

**APLIKASI LOGIKA FUZZY PADA PENGENDALIAN  
SUHU *WATER HEATER* BERBASIS LABVIEW**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro



**Oleh:**

**Nama : Isnanto**

**No. Mahasiswa : 07524033**

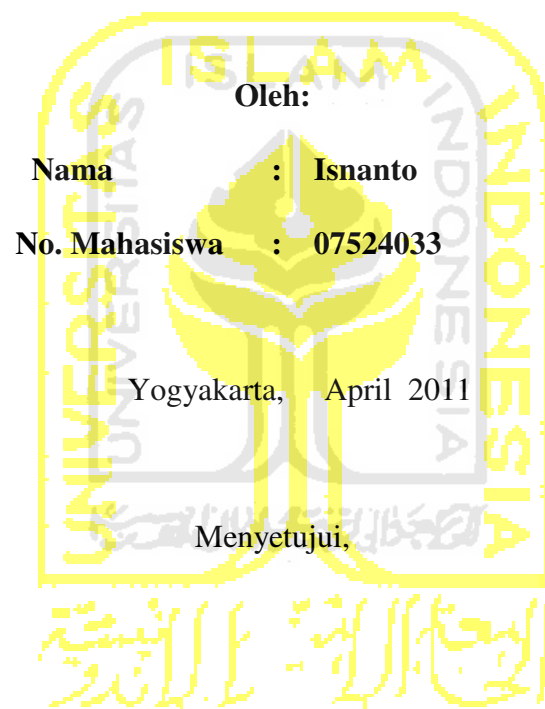
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2011**

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**APLIKASI LOGIKA FUZZY PADA PENGENDALIAN  
SUHU WATER HEATER BERBASIS LABVIEW**

**TUGAS AKHIR**



Pembimbing I

Pembimbing II

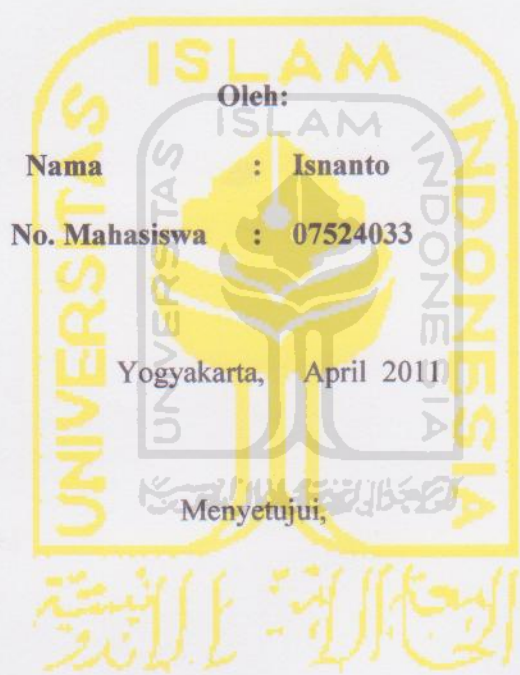
Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng.

Tito Yuwono, ST, M.Sc.

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**APLIKASI LOGIKA FUZZY PADA PENGENDALIAN  
SUHU WATER HEATER BERBASIS LABVIEW**

**TUGAS AKHIR**



Pembimbing I

Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng.

Pembimbing II

Tito Yuwono, ST, M.Sc.

**LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama : Isnanto

No. Mahasiswa : 07524033

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, April 2011

Isnanto

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**  
**APLIKASI LOGIKA FUZZY PADA PENGENDALIAN**  
**SUHU WATER HEATER BERBASIS LABVIEW**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

Nama : Isnanto

No. Mahasiswa : 07524033

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro**

**Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, 27 April 2011

Tim Penguji,

Dwi Ana Ratna Wati, ST., M.Eng. \_\_\_\_\_

Ketua

Wahyudi Budi Pramono, ST., M.Eng. \_\_\_\_\_

Anggota I

Ir. Hj. Budi Astuti, MT. \_\_\_\_\_

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Universitas Islam Indonesia

Tito Yuwono, ST., M.Sc.

