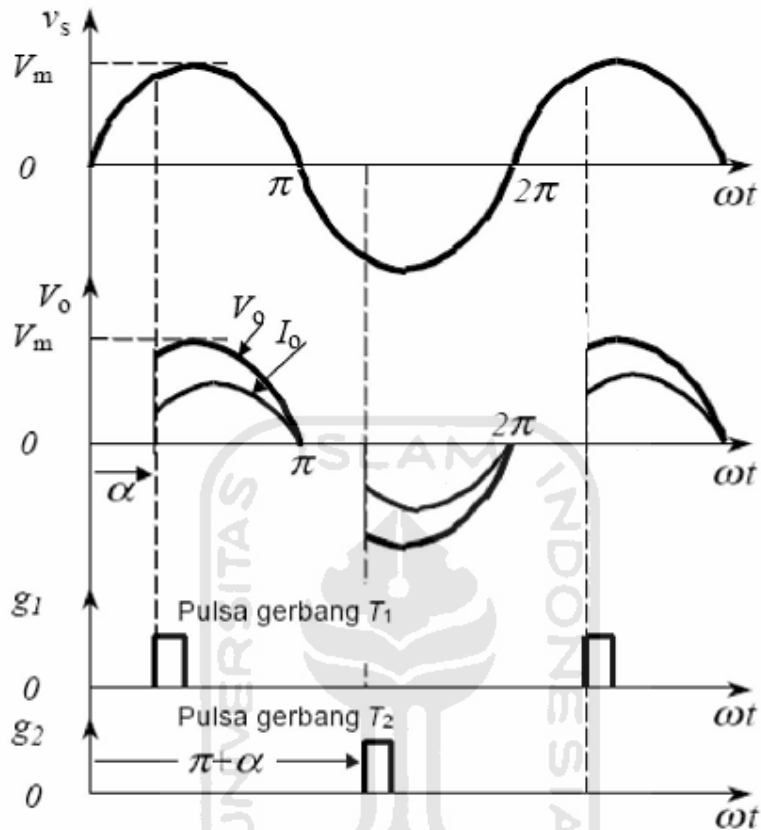
Pengaturan terhadap tegangan AC dapat dilakukan dengan pemotongan gelombang sinusoida. Pemotongan terhadap gelombang sinus menyebabkan nilai efektif arus berkurang sehingga daya yang disupply ke beban juga berkurang. Pemotongan gelombang sinus dapat dilakukan menggunakan *thyristor*. Kontrol tegangan AC menggunakan *thyristor* untuk mengontrol gelombang penuh satu fasa ditentukan oleh kuantitas pemotongan gelombang sinusoida. Prinsip dari

kontrol sudut fasa untuk gelombang penuh satu fasa dapat dijelaskan berdasarkan rangkaian pada gambar 2.18. Energi mengalir ke beban dikontrol dengan menunda sudut pemicuan *thyristor* T_1 dan sudut pemicuan *thyristor* T_2 . Selama tegangan masukan setengah siklus positif, daya yang mengalir dikontrol oleh beberapa sudut tunda dari *thyristor* T_1 , dan *thyristor* T_2 mengontrol daya selama tegangan masukan setengah siklus negatif. Pulsa-pulsa yang dihasilkan pada T_1 dan T_2 terpisah 180° .



Gambar 2.18 Rangkaian pengontrol gelombang penuh satu fasa

Bentuk gelombang untuk tegangan masukan, tegangan keluaran, dan sinyal gerbang untuk T_1 dan T_2 ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Bentuk gelombang pengontrol gelombang penuh satu fasa

Jika $V_s = \sqrt{2} V_s \sin \omega t$ adalah tegangan masukan dan sudut tunda *thyristor* T_1

dan T_2 sama ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$), tegangan keluaran rms dapat ditentukan dengan:

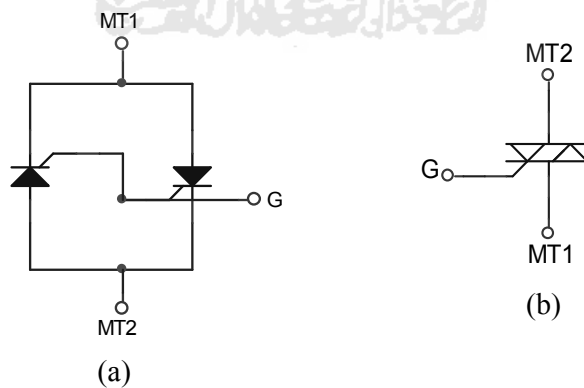
$$\begin{aligned}
 V_o &= \left[\frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2 V_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_s^2 (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= V_s \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos 2\omega t) d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= V_s \left[\frac{1}{\pi} \left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= V_s \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.19)
 \end{aligned}$$

Dengan variasi sudut α dari 0 sampai α . V_o dapat divariasikan dari V_s sampai 0.

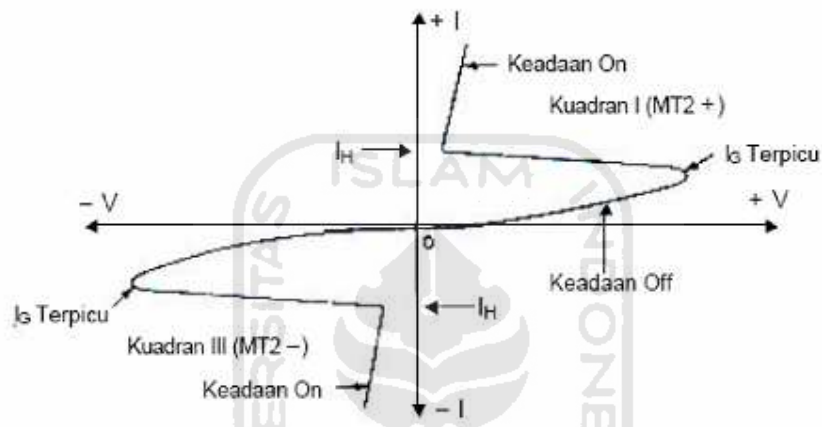
2.8 TRIAC

SCR (*Sillicon Controlled Rectifier*) dan TRIAC (*TRIode Alternating Current*) adalah alat *thyristor* yang paling sering digunakan. TRIAC dapat bersifat konduktif dalam dua arah. Dalam hal ini dapat dianggap sebagai dua buah *thyristor* yang terhubung *invers-paralel* dengan koneksi gerbang seperti ditunjukkan pada gambar 2.20 (a). TRIAC mempunyai tiga terminal; terminal utama 2 (MT2), terminal utama 1 atau (MT1) dan gerbang (G). Gambar 2.20 (b) menunjukkan simbol TRIAC.



Gambar 2.20 (a). Rangkaian ekivalen TRIAC, (b). Simbol TRIAC

Jika terminal MT2 positif terhadap MT1, TRIAC dapat di-*on*-kan dengan memberikan sinyal gerbang positif antara G dan MT1. Jika terminal MT2 negatif terhadap MT1 maka TRIAC dapat di-*on*-kan dengan memberikan sinyal pulsa negatif antara G dan MT1. Tidak perlu memiliki kedua sinyal gerbang positif dan negatif, TRIAC dapat dihidupkan baik oleh sinyal gerbang positif maupun negatif.



Gambar 2.21 Karakteristik TRIAC

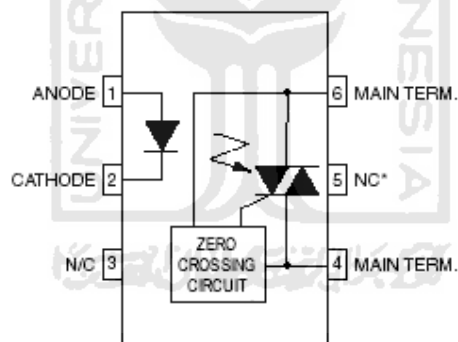
Karakteristik V-I dari TRIAC diberikan Gambar 2.21. Arus I_H , disebut *holding current* adalah arus minimum yang dibutuhkan untuk mempertahankan TRIAC tetap *on*. TRIAC merupakan komponen yang simetris dan mampu memberikan performansi yang sama pada daerah kerja kuadran III dari grafik dengan kerja kuadran I. Sehingga TRIAC dapat dioperasikan di kuadran I (tegangan dan arus gerbang positif) atau di kuadran III (arus dan tegangan gerbang negatif).

2.9 Optocoupler

Guna mengendalikan peralatan listrik yang mempunyai konsumsi tegangan 220 Volt AC, diperlukan antarmuka antara tegangan tinggi dan tegangan rendah,

yaitu dengan menggunakan *optocoupler*. *Optocoupler* memungkinkan konstruksi relai elektronik sederhana. *Optocoupler* dapat digunakan untuk menghindari noise dan memiliki tanggapan kerja yang cepat.

Keunggulan *optocoupler* sebagai sistem pengontrol adalah antara pengontrol dengan yang dikontrol tidak tersambung secara langsung, sehingga apabila ada kerusakan pada terkontrol dalam hal ini arus AC bolak-balik, maka tidak akan merusakkan rangkaian pengontrol. Hal ini terjadi karena secara fisik jaringan antara led dengan optodioda tidak terhubung, sehingga meskipun rangkaian yang dikontrol cukup membahayakan rangkaian pengontrol apabila terjadi hubungan langsung, dengan menggunakan *optocoupler* masalah ini dapat diatasi.



Gambar 2.22 Skema *optocoupler*

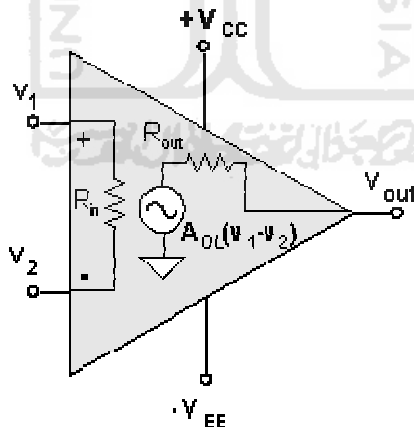
2.10 Penguat Operasional (Op-Amp)

Op-Amp adalah piranti yang berfungsi mengindera dan memperkuat sinyal masukan baik DC maupun AC. Op-Amp terdiri atas tiga rangkaian dasar, yaitu penguat diferensial impedansi masukan tinggi, penguat tegangan penguatan tinggi

dan penguat keluaran impedansi rendah. Karakteristik Op-Amp yang terpenting adalah:

1. Impedansi masukan sangat tinggi.
2. Penguatan loop terbuka sangat tinggi.
3. Impedansi keluaran amat rendah, sehingga keluaran penguat tidak terpengaruh pembebanan.

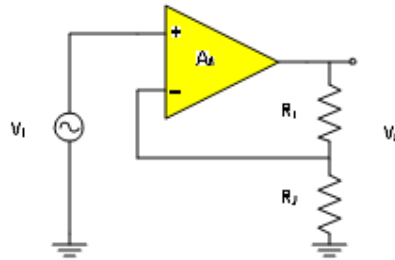
Simbol Op-Amp standar digambarkan dengan sebuah segitiga, terminal-terminal masukan ada pada bagian atas segitiga. Masukan membalik (*inverting*) dinyatakan dengan tanda *minus* (-), tegangan DC atau AC yang diberikan pada masukan ini akan digeser fasanya 180° pada keluarannya. Sedangkan masukan tak membalik (*non-inverting*) dinyatakan dengan tanda *plus* (+) dan jika masukan ini diberi tegangan DC atau AC maka masukan akan sefasa dengan keluaran.



Gambar 2.23 Diagram skematis simbol Op-Amp

Op-Amp fungsi umumnya adalah sebagai penguat, tetapi dengan penambahan beberapa komponen pasif eksternal dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi. Salah satu aplikasi Op-Amp sebagai penguat adalah penguat *non-*

inverting. Rangkaian penguat *non-inverting* ditunjukkan gambar 2.24. Sinyal yang ingin dikuatkan dimasukkan ke input *non-inverting*.



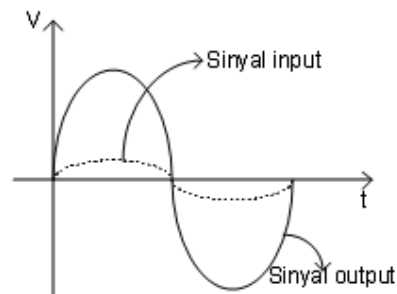
Gambar 2.24 Penguat *non-inverting*

Hubungan tegangan masukan dan keluaran diperlihatkan pada persamaan di bawah ini.

$$V_o = A \cdot V_i$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot V_i \quad (2.20)$$

Dari persamaan di atas, tegangan keluaran mempunyai fase yang sama dengan tegangan masukan. Ilustrasi sinyal *input* dan *output* dijelaskan gambar di bawah ini.