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**  
**APLIKASI LOGIKA FUZZY PADA PENGENDALIAN**  
**SUHU WATER HEATER BERBASIS LABVIEW**

**TUGAS AKHIR**

Oleh:

Nama : Isnanto

No. Mahasiswa : 07524033

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat**  
**untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro**  
**Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, 27 April 2011

Tim Penguji,

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

Ketua

Wahyudi Budi Pramono, ST., M.Eng.

Anggota I

Ir. Hj. Budi Astuti, MT.

Anggota II



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Universitas Islam Indonesia



Tito Yuwono, ST., M.Sc.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

**Karya Ini Aku Persembahkan**

**Atas Sebuah Pertanyaan:**

**"Kapan Lulus Mas...???"**



**HALAMAN MOTTO**

**Hidup Ini adalah Ujian yang Harus Dihadapi,**

**Rahasia yang Harus Digali,**

**Perjuangan yang Harus Dimenangkan dan**

**Mimpi yang Harus Diwujudkan.**





## 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 “Aplikasi Logika Fuzzy pada Pengendalian Suhu *Water Heater* Berbasis LabVIEW”. Sungguh banyak kisah dan pengalaman yang sangat mengesankan selama mengerjakan tugas akhir ini. Adapun dalam tugas akhir ini membahas tentang perancangan Pengendali Logika Fuzzy (FLC), sehingga menghasilkan sebuah alat yang bisa mengendalikan suhu air 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, sekaligus Dosen Pembimbing II Tugas Akhir.

2. Ibu Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng. selaku Pembimbing I Tugas Akhir yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan tentang pengendali logika fuzzy 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, Ari, Erik, Hifni, Insan, Irdan Rudi, Sapta, dan teman-teman elektro '07 yang telah memberikan dukungan kepadaku.
6. Bapake dan Mamake, Mas-masku, Mbekayuku dan seluruh *Munjani Community* yang senantiasa memberikan dukungan baik moril maupun materiil, semangat dan doa yang diberikan kepada penulis selama ini.
7. *Special thank's to*; Mas Goen dan Bulik Tar atas dukungan dana dan pinjaman komputernya.
8. Wahyutri Hastuti, yang selalu memberikan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
9. 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, April 2011

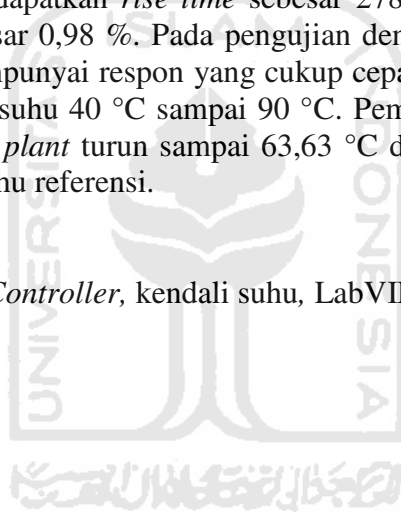
Penulis



## ABSTRAKSI

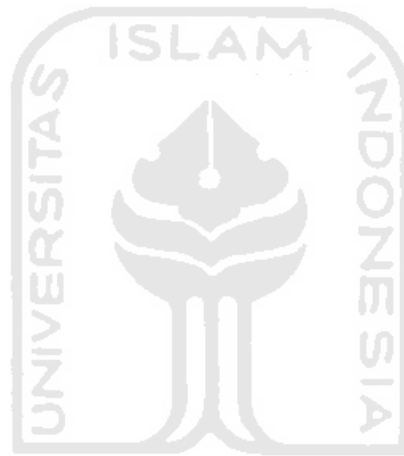
Penelitian ini memfokuskan pada *control* dan *monitoring* suhu air dengan menggunakan logika fuzzy. *Control* dan *monitoring* sistem dilakukan secara *real time* pada sebuah PC dengan menggunakan program LabVIEW sebagai *Graphical User Interface* (GUI)-nya, sedangkan proses akuisisi datanya menggunakan 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* ( $\Delta e$ ), serta 1 buah *crisp output* yaitu *change of voltage* ( $\Delta u$ ), dengan metode inferensi Max-Min dan metode defuzzifikasi *Center of Area* (COA). Jumlah label yang digunakan 5 buah dengan tipe segitiga dan *trapezoid*, dengan 25 buah aturan. Pada pengujian dengan suhu referensi 70 °C dan suhu awal 29 °C, didapatkan *rise time* sebesar 278 detik, *settling time* 315 detik dan *overshoot* sebesar 0,98 %. Pada pengujian dengan suhu referensi naik, FLC yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan mampu beroperasi secara baik pada rentang suhu 40 °C sampai 90 °C. Pemberian gangguan berupa air dingin membuat suhu *plant* turun sampai 63,63 °C dan dibutuhkan waktu 76 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
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
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
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Logika Fuzzy	8
2.2.1 Himpunan Fuzzy	8



2.2.2	Operasi Himpunan Fuzzy	9
2.2.3	Pengendali Logika Fuzzy	10
2.2.3.1	Fuzzifikasi	11
2.2.3.2	Basis Aturan ( <i>Rule Base</i> )	12
2.2.3.3	Inferensi	13
2.2.3.4	Defuzzifikasi	15
2.3	NI USB-6009	18
2.3.1	Konstruksi NI USB-6009	20
2.3.2	<i>Input</i> Analog	20
2.3.3	<i>Output</i> Analog	22
2.4	LabVIEW	23
2.5	Sensor Suhu LM35	25
2.6	IC TCA 785	26
2.7	Kontrol Fasa Tegangan AC $1\Phi$	29
2.8	TRIAC	32
2.9	<i>Optocoupler</i>	33
2.10	Penguat Operasional (Op-Amp)	34

### BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1	Perancangan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> )	39
3.1.1	Rangkaian Penguat Sensor Suhu LM35	39
3.1.2	Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol	40
3.1.3	Rangkaian Pengontrol Sudut Fasa Tegangan AC	41
3.1.4	Rangkaian Saklar Elektronik	43

3.1.5	Rangkaian <i>Stirrer</i> (Pengaduk)	43
3.2	Perancangan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> )	45
3.2.1	Pengendali Logika Fuzzy (FLC)	45
3.2.1.1	Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)	45
3.2.1.2	Pembuatan <i>Rules</i>	49
3.2.2	Perancangan GUI	51
BAB IV PENGUJIAN, ANALISIS DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengujian Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> )	57
4.1.1	Pengujian Rangkaian Penguat Sensor LM 35	57
4.1.2	Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol	58
4.1.3	Pengujian Rangkaian Driver AC	60
4.1.4	Pengujian Rangkaian <i>Stirrer</i>	64
4.2	Pengujian Perangkat Lunak ( <i>Software</i> )	64
4.2.1	Pengujian <i>Analog Input</i> pada LabVIEW	64
4.2.2	Pengujian <i>Analog Output</i> pada LabVIEW	67
4.3	Pengujian Sistem Pengendali Logika Fuzzy	68
4.3.1	Pengujian Sistem Kalang Terbuka ( <i>Open Loop</i> )	68
4.3.2	Pengujian pada Variasi Fungsi Keanggotaan Error	70
4.3.3	Pengujian pada Referensi Naik	74
4.3.4	Pengujian dengan Pemberian Gangguan	76
4.3.5	Pengujian dengan Metode Defuzzifikasi MOM	78
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	81

5.2 Saran

82

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik fungsi keanggotaan himpunan <i>crisp</i> dan fuzzy	8
Gambar 2.2 Struktur dasar pengendali logika fuzzy	11
Gambar 2.3 Tipe fungsi keanggotaan fuzzy	12
Gambar 2.4 Metode Max-Min	14
Gambar 2.5 Metode Max-Product	15
Gambar 2.6 Metode defuzzifikasi	17
Gambar 2.7 NI USB-6009	18
Gambar 2.8 Blok diagram NI USB-6009	20
Gambar 2.9 Skema mode diferensial	21
Gambar 2.10 Skema mode RSE	22
Gambar 2.11 <i>Connecting load AO</i>	23
Gambar 2.12 <i>Analog input</i> pada panel	24
Gambar 2.13 <i>Analog output</i> pada panel	24
Gambar 2.14 Aplikasi dasar LM35 sebagai sensor suhu	25
Gambar 2.15 Bentuk fisik IC TCA 785	26
Gambar 2.16 Konfigurasi pin IC TCA 785	26
Gambar 2.17 Diagram pulsa IC TCA 785	29
Gambar 2.18 Rangkaian pengontrol gelombang penuh satu fasa	30
Gambar 2.19 Bentuk gelombang pengontrol gelombang penuh sata fasa	31
Gambar 2.20 (a) Rangkaian ekivalen TRIAC	32
(b) Simbol TRIAC	32