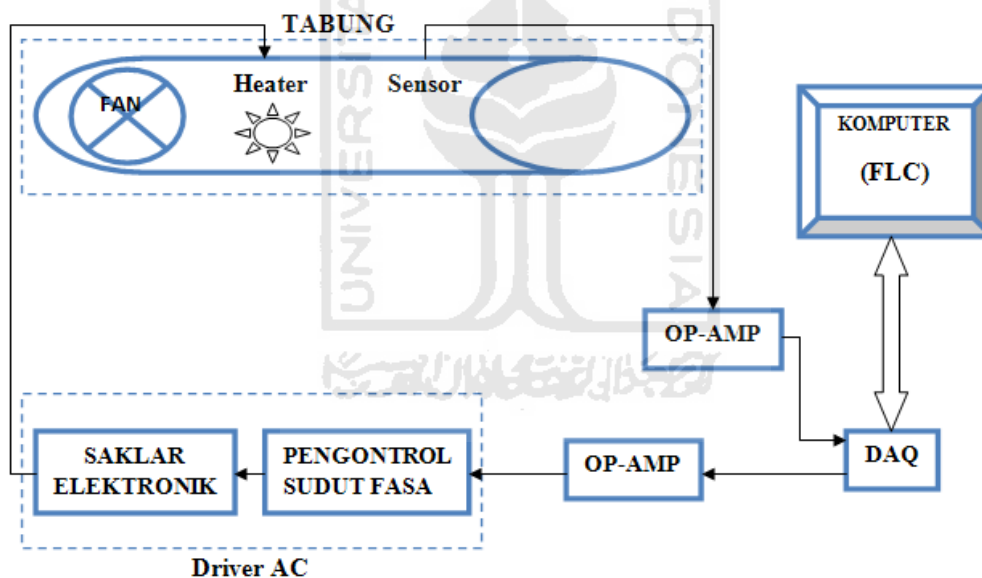


Gambar 2.25 Hubungan sinyal *input-output* penguat *non-inverting*

BAB III

PERANCANGAN SISTEM

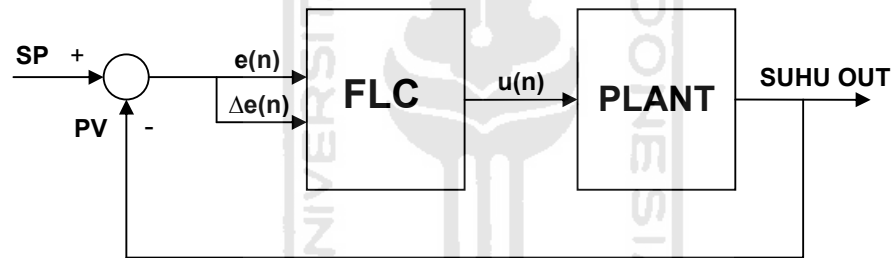
Perancangan sistem pengendali suhu *air heater* meliputi perancangan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Sistem yang dirancang akan membentuk suatu sistem pengendali suhu udara. Pengendalian suhu udara dilakukan dengan mengatur tegangan yang diberikan ke *heater*. Pengaturan tegangan dilakukan oleh blok driver AC berdasarkan output dari pengendali logika *fuzzy* (FLC). Blok diagram sistem ditunjukkan gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok diagram sistem kendali suhu *air heater*

Tabung udara menggunakan sebuah pipa besi yang tahan panas. Sebagai pemanas digunakan sebuah elemen *heater* yang biasa digunakan pada pemanas udara konvensional. *Plant* juga dilengkapi dengan *stirrer*/kipas yang akan memutar udara sehingga penyebaran panasnya dapat lebih cepat merata.

Penginderaan suhu udara dilakukan oleh sensor suhu LM35 yang dibungkus dengan bahan tahan panas untuk menghindari terjadinya *short circuit*. Sensor suhu LM35 memiliki keluaran cukup kecil yaitu tiap kenaikan 1 °C akan menghasilkan kenaikan tegangan output sebesar 10 mV. Tegangan output sensor suhu LM35 masih dalam orde mV, sehingga perlu dikuatkan dengan menggunakan amplifier (Op-Amp) agar dapat dibaca oleh NI USB-6009 dan dikirim ke PC sebagai data masukan. Selanjutnya data tersebut akan diproses dengan bantuan program LabVIEW. Sistem kendali suhu berbasis *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Blok diagram sistem pengendali logika *fuzzy*

Saat SP (*Setting Point*) diinputkan ke dalam sistem, maka sistem akan menghitung *error* (e) dan *change of error* (Δe). Kedua variabel ini akan menjadi *input* dalam FLC yang berupa perangkat lunak sistem. *Output* dari FLC memberikan aksi kendali pada *plant*, dalam hal ini mengaktifkan driver AC untuk mengatur supply tegangan 0 - 220 Volt AC ke heater. Suhu *output plant* akan diumpanbalikkan guna menghitung sinyal *error* dan *change of error*.

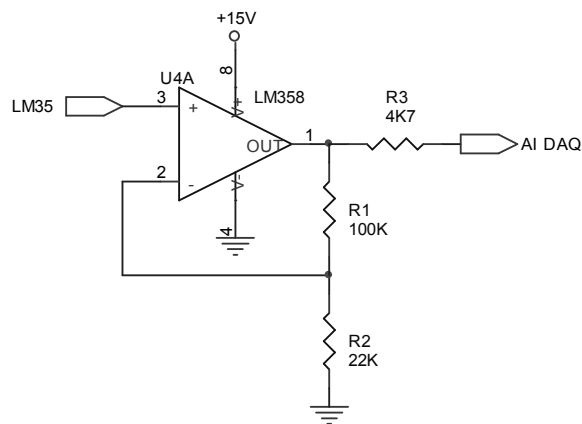
3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Pada perancangan *hardware* akan dibahas: rangkaian penguat sensor suhu LM35, rangkaian penguat tegangan kontrol, rangkaian pengontrol fasa, rangkaian saklar elektronik dan rangkaian stirrer.

3.1.1 Rangkaian Penguat Sensor Suhu LM35

Sensor suhu LM35 memiliki keluaran cukup kecil yaitu tiap kenaikan 1 °C akan menghasilkan kenaikan tegangan *output* sebesar 10 mV. Jadi perlu ditambahkan rangkaian penguat agar nilai tegangan yang dibaca tidak terlalu kecil. Pada rangkaian penguat ini, keluaran dari sensor LM35 akan masuk ke Op-Amp LM358. Rangkaian penguat ini termasuk jenis *non inverting*. Perhitungan nilai penguatan dari rangkaian ini yaitu:

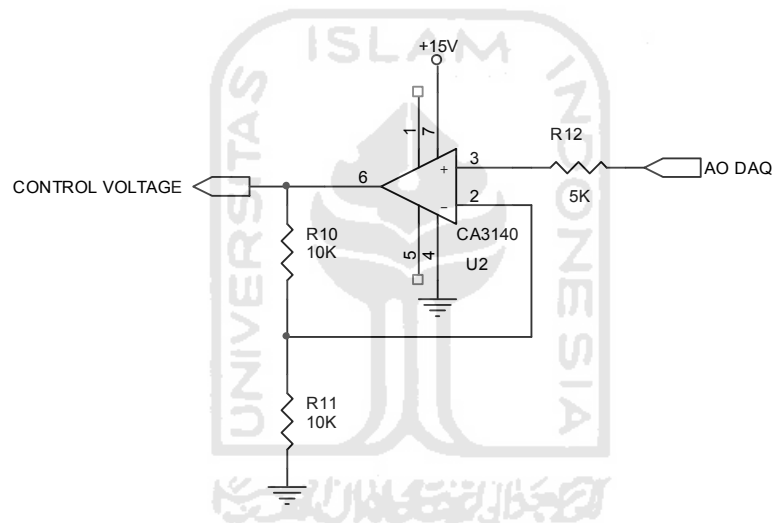
$$\begin{aligned} A &= V_o/V_i \\ &= (1 + R_1/R_2) \\ &= (1 + 100K/22K) = 5.5x \end{aligned}$$



Gambar 3.3 Rangkaian penguat sensor LM35

3.1.2 Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol

Pada pengontrolan fasa tegangan AC memerlukan tegangan kontrol sebesar 0 sampai 10 V_{DC} untuk menggeser pulsa 0° sampai 180°, dimana tegangan kontrol ini bersumber dari kanal *analog output* NI USB-6009. NI USB-6009 hanya dapat membangkitkan tegangan 0 sampai 5 V_{DC}, sehingga perlu dikuatkan 2x agar dapat menggeser pulsa secara penuh. Pada rangkaian ini digunakan Op-Amp CA3140 yang difungsikan sebagai penguat *non inverting*.



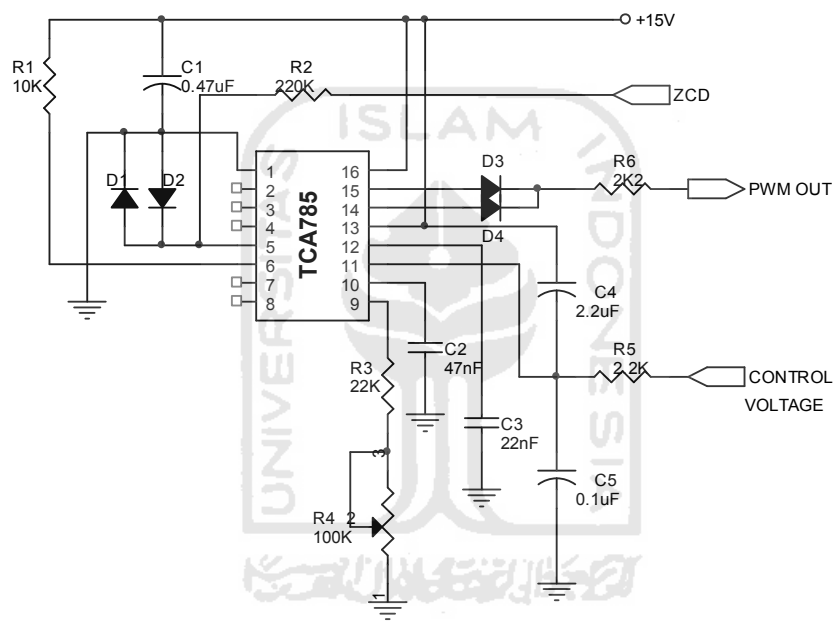
Gambar 3.4 Rangkaian penguat tegangan kontrol

Perhitungan nilai penguatan dari rangkaian diatas adalah:

$$\begin{aligned}
 A &= V_o/V_i \\
 &= (1 + R_{10}/R_{11}) \\
 &= (1 + 10K/10K) = \mathbf{2x}
 \end{aligned}$$

3.1.3 Rangkaian Pengontrol Sudut Fasa Tegangan AC

Rangkaian pengontrol sudut fasa pada penelitian ini menggunakan IC TCA 785, dimana didalamnya sudah terintegrasi *Zero Crossing Detector* (ZCD) dan penggeser pulsa dari 0° sampai 180° . Rangkaian pengontrol sudut fasa dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian pengontrol sudut fasa

Sinyal sinkronisasi berasal dari tegangan 12 V_{AC} yang dihubungkan pada kaki nomor 5. Untuk menghindari arus yang sangat besar pada IC maka sebelum masuk ke kaki 5, tegangan 12 V_{AC} harus diberi hambatan terlebih dahulu sebesar $220\text{ k}\Omega$ dan juga diberi rangkaian antiparalel diode antara kaki 1 dan kaki 5. Arus yang masuk ke IC sangat kecil, yaitu:

$$I_{SYNC} = \frac{V_{SYNC}}{R}$$

$$I_{SYNC} = \frac{12}{220000} = 5,4 \mu A$$

dimana:

V_{SYNC} = Tegangan sinkronisasi (Volt)

I_{SYNC} = Arus sinkronisasi (Ampere)

R = Hambatan (Ohm)

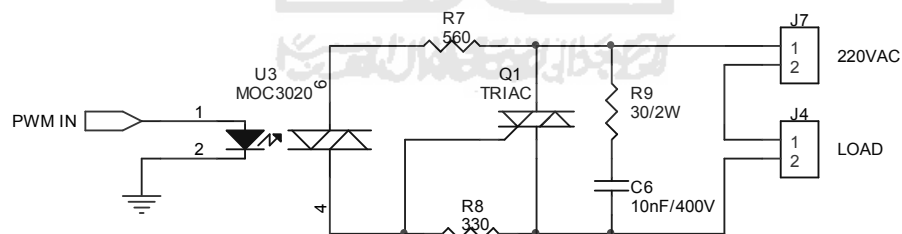
Pada IC TCA 785 terdapat peraba nol (ZCD) yang akan menentukan letak titik nol sinyal AC dan disimpan ke dalam memori sinkron. *Detector* ini kemudian akan mengendalikan generator gelombang tegangan gigi gergaji yang sesuai dengan frekuensi sumber tegangan. Kapasitor C_2 , resistor R_9 dan R_{10} akan menentukan kemiringan dari gelombang gigi gergaji yang dihasilkan. Gelombang ini kemudian dibandingkan dengan tegangan referensi V_{11} oleh *comparator* (pembanding). Sinyal *output* dari *comparator* ini kemudian akan diteruskan ke rangkaian logika. Bila tegangan referensi pada kaki 11 (V_{11}) pada posisi terendah, maka sudut penyulutan akan menunjukkan $\alpha = 0^\circ$. Sehingga untuk mengatur pemicuan dapat dilakukan memvariasi tegangan yang masuk pada kaki 11 (tegangan kontrol).

Keluaran dari IC ini adalah berupa pulsa pada kaki 14 dan 15 yang digabungkan dengan 2 buah dioda untuk menghindari adanya tegangan balik ke IC. Kaki 14 akan membangkitkan pulsa ketika sinyal AC berada pada daerah negatif ($180^\circ - 360^\circ$), sedangkan kaki 15 akan membangkitkan pulsa saat sinyal AC berada pada daerah positif ($0^\circ - 180^\circ$). Sinyal pulsa yang dihasilkan akan

mempunyai fase yang sama dengan sinyal tegangan AC, dengan lebar yang dapat divariasikan sesuai dengan besar tegangan kontrolnya.

3.1.4 Rangkaian Saklar Elektronik

Rangkaian saklar elektronik berfungsi untuk menyalurkan daya keluaran atau arus keluaran ke beban dan dapat dikendalikan untuk menghubungkan maupun memutusinya. Rangkaian ini terdiri dari triac jenis BTA12 sebagai komponen utamanya yang disulut dan akan mengatur besarnya arus. MOC 3020 sebagai bahan pemisah antara sinyal penyulutan dengan sinyal gate dimana keduanya saling mempengaruhi. Pemilihan jenis tersebut didasarkan pada kebutuhan kendali elektronik yang mudah. MOC 3020 untuk mengendalikannya seperti penyalan LED. Untuk menghubungkan maupun memutus hubungan dengan menghidupkan dan mematikan LED pada pin 1 dan 2.