Gambar 2.21	Karakteristik TRIAC	33
Gambar 2.22	Skema <i>optocoupler</i>	34
Gambar 2.23	Diagram skematis Op-Amp	35
Gambar 2.24	Penguat <i>non-inverting</i>	36
Gambar 2.25	Hubungan sinyal <i>input-output</i> penguat <i>non-inverting</i>	36
Gambar 3.1	Blok diagram sistem kendali suhu <i>water heater</i>	37
Gambar 3.2	Blok diagram sistem pengendali logika fuzzy	38
Gambar 3.3	Rangkaian penguat sensor suhu LM35	39
Gambar 3.4	Rangkaian penguat tegangan kontrol	40
Gambar 3.5	Rangkaian pengontrol fasa	41
Gambar 3.6	Rangkaian saklar elektronik	43
Gambar 3.7	Rangkaian <i>stirrer</i>	44
Gambar 3.8	Himpunan fuzzy <i>input1 error</i>	47
Gambar 3.9	Himpunan fuzzy <i>input2 change of error</i>	48
Gambar 3.10	Himpunan fuzzy <i>output change of voltage</i>	49
Gambar 3.11	Sistem <i>step</i> respon	49
Gambar 3.12	GUI pengendali suhu <i>water heater</i>	52
Gambar 3.13	Blok diagram pengendali suhu pada LabVIEW	53
Gambar 4.1	Grafik hubungan tegangan keluaran LM35 dengan Op-Amp	58
Gambar 4.2	Grafik hubungan tegangan kanal AO NI USB-6009 dengan Op-Amp	60
Gambar 4.3	Prosedur pengujian driver AC	61
Gambar 4.4	Grafik hubungan tegangan kontrol dengan tegangan beban	63

Gambar 4.5 Blok manipulasi suhu pada LabVIEW	66
Gambar 4.6 GUI untuk <i>analog input</i>	66
Gambar 4.7 GUI untuk <i>analog input</i>	67
Gambar 4.8 Grafik respon sistem dengan pengujian kalang terbuka	69
Gambar 4.9 Respon sistem pada variasi <i>range</i> fungsi keanggotaan <i>error</i>	71
Gambar 4.10 Grafik respon sistem pada suhu referensi naik	75
Gambar 4.11 Respon <i>plant</i> dengan gangguan	76
Gambar 4.12 Respon sistem dengan metode defuzzifikasi MOM	79



**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Fungsi setiap pin terminal analog	21
Tabel 2.2 Deskripsi fungsi pin-pin IC TCA 785	27
Tabel 3.1 Sebagian <i>rule</i> dan penjelasannya	50
Tabel 3.2 <i>Rules</i> untuk <i>output</i>	51
Tabel 4.1 Pengujian rangkaian penguat sensor LM35	57
Tabel 4.2 Pengujian rangkaian penguat tegangan kontrol	59
Tabel 4.3 Pengujian blok driver AC	62
Tabel. 4.4 Data penunjukkan termometer dan tegangan pada LabVIEW	65
Tabel 4.5 Data pengujian sistem dengan kalang terbuka	69
Tabel 4.6 Karakteristik respon sistem pada variasi <i>range MF error</i>	71
Tabel 4.7 Data pengujian sistem dengan gangguan	77
Tabel 4.8 Karakteristik respon sistem pada variasi metode defuzzifikasi	79

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan ilmu dan teknologi dewasa ini, sistem kendali memegang peranan yang sangat vital. Peranan sistem kendali yang paling menonjol adalah dalam teknologi untuk menunjang aktivitas kesejahteraan manusia. Contoh konkret dapat kita temui pada pengendalian pesawat ruang angkasa, peluru kendali, sistem pengemudian pesawat, satelit dan sebagainya. Sementara dalam dunia industri diperlukan untuk pengendalian mesin-mesin produksi bidang manufaktur dan pengendalian proses seperti tekanan, temperatur/suhu, kelembaban, aliran dan 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 air. Karakteristik dari pengendalian proses yang berupa suhu air adalah perubahan proses yang lambat atau sangat lambat. Hal ini dikarenakan dalam proses pengendalian suhu air melibatkan perpindahan panas secara konduksi dan konveksi, yaitu dari materi padat (pemanas) ke materi cair (air). 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. (Ana Ratna Wati, 2011:79).

## 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 logika fuzzy?
2. Bagaimana merancang pengendali logika fuzzy 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 air bervolume 600 mL menggunakan metode FLC dengan batas suhu 40 °C sampai 90 °C (suhu naik).
2. FLC yang digunakan adalah tipe Mamdani, dengan komposisi aturan menggunakan operator AND dan metode defuzzifikasi *Center of Area* (COA).

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 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* semimum mungkin dengan menggunakan pengendali logika fuzzy.

#### **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.



## **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.

## **BAB III PERANCANGAN SISTEM**

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

## **BAB IV PENGUJIAN, ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

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

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

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

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya berjudul “*Perancangan Pengendali PID Digital pada Heater*” (Andika: 2010). Pada penelitian ini kendali PID dibentuk dengan bantuan program LabVIEW yang terhubung dengan NI USB-6009 yang digunakan untuk mengendalikan tegangan yang disuplai ke *heater*. Selanjutnya suhu air diukur dengan sensor suhu LM35 sebagai masukan NI USB-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 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.

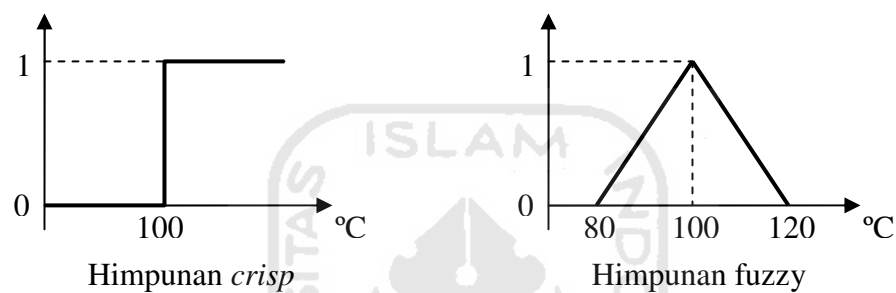
Contoh lain dari penelitian yang pernah dilakukan (Muharam: 2008), tentang pengendalian suhu air menggunakan mikrokontroler ATmega8 dengan kendali logika fuzzy berbasis PC (*Personal Computer*). Pada penelitian ini kendali FLC menggunakan mikrokontroler ATmega8 untuk mengendalikan tegangan yang disuplai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

Logika fuzzy pertama kali dikenalkan kepada publik oleh Lotfi Zadeh, seorang profesor di University of California di Berkeley. Logika fuzzy 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*)  $\mu_A$  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  $U$  kontinu, 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:

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

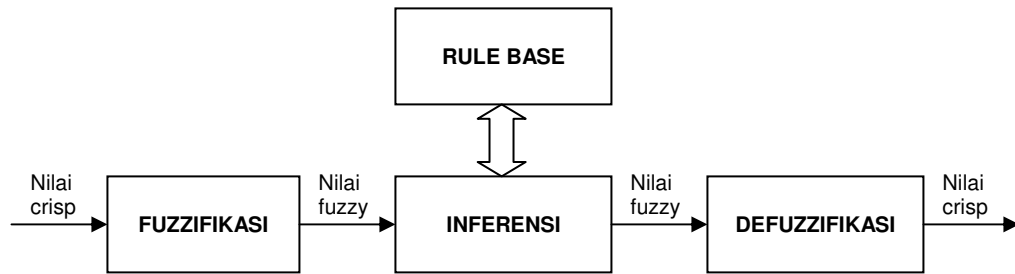
#### 5. Himpunan bagian (*subset*)

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 Logika Fuzzy

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 logika fuzzy

### 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 kenggotaannya 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*