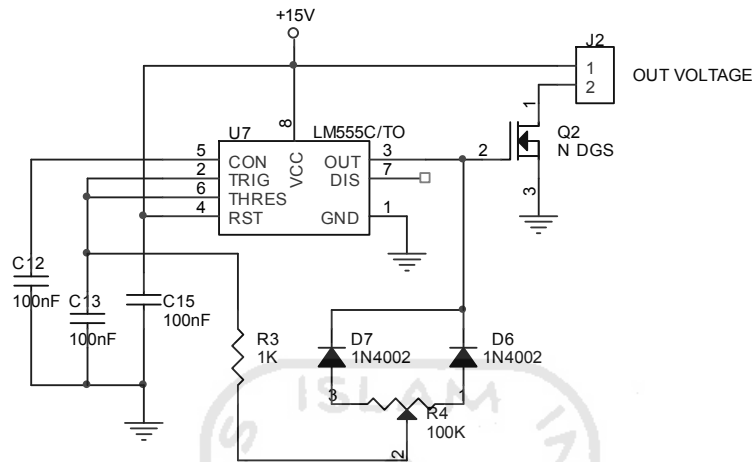


Gambar 3.6 Rangkaian saklar elektronik

3.1.5 Rangkaian *Stirrer* (Pendorong Udara Dan Pendingin)

Rangkaian ini digunakan sebagai pendorong yang berfungsi untuk meratakan suhu udara di dalam tabung *heater*, agar panasnya dapat merata. Selain meratakan suhu, *stirrer* ini juga dapat difungsikan sebagai pembuang panas sehingga suhu

dapat sedikit menurun. Untuk rangkaian *stirrer* tersebut dapat dilihat seperti gambar berikut:



Gambar 3.7 Rangkaian *stirrer*

Masukan rangkaian ini sebesar 15 Volt DC. Kemudian tegangan masuk ke IC *timer* (LM555) yang sebelumnya masuk ke kapasitor 100 nF. Fungsi dari IC LM555 yaitu biasa digunakan sebagai pewaktuan. Keluaran dari LM555 masuk ke dioda dan potensiometer, fungsi potensiometer ini yaitu agar tegangan yang masuk transistor dapat divariasikan sesuai kebutuhan. Sedangkan fungsi transistor di sini yaitu sebagai saklar yang digunakan untuk *switching* tegangan *output*. Kecepatan putar *stirrer* tergantung dari tegangan yang outputnya, dalam hal ini diatur oleh potensiometer.

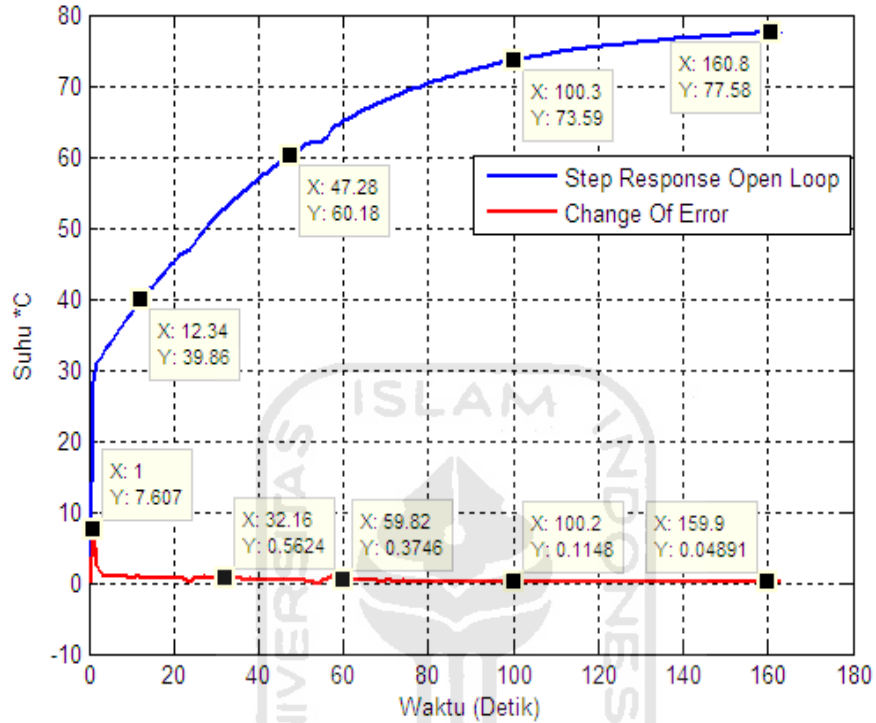
3.2 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada perancangan perangkat lunak akan dibahas: perancangan pengendali *Fuzzy Logic Controller* FLC dan perancangan *Graphical User Interface* (GUI) dengan menggunakan program LabVIEW.

3.2.1 Pengendali Fuzzy Logic Controller (FLC)

Sistem inferensi fuzzy yang digunakan pada pengendali suhu *air heater* ini adalah metode Mamdani. Pada metode Mamdani, untuk mendapatkan *output* diperlukan 4 tahapan, yaitu: Pembentukan himpunan fuzzy (fuzzifikasi), aplikasi fungsi implikasi (aturan), komposisi aturan, dan penegasan (defuzzifikasi). Komposisi aturan menggunakan operator AND, sedangkan untuk defuzzifikasi digunakan metode *Center Of Area* (COA).

Untuk mengetahui karakteristik *plant* suhu yang akan dikendalikan, maka diambil sistem secara kalang terbuka. Sistem secara kalang terbuka ini akan dijadikan sebagai acuan dalam penentuan *range* fungsi keanggotaan *change of error* (Δe) pada pengendali FLC yang dibangun. Sistem kalang terbuka ini dilakukan dengan cara mengirimkan tegangan dengan jangkauan antara 0 sampai dengan 10 Volt pada blok driver AC. Tegangan 0 Volt akan menyebabkan pemanas menghasilkan tingkat pemanasan yang maksimal, sedangkan tegangan 10 Volt akan menyebabkan pemanas menghasilkan tingkat pemanasan yang minimal. Respon sistem kalang terbuka diperlihatkan pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Grafik step respon sistem dengan kalang terbuka.

Pada sistem kalang terbuka menunjukkan bahwa dengan tegangan kontrol 0 Volt dan dengan suhu awal sebesar 28 °C maka suhu udara akan terus naik sampai lebih dari 70 °C, dengan kenaikan $\pm 0,3$ °C setiap detiknya. Dengan mengacu pada hasil pengujian ini maka akan dibentuk FLC dengan fungsi keanggotaan Δe pada range -0.3 sampai 0.3 [-0.3 0.3].

Tabel 3.1 Sebagian data dengan sistem kalang terbuka.

Detik ke-	Suhu-°C	Δe -°C	Detik ke-	Suhu-°C	Δe -°C	Detik ke-	Suhu-°C	Δe -°C
50	61.23032	0.407698	83	70.88742	0.160063	116	75.18758	0.064855
51	61.64283	0.412508	84	71.07294	0.185521	117	75.28499	0.097409
52	61.89732	0.254485	85	71.24475	0.171809	118	75.32399	0.039
53	61.91542	0.018107	86	71.42382	0.179064	119	75.41494	0.090953
54	61.88147	-0.03396	87	71.59537	0.17155	120	75.45799	0.043046
55	62.17883	0.297363	88	71.78934	0.193972	121	75.52668	0.068696
56	62.85047	0.671637	89	71.95077	0.16143	122	75.59421	0.067525
57	63.69832	0.847853	90	72.11886	0.168096	123	75.63717	0.042957
58	64.23048	0.532165	91	72.27025	0.151381	116	75.18758	0.064855
59	64.65196	0.421479	92	72.45537	0.185127	117	75.28499	0.097409
60	65.01597	0.364007	93	72.6114	0.156032	118	75.32399	0.039
61	65.35493	0.338962	94	72.77723	0.165821	119	75.41494	0.090953
62	65.67875	0.323813	95	72.93437	0.157147	120	75.45799	0.043046
63	66.00365	0.324905	96	73.0467	0.112332	121	75.52668	0.068696
64	66.33697	0.333318	97	73.17724	0.130534	122	75.59421	0.067525
65	66.62934	0.292369	98	73.33117	0.153933	123	75.63717	0.042957
66	66.92435	0.295016	99	73.43915	0.107975	124	75.72279	0.085624
67	67.1883	0.263945	100	73.55182	0.112669	125	75.77294	0.050152
68	67.50794	0.319646	101	73.67589	0.124076	126	75.84627	0.073332
69	67.75966	0.251714	102	73.75296	0.077066	127	75.93392	0.087644
70	68.04031	0.280654	103	73.82918	0.076221	128	76.0159	0.081977
71	68.3142	0.273889	104	73.95132	0.122145	129	76.09154	0.075642
72	68.53663	0.22243	105	74.0752	0.123875	130	76.15674	0.065203
73	68.77025	0.233617	106	74.20769	0.132492	131	76.2066	0.049863
74	69.03356	0.263306	107	74.35574	0.148048	132	76.23558	0.028981
75	69.25344	0.219885	108	74.43011	0.074368	133	76.31187	0.076288
76	69.49871	0.245271	109	74.57479	0.144688	134	76.37635	0.064476
77	69.71366	0.214948	110	74.65839	0.083596	135	76.43904	0.062689
78	69.94207	0.228408	111	74.75927	0.100878	136	76.52469	0.085649
79	70.13007	0.188007	112	74.84542	0.086156	137	76.53967	0.014987
80	70.33888	0.208807	113	74.97434	0.128914	138	76.58238	0.042702
81	70.5521	0.213216	114	75.04644	0.072097	139	76.63908	0.056705
82	70.72736	0.175262	115	75.12273	0.076289	140	76.7043	0.065223

3.2.1.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)

Perancangan pengendali *Fuzzy Logic Controller* (FLC) diawali dengan pembentukan himpunan fuzzy dari *crisp input* dan *output*. Pada *plant* yang penulis gunakan, terdapat dua buah *crisp input* dan satu buah *crisp output*. *Crisp input* yang digunakan yaitu *error* (e) dan *change of error* (Δe), sedangkan *crisp output* yang digunakan yaitu *change of voltage* (Δu). Harga *error*, *change of error* dan *change of voltage* ditentukan dari persamaan:

$$\text{Error} = \text{SP} - \text{PV} \quad (3.1)$$

$$\text{Change of error} = e(n) - e(n-1) \quad (3.2)$$

$$\text{Change of voltage} = u(n) - u(n-1) \quad (3.3)$$

Keterangan:

SP = Harga *Setting Point*

PV = Harga *Output* pada saat t

$e(n)$ = Harga *error* pada saat t

$e(n-1)$ = Harga *error* pada saat $t-1$

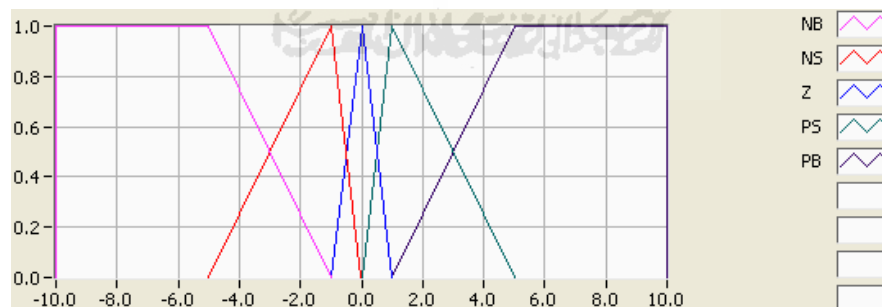
$u(n)$ = Harga tegangan pada saat t

$u(n-1)$ = Harga tegangan pada saat $t-1$

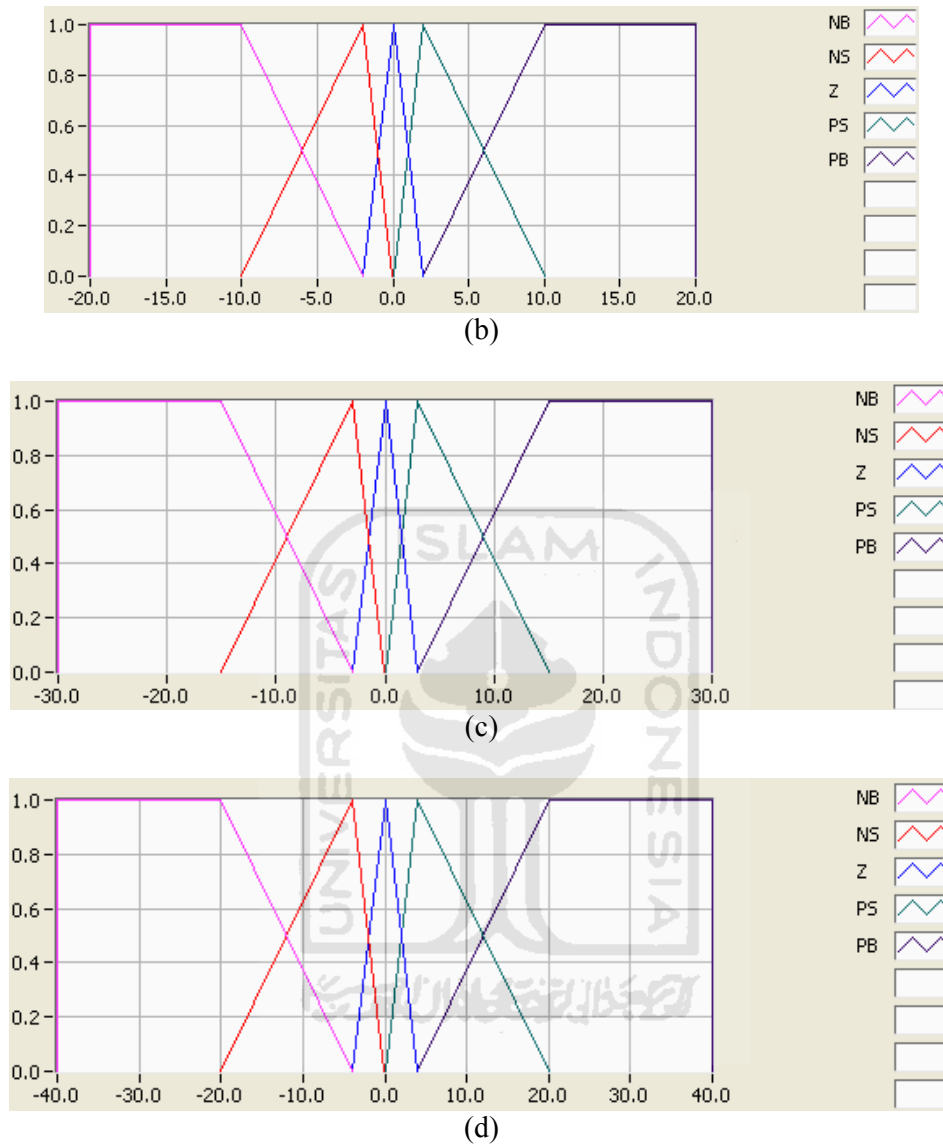
Tidak seperti kontroler konvensional yang membutuhkan batasan yang tepat dari input dan outputnya, FLC menggunakan pendekatan secara lebih sederhana yaitu dengan menggunakan batasan-batasan negatif, nol dan positif. Pada desain ini, digunakan segitiga dan trapesium untuk fungsi keanggotaan *input* dan *output*.