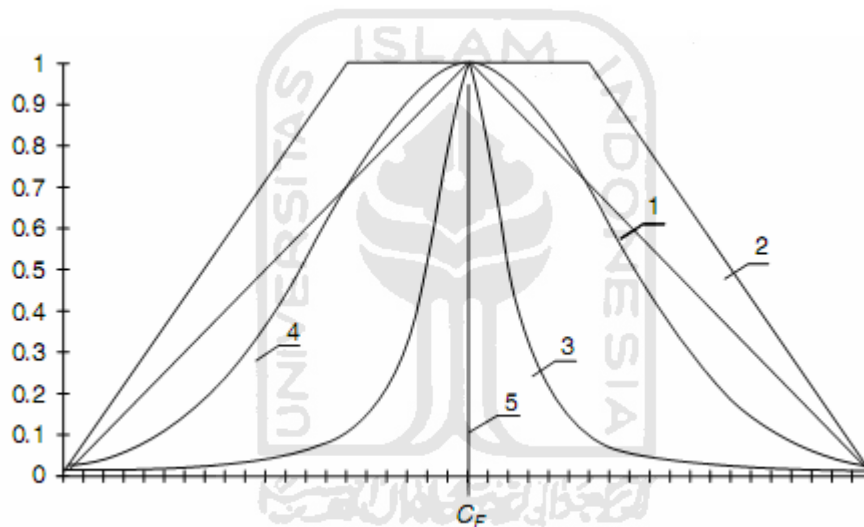
$$\mu_F(x) = e^{-(x-c_F)^2/w} \quad (2.10)$$

#### 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. 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  $\alpha_i \wedge \mu_{ci}(z)$ , sehingga keanggotaan C adalah titik yang diberikan oleh:

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

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

dimana:

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

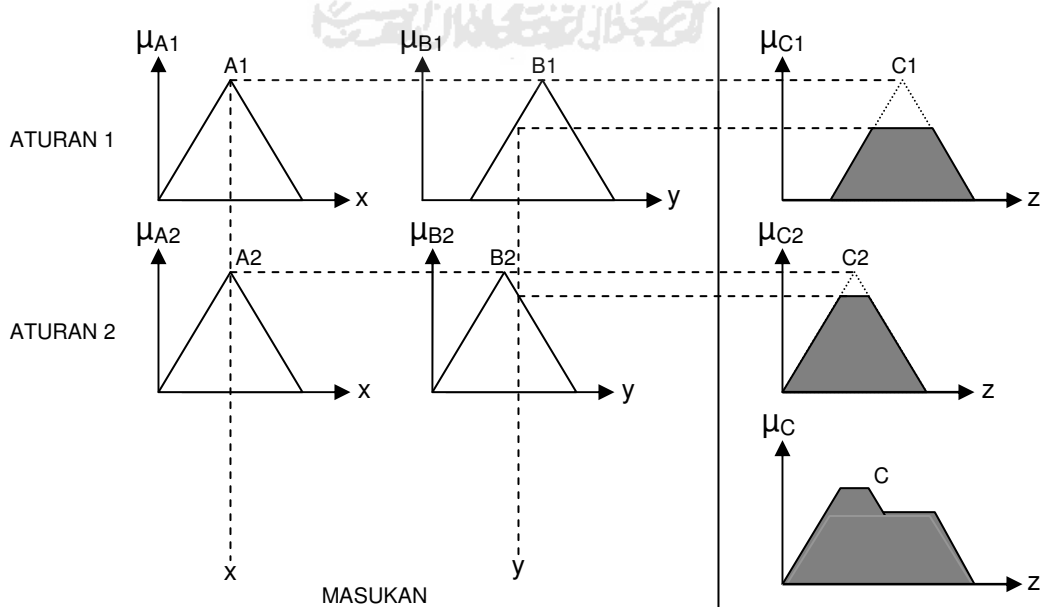
$$\alpha_2 = \mu_{A2}(x) \wedge \mu_{B2}(x) = \min \{ \mu_{A2}(x), \mu_{B2}(x) \}$$

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

.....  
 .....

$$\alpha_i = \mu_{Ai}(x) \wedge \mu_{Bi}(x) = \min \{ \mu_{Ai}(x), \mu_{Bi}(x) \} \quad (2.14)$$