3.2.1.1.1 Himpunan Fuzzy Input 1 “Error”

Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan untuk *input error* adalah lima buah yaitu dengan label NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*), dengan batasan-batasan [-10 10], [-20 20], [-30 30], dan [-40 40]. Pemilihan batasan-batasan ini didasarkan bahwa suhu yang akan dikendalikan maksimal 70 °C dan pengujian menggunakan *interval sampling* 10 data perdetik, sedangkan suhu udara pada keadaan ruang adalah ± 28 °C. Dengan demikian rentang maksimum [-40 40] sudah mewakili dari kondisi di lapangan. Bentuk fungsi keanggotaan yang digunakan yaitu trapesium dan segitiga, seperti ditunjukkan gambar 3.9. Beberapa variasi nilai *range input error* akan diaplikasikan untuk mengetahui respon sistem yang paling baik. Hal ini dikarenakan penentuan *range input error* menggunakan pendekatan *trial-and-error*.



(a)

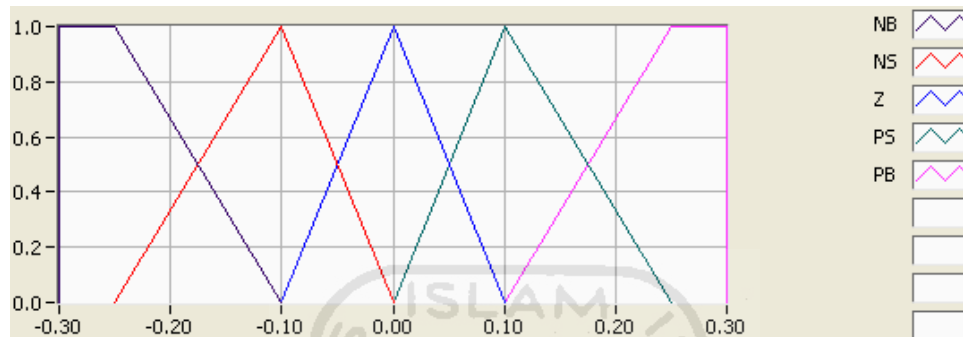


Gambar 3.9 Himpunan fuzzy input1 (a) *error1*, (b) *error2*, (c) *error3*, (d) *error4*

3.2.1.1.2 Himpunan Fuzzy Input 2 “Change of Error”

Untuk *crisp input change of error*, label yang digunakan sama dengan *crisp input error*, yaitu NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*). Pada pengujian sistem secara *open loop*,

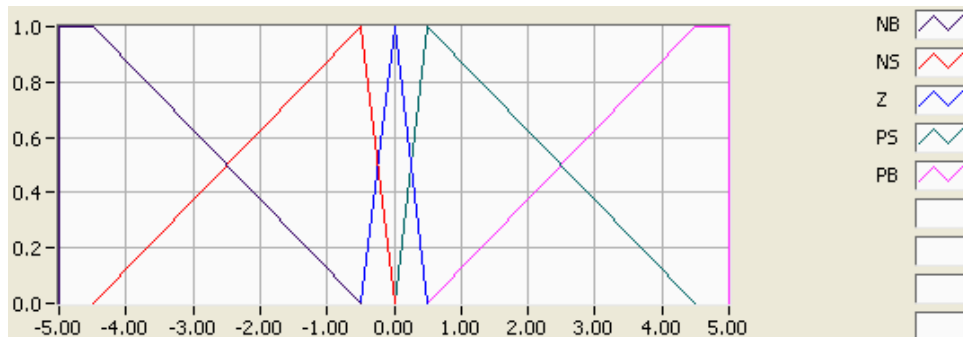
perubahan nilai suhu air pada setiap detiknya rata-rata $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Didasarkan pada fakta tersebut maka *range* yang dipakai pada fungsi keanggotaan *input* untuk *change of error* adalah pada rentang $[-0.3\ 0.3]$.



Gambar 3.10 Himpunan fuzzy *input2 change of error*

3.2.1.1.3 Himpunan fuzzy *Output "Change of Voltage"*

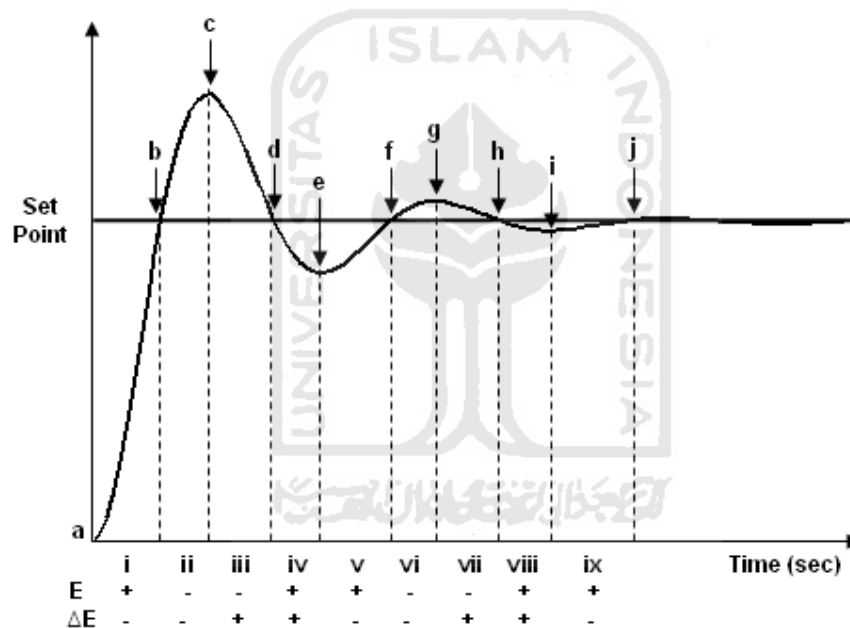
Jumlah fungsi keanggotaan *output* yang digunakan untuk *Change of Voltage* adalah lima buah yaitu dengan label NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*), dengan batasan $[-5\ 5]$. Batasan ini didasarkan bahwa tegangan yang dapat dibangkitkan kanal *analog output* NI USB-6009 bernilai $0 - 5$ Volt.



Gambar 3.11 Himpunan fuzzy *output change of voltage*

3.2.1.2 Pembuatan *Rules*

Setelah selesai membuat himpunan fuzzy untuk *input* dan *output*, langkah selanjutnya yaitu membuat aturan-aturan fuzzy (*rules*). Proses pembuatan *rules* dilakukan dengan menerapkan kemampuan manusia dalam mengendalikan suatu sistem kendali. Secara umum respon fungsi step suatu sistem kendali akan memberikan *output* seperti yang terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Sistem *step* respon

Pada saat sistem diaktifkan ($output = 0$ dan $waktu = 0$), *output* akan naik dengan cepat menuju *setting point* (SP), bahkan jauh melebihi SP. *Output* ini oleh kontroler akan diturunkan menuju SP, tetapi proses penurunan ini juga mengalami kelebihan sehingga *output*-nya akan berosilasi di sekitar SP, hingga akhirnya *output*-nya mencapai SP. Apa yang dilakukan oleh kontroler untuk menaikkan dan menurunkan *output* harus sesuai dengan harga *output* saat itu dan sebelumnya

(tergantung dari *error* dan Δe), sehingga kontroler dapat mengambil tindakan yang tepat untuk menyesuaikan *output*-nya.

Dari gambar 3.12, terlihat jika *Error* adalah positif besar, dan *Change of Error* adalah nol, maka *output* yang harus dikeluarkan adalah positif dan besar (point a), atau bila dituliskan dalam bentuk rule yaitu:

IF *error* $e(n)$ is *Positive Big* (PB) **AND** *change of error* $\Delta e(n)$ is *Zero* (Z) **THEN** *output* $du(n)$ is *Positive Big* (PB), untuk lebih jelasnya perhatikan tabel 3.2.

Tabel 3.2 Sebagian rule dan penjelasannya

Rule ke-	$e(n)$	$\Delta e(n)$	$du(n)$	Point	Fungsi
1.	PB	Z	PB	a	mempercepat rise time
2.	PS	Z	PS	e	mempercepat rise time
3.	Z	NB	NB	b	mengurangi overshoot
4.	Z	NS	NS	f	mengurangi overshoot
5.	NB	Z	NB	c	mengurangi overshoot
6.	NS	Z	NS	g	mengurangi overshoot
7.	Z	PB	PB	d	mengurangi osilasi
8.	Z	PS	PS	h	mengurangi osilasi
9.	Z	Z	Z	set point	braking sistem
10.	PB	NB	PB	i (a-b)	mempercepat rise time
11.	NB	NB	NB	ii (b-c)	mengurangi overshoot
12.	NB	PB	NB	iii (c-d)	mengurangi overshoot
13.	PS	PS	PS	iv (d-e)	mengurangi asilasi
14.	PS	NS	Z	v (e-f)	braking sistem
15.	NS	NS	NS	vi (f-g)	mengurangi osilasi
16.	NS	PS	Z	vii (g-h)	braking sistem

Untuk lebih memudahkan penyusunan *rules*, maka sering kali digunakan sistem matriks seperti terlihat pada tabel 3.3. Pada plant yang dirancang, digunakan satu buah *output* yaitu *change of voltage*. *Output* Δu menggunakan 25

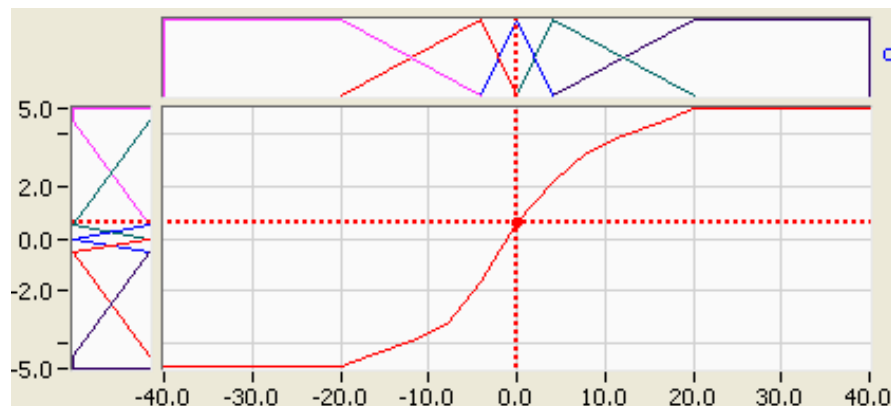
buah *rules* seperti terlihat pada tabel 3.3, dengan memperhatikan input *error* dan *change of error*.

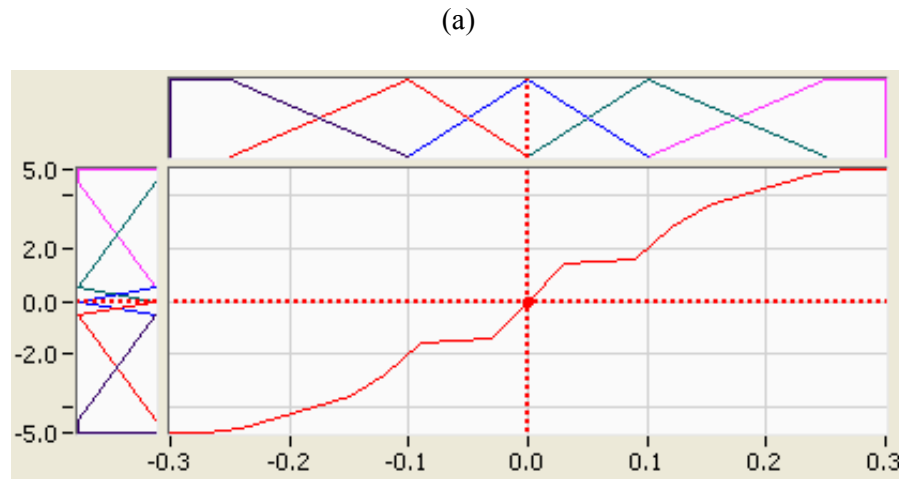
Tabel 3.3 *Rules* untuk *output*

		Δe				
		NB	NS	Z	PS	PB
e	NB	NB	NB	NB	NS	Z
	NS	NB	NB	NS	Z	PS
	Z	NB	NS	Z	PS	PB
	PS	NS	Z	PS	PB	PB
	PB	Z	PS	PB	PB	PB

3.2.1.3 Karakteristik Input/Output Fuzzy Logic Controller (FLC)

Fungsi dari karakteristik I/O adalah untuk mengetahui karakteristik I/O FLC yang telah dirancang untuk melihat hasil *change of voltage* dan *rule* dari kedua input, yaitu *error* dan *change of error*. Dari perancangan FLC yang telah dibuat dapat diketahui keseluruhan dari sistem karakteristik I/O ini. Dari gambar 3.13 dapat dilihat sebuah gambar karakteristik I/O dengan menggunakan program pada LabVIEW.





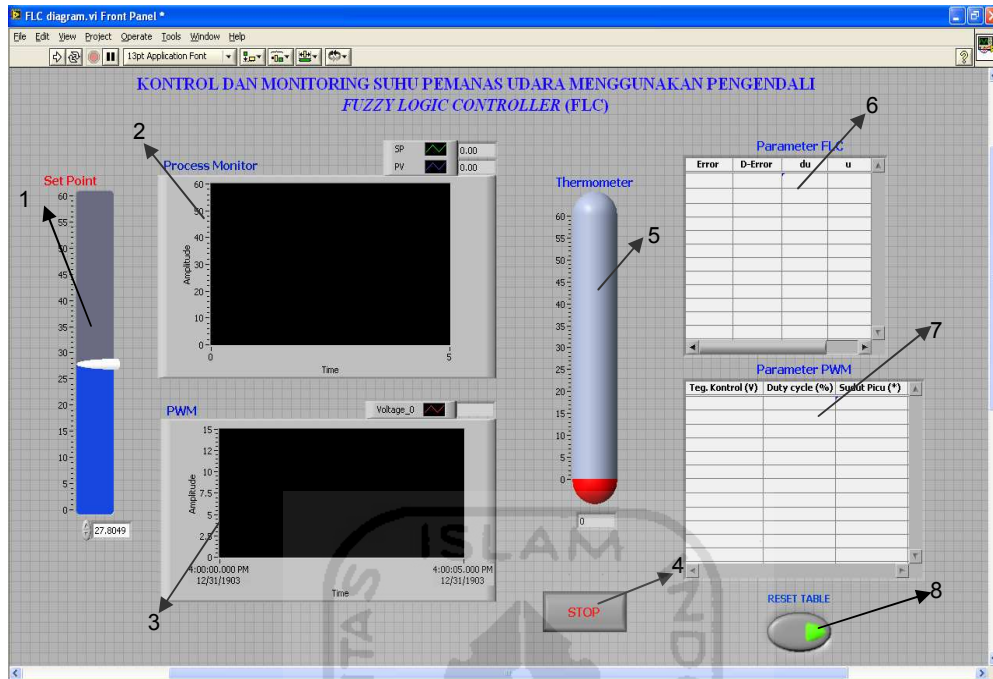
(b)

Gambar 3.13 Karakteristik input/output (a) *error* dan (b) *d-error*

3.2.2 Perancangan *Graphical User Interface* (GUI)

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*), merupakan instrumentasi virtual yang diproduksi oleh National Instruments, berupa sebuah sistem perangkat lunak yang dikembangkan dengan tujuan utama untuk akuisisi data dan sistem kontrol yang berbasis pemrograman grafik secara *real time*. Oleh karena itu, LabVIEW mempunyai banyak fungsi antarmuka yang dapat langsung digunakan oleh penggunanya.

Fungsi dari GUI yang akan dibangun adalah untuk menampilkan data masukan dan keluaran serta dapat digunakan untuk mengendalikan sistem secara keseluruhan. Dari gambar 3.14 dapat dilihat sebuah gambar halaman utama GUI dengan menggunakan program LabVIEW yang terdiri dari dua fungsi utama, yaitu mengendalikan dan menampilkan.



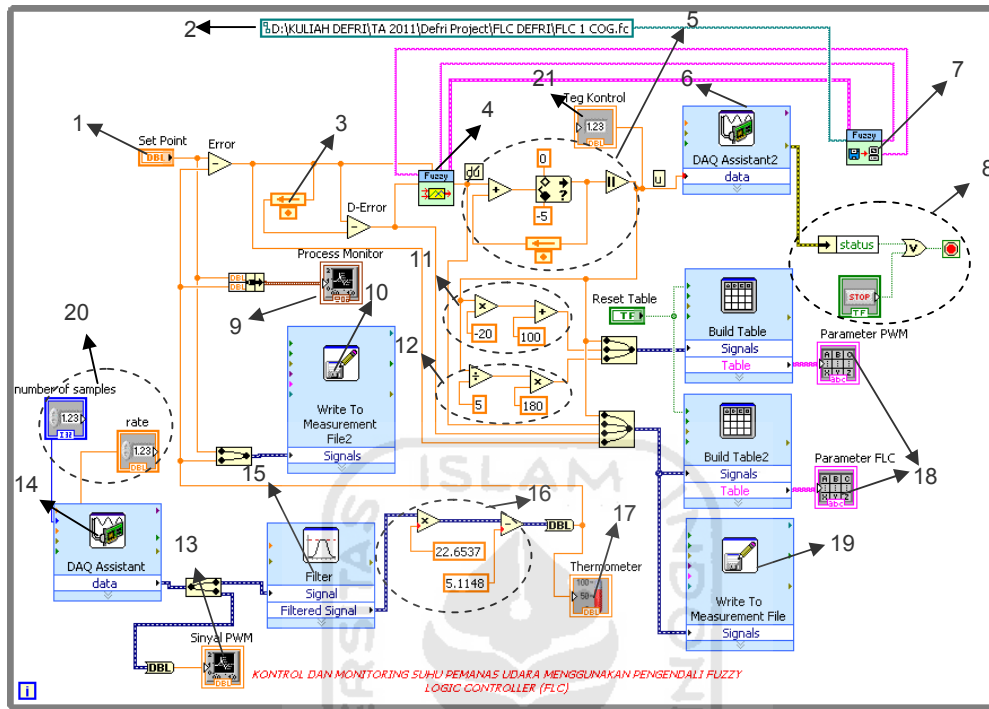
Gambar 3.14 GUI pengendali suhu pemanas udara

Keterangan:

1. **Set Point;** merupakan tempat untuk memasukkan suhu referensi.
2. **Grafik Process Monitor;** merupakan penampil dari respon suhu yang terjadi pada *plant* secara *real time*. Garis warna biru menunjukkan suhu referensi, sedangkan suhu aktual *plant* ditunjukkan oleh garis warna merah.

3. **Grafik Sinyal PWM;** merupakan penampil bentuk sinyal pulsa keluaran rangkaian pengontrol fasa yang akan digunakan untuk memicu TRIAC.
4. **Tombol Stop;** merupakan tombol yang berfungsi untuk menghentikan proses eksekusi dari sistem.
5. **Termometer;** merupakan visualisasi dari nilai suhu air sesungguhnya, sehingga terlihat seperti termometer sesungguhnya dan memudahkan untuk melihat nilai suhu air pada *plant*.
6. **Tabel FLC;** menampilkan nilai variabel-variabel masukan dan keluaran dari pengendali logika fuzzy secara *real time*.
7. **Tabel PWM;** menampilkan nilai variabel tegangan kontrol, *duty cycle*, sinyal PWM dan sudut pemicuan TRIAC.
8. **Tombol Reset;** mereset nilai variabel-variabel pada tabel FLC dan PWM agar selalu menampilkan data terbaru.

Adapun blok diagram pengendalnya adalah sebagai berikut:



Gambar 3.15 Blok diagram sistem pengendali suhu pada LabVIEW

Keterangan:

1. **Set Point;** merupakan blok yang digunakan sebagai suhu referensi sistem pengendali.
2. **Folder FLC;** merupakan tempat penyimpanan rancangan pengendali logika fuzzy yang sudah dibangun. Rancangan FLC yang dibangun disimpan dalam format .fc.
3. **Delay;** merupakan blok yang digunakan untuk menunda 1 detik pembacaan *error*. Jadi nilai output dari blok ini adalah data *error* saat $t-1$.
4. **Eksekusi FLC;** merupakan blok yang berfungsi untuk mengeksekusi pengendali logika fuzzy yang sudah dirancang. Pada blok ini *input* dan *output* FLC akan diproses.

5. **Integrator;** merupakan blok yang berfungsi sebagai penjumlah *output* FLC sekarang dengan *output* sebelumnya ($du(n) + (u(n-1))$). Selanjutnya blok *limiter* akan membatasi hasil penjumlahan ini, yaitu minimal -5 dan maksimal 0. Nilai-nilai yang tidak berada dalam *range* tersebut akan direduksi. Selanjutnya *output* dari blok *limiter* ini akan absolutkan dan dikirim ke *analog ouput* sebagai tegangan kontrol.
6. **Analog Output;** merupakan kanal *virtual* dari *analog output* pada *hardware* akuisisi data NI USB-6009.
7. **Load FLC;** merupakan blok yang digunakan sebagai referensi data terhadap proses yang dilakukan FLC.
8. **Stop;** merupakan blok yang digunakan untuk menghentikan eksekusi sistem.
9. **Grafik Process Monitor;** merupakan blok yang berfungsi mengolah nilai suhu referensi dan suhu pada *plant*, sehingga dapat ditampilkan di *front panel*.
10. **Penyimpanan Data Suhu;** berguna untuk menyimpan data secara *real time* sehingga setiap perubahan suhu bisa dilihat pada file yang dihasilkan.
11. **Manipulasi Duty Cycle PWM;** besarnya *duty cycle* sinyal PWM akan diproses pada blok ini. *Output* FLC akan dikalikan dengan -20, kemudian ditambahkan 100 untuk mendapatkan nilai *duty cycle* dalam persen (%). Perkalian *output* FLC dengan -20 dikarenakan *output* FLC (tegangan kontrol) berbanding terbalik dengan besarnya *duty cycle* PWM.

12. **Manipulasi Sudut Picu;** besarnya sudut pemicuan pada TRIAC akan diproses pada blok ini. *Output* FLC akan dibagi dengan 5, kemudian dikalikan 180 untuk mendapatkan nilai *sudut picu* ($^{\circ}$). Perhitungan sudut picu ini didasarkan pada persamaan 4.1.
13. **Grafik PWM;** mengolah sinyal PWM sehingga dapat ditampilkan di *front panel*.
14. **Analog Input (AI);** merupakan kanal *virtual* dari *analog input hardware* akuisisi data NI USB-6009.
15. **Filter;** memfilter sinyal yang masuk agar lebih halus dan tidak ber-*noise*. Filter digital yang digunakan adalah *low pass filter* sebesar 0.1 Hz, orde 1 dengan tipe *chebyshev*.
16. **Manipulasi Suhu;** mengolah data masukan dari sensor suhu agar nilai yang ditampilkan pada LabVIEW sama dengan kondisi sebenarnya. Pada blok ini tegangan keluaran dari penguat sensor suhu LM35 akan ditambah dengan 22.6537 kemudian dikurangi 5.1148.
17. **Termometer;** menampilkan suhu yang terukur di *plant*.
18. **Tabel;** menampilkan data parameter PWM dan FLC *secara real time*.
19. **Penyimpanan Data Suhu;** berguna untuk menyimpan data secara *real time* sehingga setiap perubahan suhu bisa dilihat pada file yang dihasilkan.
20. **Number Of Sampel dan Rate;** berguna untuk pengaturan *interval sampling* perdetik, dan sistem menggunakan 10 data perdetiknya.
21. **Tegangan Kontrol;** berguna untuk menampilkan setiap perubahan tegangan kontrol yang dikeluarkan oleh sistem FLC.

BAB IV

PENGUJIAN, ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Perangkat Keras (*Hardware*)

Pengujian perangkat keras dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat keras yang telah dirancang dapat bekerja atau berfungsi dengan baik sebagaimana yang diinginkan. Pengujian yang dilakukan terhadap perangkat keras meliputi beberapa blok rangkaian perangkat keras yang telah dirancang.

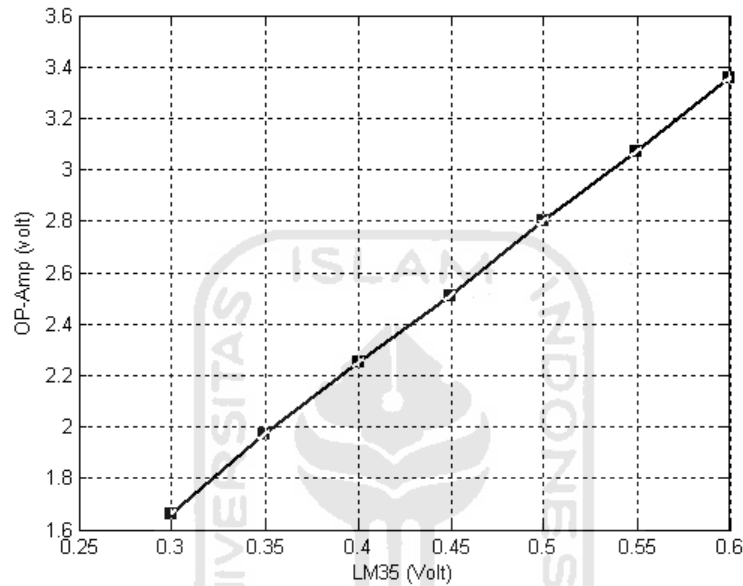
4.1.1 Pengujian Rangkaian Penguat Sensor LM 35

Pengujian rangkaian penguat ini dibutuhkan untuk memperkuat tegangan yang dihasilkan sensor LM35 karena sangat kecil. Rangkaian ini adalah berupa Op-Amp yang difungsikan sebagai penguat tipe *non-inverting* dengan penguatan sinyal input sebesar 5,5 kali.

Tabel 4.1 Pengujian rangkaian penguat sensor LM35

Sensor LM 35 (Volt)	Output Op-Amp (Volt)	Penguatan (kali)
0.30	1.66	5.53
0.35	1.97	5.62
0.40	2.25	5.62
0.45	2.51	5.57
0.50	2.80	5.60
0.55	3.07	5.58
0.60	3.36	5.60

Dari table pengujian di atas, dapat dilihat bahwa tegangan keluaran sensor LM35 cukup kecil. Tegangan input dapat dinaikkan sekitar ± 5.5 kali. Dengan demikian rangkaian penguat ini dapat dikatakan sudah bekerja dengan baik.



Gambar 4.1 Grafik hubungan tegangan keluaran LM35 dengan Op-Amp

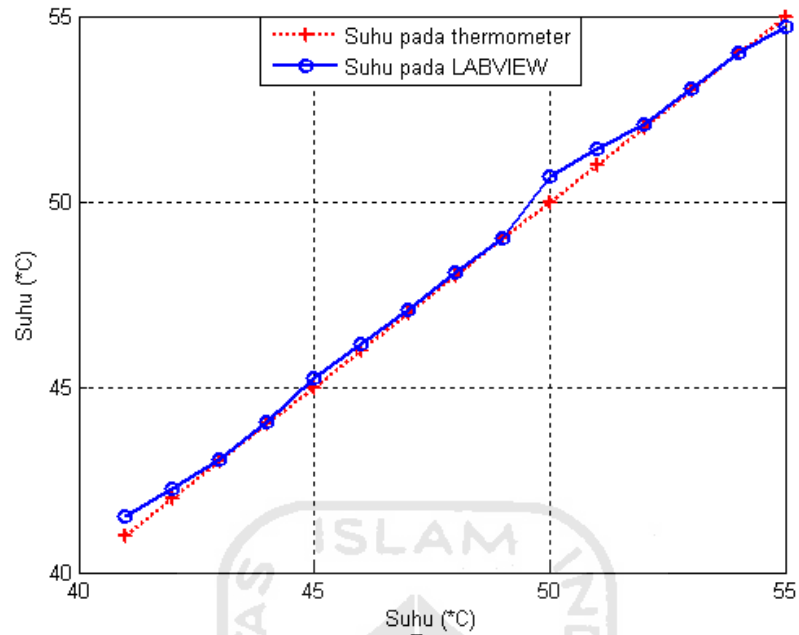
Dari gambar grafik hubungan di atas dapat diketahui bahwa, semakin besar nilai tegangan yang dikeluarkan sensor LM35 maka, akan semakin bertambah besar nilai tegangan yang dikeluarkan oleh Op-Amp dan nilainya cukup linier.