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



Gambar 2.4 Metode Max-Min

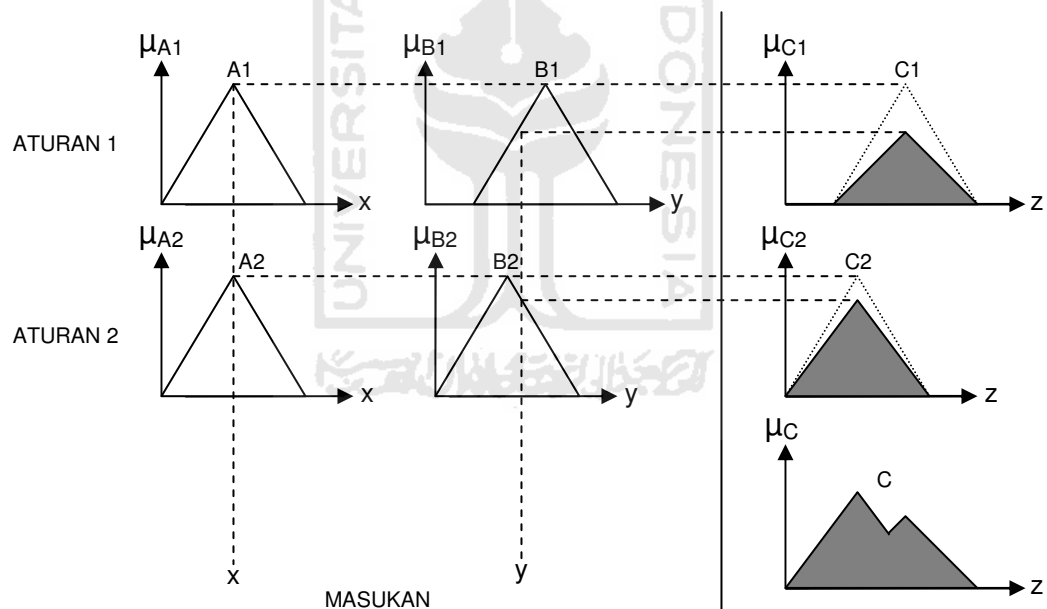
## 2. Metode Max-Product (Max-Dot)

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

$$\mu_c(z) = (\alpha_1 \cdot \mu_{c1}(z)) \vee ((\alpha_2 \cdot \mu_{c2}(z)) \vee \dots \vee (\alpha_i \cdot \mu_{ci}(z))) \quad (2.15)$$

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

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 perubahan 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  $\mu_c(z_j)$