Pengujian suhu thermometer dengan suhu diLabVIEW ini dibutuhkan untuk mengetahui error (%) yang dihasilkan dari perbandingan kedua penampil suhu. Error (%) yang didapatkan untuk mengetahui berapa selisih nilai kesalahan antara suhu yang tertampil di thermometer dan di labview.

Tabel 4.2 Pengujian nilai suhu thermometer dengan nilai suhu LabVIEW

No.	Nilai suhu pada thermometer (°C)	Nilai suhu pada LabVIEW (°C)	Error (%)
1	41	41.52	1.25
2	42	42.28	0.66
3	43	43.05	0.12
4	44	44.06	0.14
5	45	45.24	0.53
6	46	46.15	0.33
7	47	47.08	0.17
8	48	48.1	0.21
9	49	49.01	0.02
10	50	50.66	1.3
11	51	51.43	0.84
12	52	52.08	0.15
13	53	53.04	0.07
14	54	54.02	0.03
15	55	54.7	0.55
Rata-rata Error (%)			0,3

Dari table pengujian di atas, dapat dilihat bahwa rata-rata error yang di hasilkan yaitu $\pm 0,3$ %. Dengan demikian selisih dari penampil thermometer dan labview ini dapat dikatakan memiliki error yang kecil.



Gambar 4.2 Grafik hubungan suhu thermometer dengan suhu diLabVIEW.

Dari gambar grafik hubungan di atas dapat diketahui bahwa, nilai suhu pada LabVIEW lebih tinggi dibandingkan dengan nilai suhu pada thermometer. Akan tetapi selisih dari kedua penampil suhu tidak terlalu signifikan perbedaan nilai suhunya. Dengan demikian penampil pada labview sudah dikatakan bekerja dengan baik.

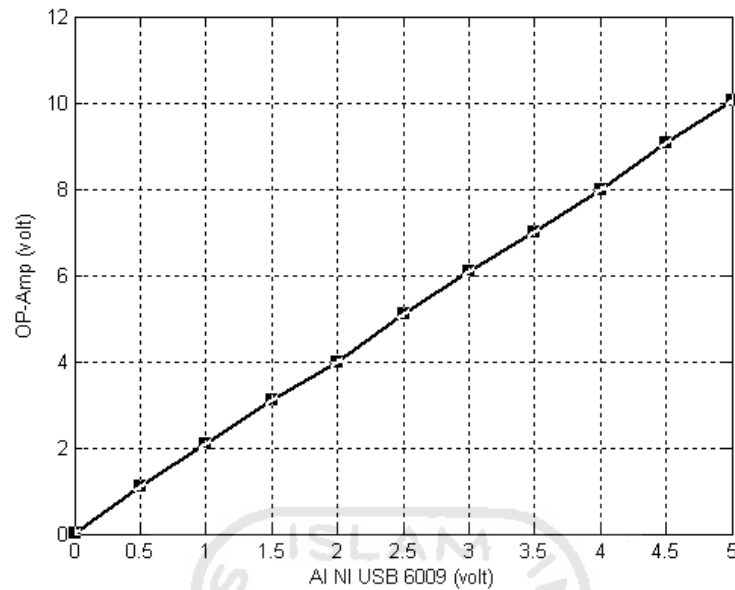
4.1.2 Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol

Pengujian rangkaian penguat ini dibutuhkan untuk memperkuat tegangan yang dikeluarkan oleh kanal *analog output* NI USB-6009 yang hanya sebesar 0 – 5 Volt menjadi dua kalinya. Hal ini dikarenakan rangkaian pengontrol fasa memerlukan variasi *input* tegangan 0 - 10 Volt untuk mengatur sudut pemicuan TRIAC.

Tabel 4.3 Pengujian rangkaian penguat tegangan kontrol

<i>Analog Output</i> NI USB-6009 (Volt)	<i>Output Op-Amp</i> (Volt)	Penguatan
0	0.01	0
0.5	1.1	2.2
1	2.1	2.1
1.5	3.09	2.06
2	4	2
2.5	5.1	2.04
3	6.08	2.02
3.5	7	2
4	8	2
4.5	9.07	2.01
5	10.06	2.012

Berdasarkan data pada tabel 4.3, dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan keluaran kanal *analog output* NI USB-6009 dengan tegangan setelah melalui rangkaian penguat (Op-Amp).

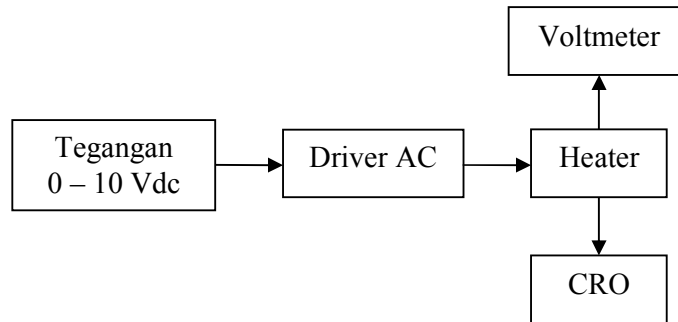


Gambar 4.3 Grafik hubungan tegangan kanal AO NI USB-6009 dengan Op-Amp

Dari table 4.3 dan gambar 4.3 di atas, dapat dilihat bahwa tegangan keluaran kanal *analog output* NI USB-6009 dapat dikuatkan dua kali dengan hubungan yang linier. Dengan demikian rangkaian penguat ini dapat dikatakan sudah bekerja dengan baik.

4.1.3 Pengujian Rangkaian Driver AC

Pengujian driver AC bertujuan untuk mengetahui efek dari perubahan tegangan kontrol terhadap pengaturan tegangan yang di *supply* ke beban (*heater*). Adapun prosedur pengujiannya dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Prosedur pengujian driver AC

Pengujian ini dilakukan dengan cara memvariasi tegangan kontrol 0 – 10 Volt sebagai masukan pada blok driver AC. Untuk mendapatkan sudut pemecuan dapat dilakukan secara manual, yaitu dengan menggunakan persamaan yang ada. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan sudut pemecuan adalah:

$$\alpha = \frac{V_{CONTROL}}{V_{SAT}} \times 180^\circ \quad (4.1)$$

V_{SAT} (V_{10}) diukur dengan menggunakan multimeter dan CRO. Tegangan yang terukur pada pin 10 IC TCA 785 adalah 4,83 V (multimeter) dan 10 Vpp (CRO). Untuk mengatur sudut pemecuan dapat dengan cara mengatur tegangan kontrolnya (pin 11). Variasi sudut yang akan dilakukan adalah 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° , 105° , 120° , 135° , 150° , 165° dan 180° . Adapun hasil dari pemecuannya dapat dilihat pada lampiran.

Jika $V_s = \sqrt{2} V_s \sin \omega t$ adalah tegangan sumber AC dan sudut picu α , maka kita dapat mencari tegangan keluarannya, yaitu:

$$V_o = V_s \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right]^{1/2} \quad (4.2)$$

Harga *error* ditentukan oleh persamaan:

$$Error = \left(\frac{Data\ perhitungan - Data\ pengukuran}{Data\ perhitungan} \right) \times 100\% \quad (4.3)$$

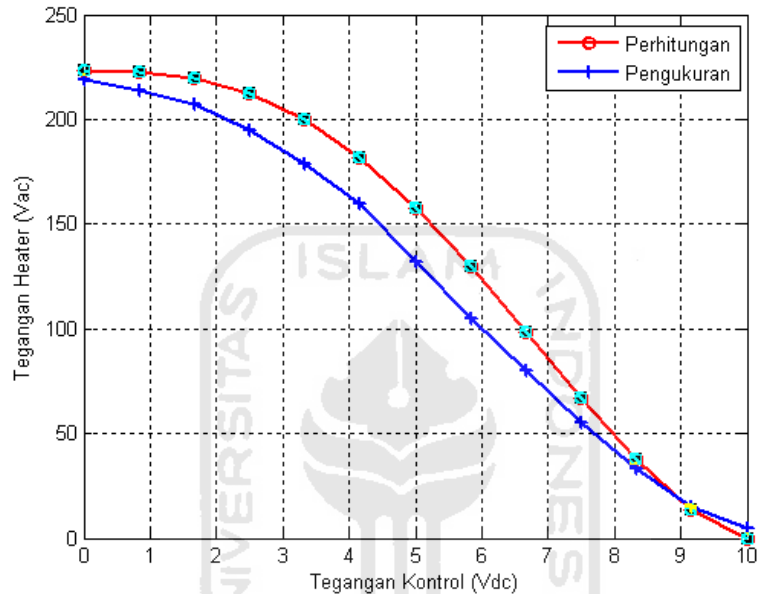
Tabel 4.4 merupakan data yang diambil berdasarkan perhitungan pada variasi sudut picu dan tegangan sumber masukan dari jala-jala PLN beserta tegangan keluaran yang dihasilkan. Dari pengukuran diketahui $V_s = 223$ Volt.

Tabel 4.4 Pengujian blok driver AC

Sudut Picu (°)	Tegangan Kontrol (Volt)	Tegangan Beban (Volt)		Error (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
0	0	219	223	1.79
15	0.83	214	222.58	3.85
30	1.66	207	219.76	5.81
45	2.5	195	212.63	8.29
60	3.33	179	200.02	10.51
75	4.16	160	181.57	11.88
90	5	132	157.68	16.28
105	5.83	105	129.46	18.89
120	6.66	80	98.58	18.84
135	7.5	55	67.18	18.13
150	8.33	33	37.82	12.74
165	9.16	15	13.59	10.37
180	10	5	0	-
Rata-rata Error (%)				10.57

Berdasarkan tabel 4.3 diatas, terlihat adanya selisih tegangan keluaran hasil pengukuran dengan tegangan keluaran hasil perhitungan. Hal tersebut dapat

terjadi karena adanya faktor alat yang belum ideal atau kesalahan dalam menggunakan alat ukur. Berdasarkan data pada tabel 4.5 dapat dilakukan analisa perubahan tegangan kontrol terhadap tegangan keluaran (beban) dengan menggambarannya dalam bentuk grafik hubungan.



Gambar 4.5 Grafik hubungan tegangan kontrol dengan tegangan beban

Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan kurva hubungan tegangan keluaran dengan tegangan kontrol/sudut picu dimana semakin besar tegangan kontrol vdc/sudut picu maka semakin kecil tegangan vac keluarannya, demikian juga sebaliknya. Perubahan yang terjadi berlangsung secara perlahan dan teratur (*soft*). Hal ini membuktikan driver AC yang digunakan dapat mengontrol sudut fasa penyalaan TRIAC sehingga mempengaruhi tegangan keluaran yang dihasilkan.

4.1.4 Pengujian Rangkaian *Stirrer*

Untuk pengujian rangkaian pengaduk ini dapat dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dengan multimeter digital. Nilai tegangan keluaran dari rangkaian ini dapat diatur besar kecilnya dengan potensiometer. Tegangan keluaran yang terukur yaitu 0 sampai 11.1 volt. Dengan pengaturan potensiometer kecepatan pengaduk dapat dipercepat atau diperlambat sesuai kebutuhan. Rangkaian pengaduk ini sudah dapat bekerja dengan baik.

4.2 Pengujian Perangkat Lunak (*Software*)

Pengujian perangkat lunak dilakukan dengan cara menjalankan program LabVIEW pada PC yang terkoneksi dengan NI USB-6009 sebagai *hardware* akuisisi data. Pengujian ini dibagi menjadi dua, yaitu pengujian data masukan (*analog input*) dan pengujian data keluaran (*analog output*).

4.2.1 Pengujian *Analog Input* pada LabVIEW

Pengujian *analog input* bertujuan untuk menguji apakah GUI yang dibangun pada LabVIEW sudah dapat menampilkan data masukan yang dikirimkan kanal *analog input* NI USB-6009 dengan baik. Kanal ini akan mengirimkan nilai tegangan keluaran dari rangkaian penguat sensor suhu LM35 dan sinyal PWM dari rangkaian pengontrol fasa untuk diproses lebih lanjut pada LabVIEW.

Agar terjadi kesamaan antara suhu yang tertampil pada GUI LabVIEW dengan suhu yang terukur pada termometer di *plant*, maka diperlukan adanya kalibrasi. Kalibrasi ini dilakukan dengan cara membuat perhitungan linearitas,

yaitu dengan membandingkan tegangan keluaran penguat sensor LM35 yang terbaca pada LabVIEW dengan suhu air yang terukur pada termometer.

Tabel. 4.5 Data penunjukkan termometer dan tegangan pada LabVIEW

Nilai pada termometer (°C)	Tegangan pada LabVIEW (Volt)
30	1,64
35	1,81
40	2,00
45	2,16
50	2,37
55	2,60
60	2,84
65	3,07
70	3,31
75	3,57
80	3,82

Untuk perhitungan linearitas dari data-data di atas yaitu:

misal:

x = nilai yang tertampil pada LabVIEW

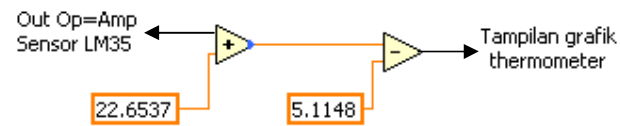
y = nilai yang akan dibandingkan (dari termometer)

maka:

```
polyfit (x,y,1)
```

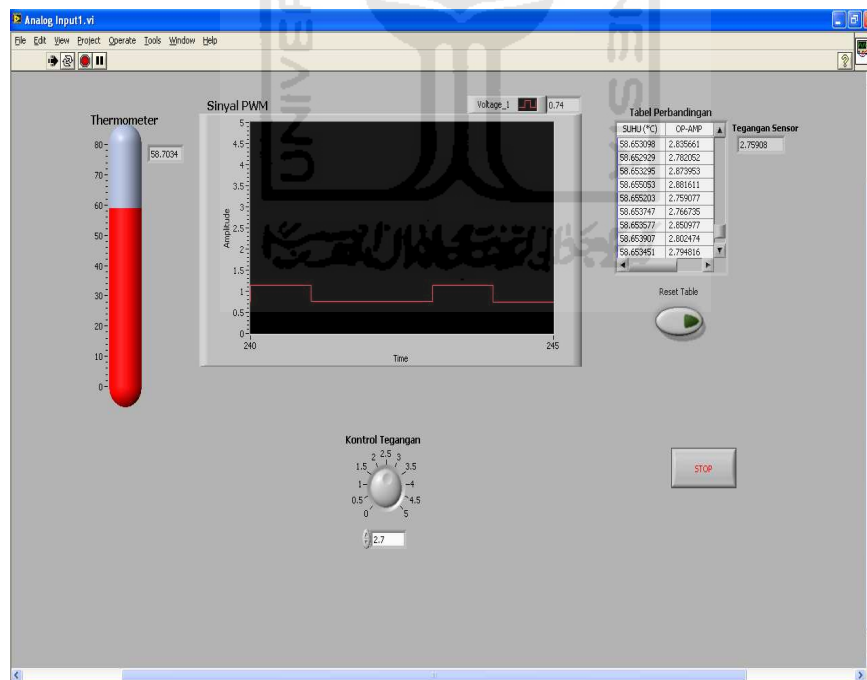
```
ans =
```

$$22.6537 - 5.1148 \text{ (hasil perhitungan linearitas)} \quad (4.4)$$



Gambar 4.6 Blok manipulasi suhu pada LabVIEW

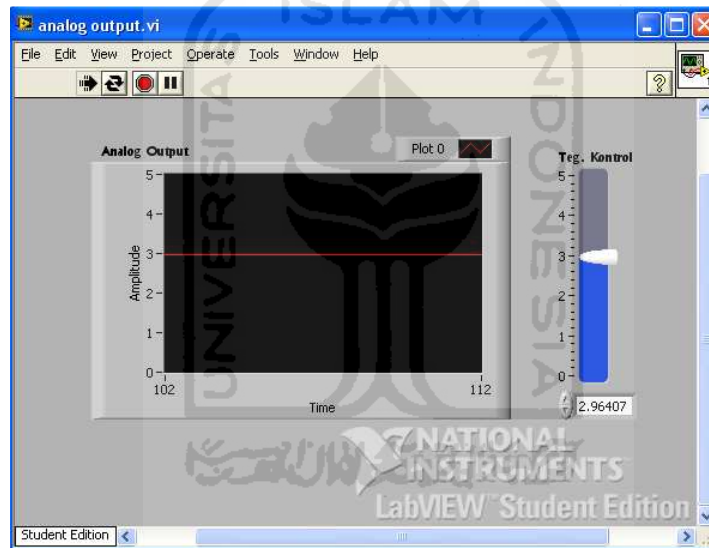
Blok manipulasi di atas dibuat pada LabVIEW untuk *input* tegangan suhu yang dihasilkan LM35. Nilai 22.6537 dan -5.1148 dihasilkan dari perhitungan linearitas. Tegangan suhu dari penguat sensor suhu LM35 yang masuk dikalikan dengan 22.6537 selanjutnya dikurangi dengan 5.1148, sehingga suhu yang tertampil pada LabVIEW akan sama dengan suhu yang terbaca pada termometer.



Gambar 4.7 GUI untuk *analog input*

4.2.2 Pengujian *Analog Output* pada LabVIEW

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan kanal *analog output* akuisisi data NI USB-6009 dapat membangkitkan tegangan sesuai dengan perintah di LabVIEW. Pengujian dilakukan dengan cara LabVIEW mengirimkan tegangan 0 sampai 5 Volt ke kanal *analog output* NI USB-6009, kemudian kanal *analog output* tersebut dihubungkan ke kanal *analog input*-nya. Tujuannya adalah tegangan yang dikeluarkan LabVIEW akan dibaca kembali oleh LabVIEW.



Gambar 4.8 GUI untuk *analog output*

Tegangan keluaran NI USB-6009 dapat diatur secara manual, yaitu dengan menggeser *scroll* (teg. kontrol) ke atas dan bawah maka tegangan keluaran NI USB-6009 akan berubah sesuai dengan perubahan nilai yang terjadi pada *scroll* tersebut (gambar 4.8). Tegangan keluaran ini akan digunakan sebagai tegangan kontrol untuk mengatur tegangan yang diberikan ke pemanas.

4.3 Pengujian Sistem Pengendali Fuzzy Logic Controller (FLC)

Pengujian ini menggabungkan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang sudah dirancang. Agar pengujian yang dilakukan valid dan terstruktur, maka dilakukan pengujian beberapa parameter sebagai berikut:

1. Pengujian sistem pada beberapa nilai variasi fungsi keanggotaan *input error*.
2. Pengujian sistem pada suhu referensi naik dan turun.
3. pengujian sistem dengan pemberian gangguan
4. pengujian sistem dengan metode defuzzifikasi *Mean of Maxima* (MOM)

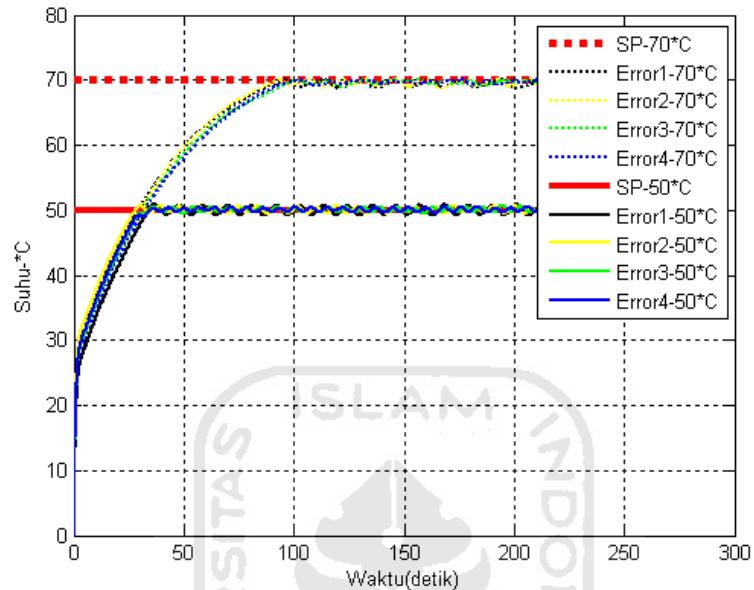
4.3.1 Pengujian pada Variasi Fungsi Keanggotaan *Error*

Pengujian dengan beberapa variasi *range error* ini bertujuan untuk mendapatkan *range error* yang paling sesuai dengan karakteristik sistem. Hal ini dilakukan dengan cara mengubah-ubah *range error* menjadi beberapa variasi data. Variasi *range error* yang digunakan yaitu:

1. *Error1*; *range error* = [-10 10]
2. *Error2*; *range error* = [-20 20]
3. *Error3*; *range error* = [-30 30]
4. *Error4*; *range error* = [-40 40]

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai referensi tertentu dan mendapatkan grafik responnya. Pengujian dilakukan dengan memberikan suhu

referensi sebesar 50 °C dan 70 °C untuk masing-masing kombinasi fungsi keanggotaan *error*. Respon diperlihatkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.9 Respon sistem pada variasi *range* fungsi keanggotaan *error*.

Tabel 4.6 Karakteristik respon sistem pada variasi *range* MF *error* dengan *interval sampling* 10 data perdetik.

Suhu Referensi	Parameter	MF Input Error			
		Error1	Error2	Error3	Error4
50°C	RiseTime (s)	25.3266	19.2162	22.0286	21.4579
	Settling Time (s)	32.0122	25.9752	28.3653	28.5109
	Settling Min (°C)	45.0619	45.0115	45.075	45.023
	Settling Max (°C)	50.9316	50.6864	50.7422	50.5465
	Overshoot (%)	1.8632	1.3728	1.4843	1.0931
	Undershoot (%)	0	0	0	0
	Peak (°C)	50.9316	50.6864	50.7422	50.5465
	Peak Time (s)	36.6406	200.6719	194.8594	205.9688
70°C	Rise Time (s)	60.0375	59.5627	62.7086	64.3334
	Settling Time (s)	85.5107	83.4212	92.2058	89.1350
	Settling Min (°C)	63.0181	63.0268	63.0073	63.0033
	Settling Max (°C)	70.1704	70.1222	70.0746	70.0778
	Overshoot (%)	0.2435	0.1745	0.1066	0.1112
	Undershoot (%)	0	0	0	0
	Peak (°C)	70.1704	70.1222	70.0746	70.0778
	Peak Time (s)	146.9531	207.1563	238.4063	176.25

Secara umum perbandingan waktu naik (*rise time*), waktu penetapan (*settling time*), lonjakan maksimum (*overshoot*) dan waktu puncak (*peak time*) dari pengujian dengan menggunakan empat buah varian MF *error*, mempunyai kedekatan nilai. Sebagai contoh misalnya dapat dilihat pada perbedaan waktu naik pada referensi 50 °C. Pada referensi ini perbedaan waktu naik paling cepat dengan yang paling lambat tidak terdapat perbedaan yang sangat signifikan, hanya berada pada rentang 6.1104 detik saja. Dimana waktu naik paling cepat dicapai pada FLC dengan MF *error2*, yaitu selama 19.2162 detik dan waktu naik paling lambat dihasilkan oleh respon FLC dengan MF *error1* sebesar 25.3266 detik. Hanya saja pada referensi 70 °C, waktu naik pada MF *error2* tercatat paling cepat di antara MF lainnya yaitu selama 59.5627 detik, walaupun perbedaannya juga tidak terlalu signifikan. Pada pengujian dengan referensi suhu 70°C ini, waktu naik paling cepat dicapai oleh FLC dengan MF *error2* yaitu selama 59.5627 detik dan waktu naik paling lambat dihasilkan oleh respon FLC dengan MF *error4* sebesar 64.3334 detik.

Jika ditinjau dari waktu penetapannya, MF *error2* mempunyai waktu penetapan paling cepat yaitu 25.9752 detik pada referensi suhu 50 °C dan waktu penetapan paling lambat dihasilkan oleh respon FLC dengan MF *error1* sebesar 32.0122 detik. Sedangkan waktu penetapan sistem pada MF *error* lainnya relatif hampir sama. Pada referensi 70 °C ini, waktu penetapan paling cepat dicapai oleh MF *error2* selama 83.4212 detik, lebih cepat sekitar 8.7846 detik dibanding waktu penetapan dengan menggunakan FLC MF *error3* selama 92.2058 detik. Pada

referensi suhu 70 °C, waktu penetapan sistem pada MF *error* lainnya juga tidak terlalu menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan.

Pada pengujian dengan referensi suhu 50 °C, *overshoot* paling kecil dicapai oleh MF *error4* yaitu sebesar 1.0931 % pada suhu 50.5465 °C, sedangkan *overshoot* paling besar dicapai oleh MF *error1* sebesar 1.8632 % pada suhu 50.9316 °C. Selanjutnya pada referensi 70 °C, *overshoot* paling kecil juga dicapai oleh MF *error3* yaitu sebesar 0.1066 % pada suhu 70.0746 °C dan yang paling besar 0.2435 % pada suhu 70.1704 °C yang dihasilkan oleh MF *error1*. Dapat dikatakan MF *error4* mempunyai *steady state error* yang paling kecil, walaupun *overshoot* pada referensi suhu 70 °C, MF *error4* mempunyai *steady state error* yang tidak berbeda jauh dengan MF *error3*. Berdasarkan data dan fakta di atas dapat disimpulkan jika dilihat dari nilai *overshoot* yang dicapai oleh keempat varian MF *error* tersebut, maka MF *error4* menunjukkan respon yang paling baik.

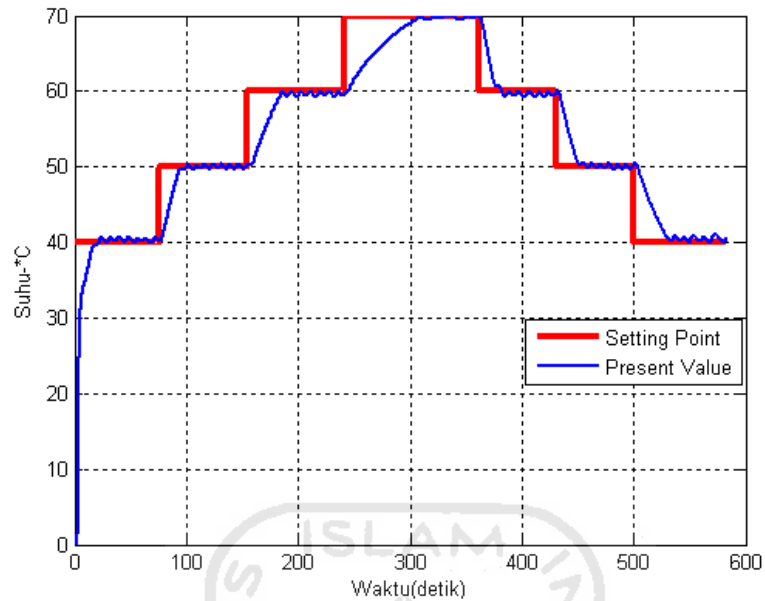
Waktu puncak (*peak time*) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai harga maksimalnya. Berdasarkan data pada tabel 4.5 dapat dilihat pada referensi suhu 50 °C, waktu puncak yang dicapai oleh FLC dengan MF *error4* adalah yang paling lama yaitu sebesar 205.9688 detik. Dengan demikian MF *error4* akan berada pada keadaan tunak yang lebih lama sehingga sistem menjadi lebih stabil karena perubahan nilai *output*-nya kecil.

Berdasarkan analisis pada parameter-parameter waktu naik (*rise time*), waktu penetapan (*settling time*), lonjakan maksimum (*overshoot*) dan waktu puncak (*peak time*) pada keempat buah varian MF *error* yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa FLC dengan MF *error4* mempunyai respon yang

paling baik di antara kandidat MF *error* lainnya. Dengan demikian penulis memutuskan menggunakan MF *error4* sebagai MF *error* yang akan digunakan dalam pengujian selanjutnya.

4.3.2 Pengujian pada Suhu Referensi Naik Dan Turun

Pengujian pada suhu referensi naik ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon sistem pengendali *fuzzy logic controller* (FLC) terhadap perubahan kenaikan suhu referensi dan pada suhu referensi turun ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon sistem pengendali FLC terhadap perubahan penurunan suhu referensi. Hal ini penting untuk mengetahui apakah FLC yang dirancang dapat bekerja baik pada daerah operasi yang lebih luas. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan variasi suhu naik dengan masukan (referensi) sebesar 40°C, 50°C, 60°C, 70°C dan pengujian dilakukan dengan cara memberikan variasi suhu turun dengan masukan (referensi) sebesar 40°C, 50°C, 60°C, 70°C. Perubahan suhu referensi dilakukan ketika suhu *plant* berada pada keadaan tunak pada tiap suhu referensinya. Berikut ditampilkan data grafik hasil pengujiannya.



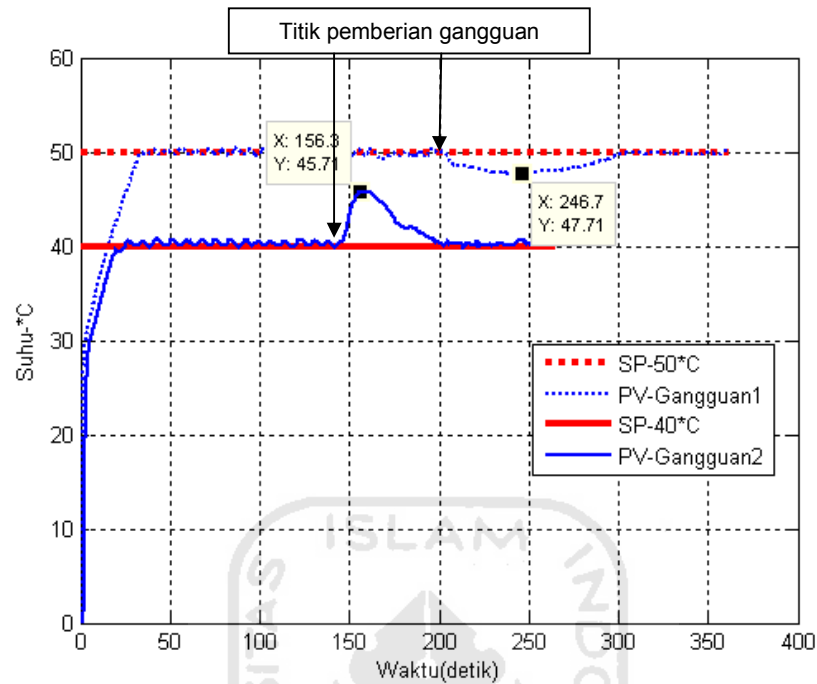
Gambar 4.10 Grafik respon sistem pada suhu referensi naik dan turun

Suhu awal *plant* adalah 28 °C, implementasinya dapat dilihat pada gambar 4.10. Mula-mula suhu referensi sebesar 40 °C pada detik ke-21.25, dan setelah detik 100.171875 suhu *plant* mencapai 50 °C kemudian pada detik ke-193.953125 suhu *plant* mencapai 60 °C, dan pada detik ke-309.859375 suhu *plant* mencapai 70 °C dan keadaan *present value* (PV) terus berosilasi di sekitar nilai referensinya. Perubahan nilai suhu referensi dilakukan tiap \pm 60 detik yaitu saat suhu *plant* berada pada keadaan tunak atau stabil. Berdasarkan grafik pada gambar 4.10 terlihat suhu udara pada *plant* dapat merespon perubahan referensi yang diberikan dengan bergerak mengikuti perubahan suhu referensinya. Pada referensi suhu turun dilakukan pengujian pada detik ke-361.078125 dengan suhu referensi *plant* sebesar 60 °C hingga mencapai suhu referensi suhu turun 60 °C pada detik ke-375.59375, kemudian pada referensi suhu turun dilakukan pengujian pada detik ke-

430.875 dengan suhu referensi *plant* sebesar 50 °C hingga mencapai referensi suhu turun 50 °C pada detik ke-448.984375 dan pada referensi suhu turun dilakukan pengujian pada detik ke-499.8125 dengan suhu referensi *plant* sebesar 40 °C hingga mencapai suhu referensi suhu turun 40 °C pada detik ke-528.390625. Pada pengujian referensi suhu turun di pengaruhi oleh pendingin yang di hasilkan oleh kipas yang dapat mendinginkan suhu udara. Tegangan kipas yang dipakai pada pengujian ini yaitu 11,28 Volt. Dari pengujian ini dapat disimpulkan FLC yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat, pada referensi suhu naik dan turun.

4.3.3 Pengujian dengan Pemberian Gangguan

Untuk mengetahui daya tahan sistem terhadap gangguan, maka dilakukan pengujian dengan memberikan gangguan berupa penambahan pemanasan berupa (*solder*) dan pendingin berupa (*es*) pada sistem yang telah mencapai kestabilan untuk suatu *setting value* (SP). Pada pengujian ini gangguan yang diberikan dengan cara memasukkan solder panas dan es ke dalam *plant* suhu yang telah mencapai suhu tertentu. Tujuan pengujian dengan gangguan ini adalah mengetahui kecepatan respon sistem untuk kembali ke referensi semula setelah diberikan gangguan, waktu yang diperlukan untuk kembali ke referensi semula disebut sebagai waktu pemulihan. Grafik respon pengujian dengan pemberian gangguan diperlihatkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Respon *plant* dengan gangguan

Pada pengujian dengan gangguan es ini mula-mula ditetapkan suhu referensi sebesar 50 °C. Nilai suhu awal adalah 28 °C. Setelah 39.03125 detik suhu udara akan mencapai 50 °C dan beresilasi pada keadaan tersebut. Setelah 203.34375 detik dari suhu awal dan ketika suhu udara telah stabil, es dimasukkan dalam *plant*, selanjutnya diketahui suhu udara dalam *plant* turun sampai 47.703317 °C pada detik ke-250.34375, kemudian berangsur-angsur kembali ke referensi semula dalam waktu 108.2344 detik dan kemudian beresilasi di sekitar suhu referensinya.

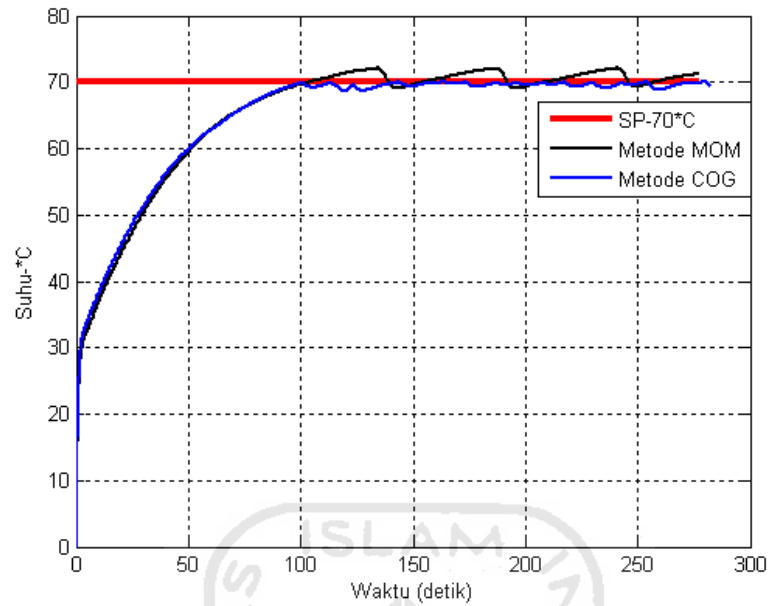
Pada pengujian dengan gangguan solder ini mula-mula ditetapkan suhu referensi sebesar 40 °C. Nilai suhu awal adalah 28 °C. Setelah 24.515625 detik suhu udara akan mencapai 40 °C dan beresilasi pada keadaan tersebut. Setelah

147.328125 detik dari suhu awal dan ketika suhu udara telah stabil, solder dimasukkan dalam *plant*, selanjutnya diketahui suhu udara dalam *plant* naik sampai 45.77423 °C pada detik ke-155.359375, kemudian berangsur-angsur kembali ke referensi semula dalam waktu 38.5781 detik dan kemudian beresilasi di sekitar suhu referensinya.

Dari pengujian dengan gangguan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem pengendali FLC yang dibangun dapat bertahan dan mampu mengeliminir gangguan-gangguan dari luar dengan cukup baik.

4.3.4 Pengujian dengan Metode Defuzzifikasi *Mean of Maxima* (MOM)

Pengujian dengan metode defuzzifikasi MOM bertujuan untuk membandingkan respon sistem terhadap perubahan metode defuzzifikasi yang digunakan. Pengujian menggunakan rancangan FLC yang sama dengan pengujian sebelumnya, hanya metode defuzzifikasinya yang dimodifikasi yang semula COG menjadi MOM. Respon sistem dan parameter-parameter responnya ditampilkan pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Respon sistem dengan metode defuzzifikasi MOM dan COG

Tabel 4.7 Karakteristik respon sistem pada variasi metode defuzzifikasi

Parameter	Defuzzifikasi	
	MOM	COG
Rise Time (s)	60.1432	60.6443
Settling Time (s)	243.6379	89.0536
Settling Min (°C)	63.0207	63.0036
Settling Max (°C)	72.1075	70.0292
Overshoot (%)	3.0107	0.0418
Undershoot (%)	0	0
Peak (°C)	72.1075	70.0292
Peak Time (s)	241.3125	279.8125

Waktu naik (*rise time*), waktu penetapan (*settling time*), lonjakan maksimum (*overshoot*) dan waktu puncak (*peak time*) dari pengujian dengan menggunakan metode defuzzifikasi MOM mempunyai perbedaan yang cukup signifikan jika dibanding dengan menggunakan metode COG. Hal ini dapat dilihat pada grafik

respon sistem di atas (gambar 4.12). Respon sistem dengan metode defuzzifikasi MOM mempunyai waktu naik lebih cepat dibandingkan dengan metode defuzzifikasi COG yaitu 60.1432 detik, lebih cepat sekitar 0.5011 detik dari waktu naik sistem dengan metode defuzzifikasi COG yang sebesar 60.6443 detik.

Ditinjau dari waktu penetapan sistem, metode MOM memiliki waktu penetapan yang lama, yaitu sekitar 243.6379 detik. Hal ini dikarenakan respon sistem yang dicapai mengalami osilasi cukup besar pada kondisi tunaknya. Analisis dari kondisi ini adalah adanya *range* yang terlalu dekat pada metode MOM, sehingga proses pergeseran aturan-aturannya menjadi sangat fluktuatif. Akibatnya *output* FLC mengalami perubahan yang cukup besar sehingga sistem menjadi kurang stabil. Respon sistem terus berfluktuasi pada kisaran suhu 68 °C sampai 72 °C. Hal ini sangat kontras jika dibandingkan dengan respon sistem menggunakan metode defuzzifikasi COG, dimana suhu *plant* dapat mencapai referensi dan mempunyai keadaan tunak yang cukup baik. Berdasarkan analisis ini dapat ditarik kesimpulan metode defuzzifikasi COG mempunyai respon yang lebih baik dibanding dengan metode defuzzifikasi MOM.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian, analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

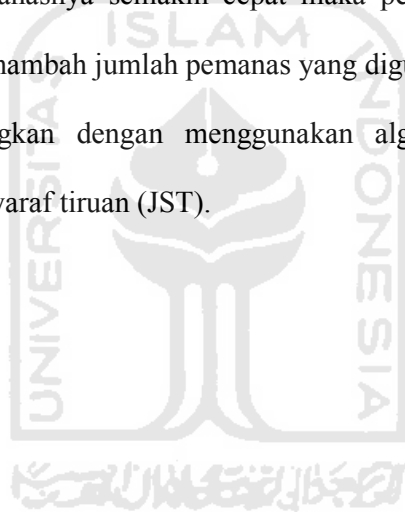
1. Pada pengaturan tegangan AC dengan menggunakan IC TCA 785, semakin besar tegangan (V_{dc}) kontrol yang diberikan maka semakin kecil tegangan (V_{ac}) yang diberikan ke pemanas, demikian juga sebaliknya semakin kecil tegangan (V_{dc}) kontrol yang diberikan maka semakin besar tegangan (V_{ac}) yang diberikan ke pemanas. Dapat dikatakan tegangan kontrol berbanding terbalik dengan tegangan bebannya.
2. Penentuan *range* pada nilai *input error* dan nilai linguistik yang terlalu kecil atau sempit membuat sistem akan mempunyai *rise time* yang cepat, tetapi akan mengakibatkan sistem terlalu sensitif sehingga terus-menerus berosilasi.
3. Pada pengujian dengan suhu referensi 70 °C dan suhu awal ± 28 °C, didapatkan *rise time* sebesar 64.3334 detik, *settling time* 89.135 detik dan *overshoot* sebesar 0.1112 %.
4. Berdasarkan pengujian pada suhu referensi naik dan turun, pengendali FLC yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan mampu beroperasi pada daerah yang cukup luas, suhu naik (40 °C – 70 °C) dan suhu turun (70 °C – 40 °C).

5. Dari hasil pengujian tampak pengendali logika *fuzzy* yang dirancang mampu mengeliminir gangguan dari luar.
6. Metode defuzzifikasi *Center of Area* (COA) menghasilkan respon kendali yang lebih baik dibandingkan dengan metode *Mean of Maxima* (MOM).

5.2 Saran

Berikut saran-saran yang dapat penulis rekomendasikan:

1. Agar kenaikan panasnya semakin cepat maka perlu memperbesar daya pemanas atau menambah jumlah pemanas yang digunakan.
2. Dapat dikembangkan dengan menggunakan algoritma-algoritma lain, seperti jaringan syaraf tiruan (JST).



DAFTAR PUSTAKA

- Ana Ratna Wati, D., 2011. Sistem Kendali Cerdas : *Fuzzy Logic Controller (FLC), Jaringan Syaraf Tiruan (JST), Algoritma Genetika (AG), dan Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Isnanto, 2011. *Aplikasi Logika Fuzzy Pada Pengendali Suhu Water Heater Berbasis LABVIEW*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- Farchan, Adi, Muhammad, 2010. *Akuisisi Data Dan Identifikasi Sistem Suhu Pemanas Udara Air Heater*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- Kurniawan, Dedy, 2010. *Pengendali Suhu Pemanas Udara (Air Heater) Berbasis Scada Menggunakan Pengendali PID*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- Wibisono, Raditya D.G, 2010. *Perancangan Pengendali Fuzzy Untuk Optimasi Panel Surya*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- National Instrumens, 2006. NI USB-6009 manual.
http://public.beuthhochschule.de/~suchanek/EMSL/usb_6009.pdf
- National Instrumens, 2009. LabVIEW: PID and fuzzy toolkit user manual.
<http://www.ni.com>
- _____, TCA785, Siemens Semiconductor Group. Available at http://www.datasheetcatalog.com/datasheet_pdf/T/C/A/TCA%20785.shtml