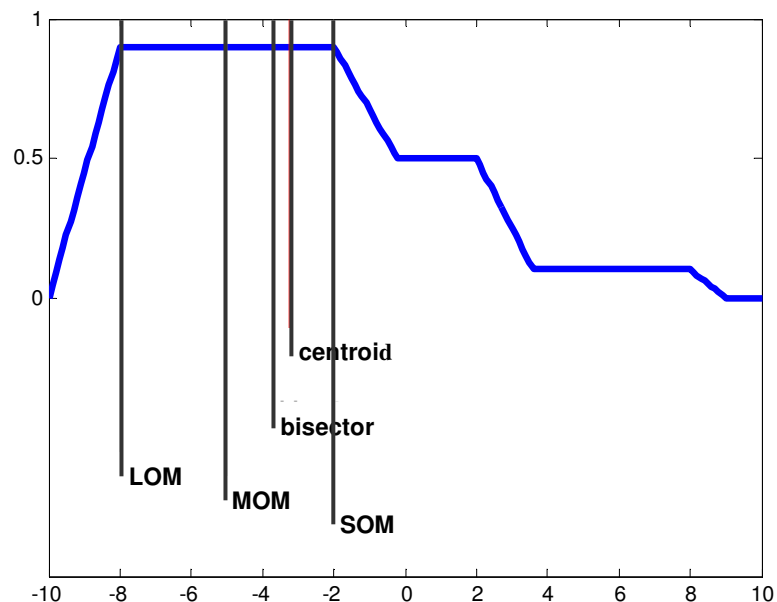
$m$  = banyaknya nilai *support*

#### 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*)

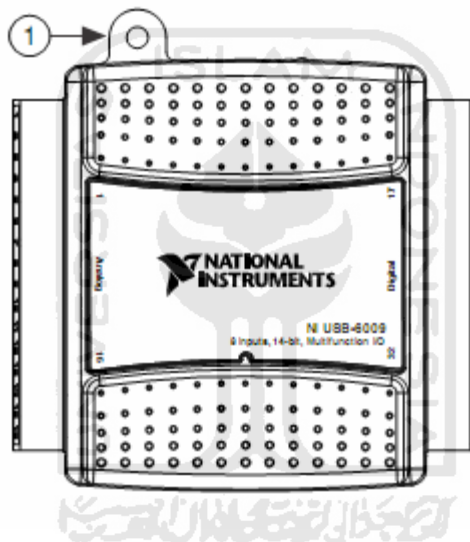
Pada metode ini, nilai tegas keluarannya diperoleh berdasarkan tingkat keanggotaan terkecil ( $\mu_c(z)$  minimum).



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.

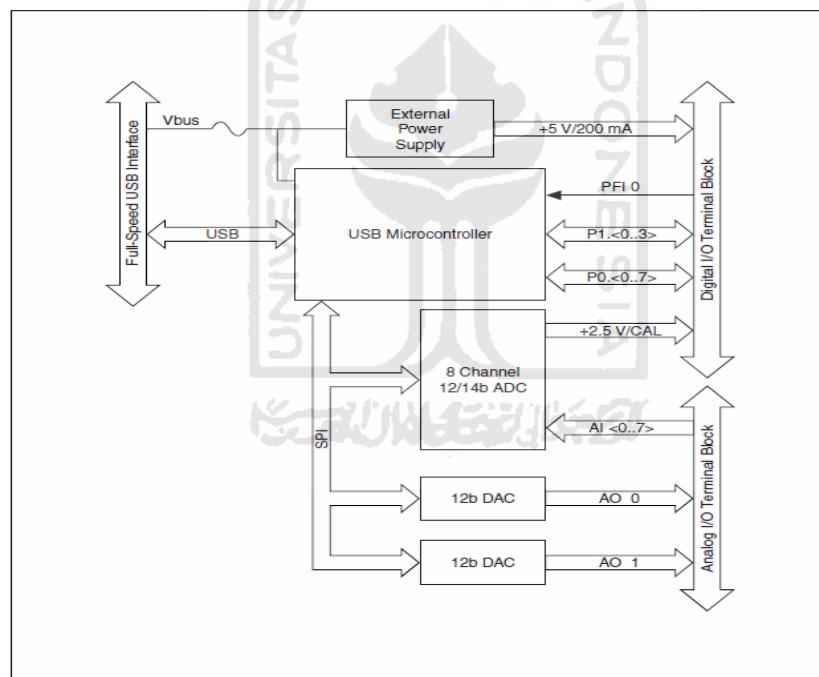
Sistem akuisisi data di sini adalah suatu proses mengumpulkan data dan mengukur sinyal elektrik dari sensor, transduser, *test probe* dan memasukkannya ke komputer untuk kemudian diproses. Data akuisisi mencakup dua tahap yaitu:

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*.



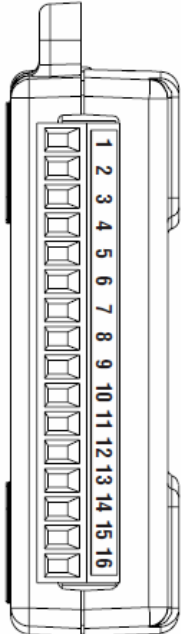
Gambar 2.8 Blok Diagram NI USB-6009

### 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.



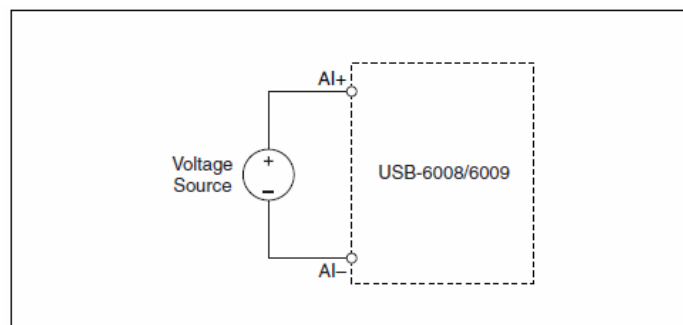
Tabel 2.1 Fungsi setiap pin terminal *analog*

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-.

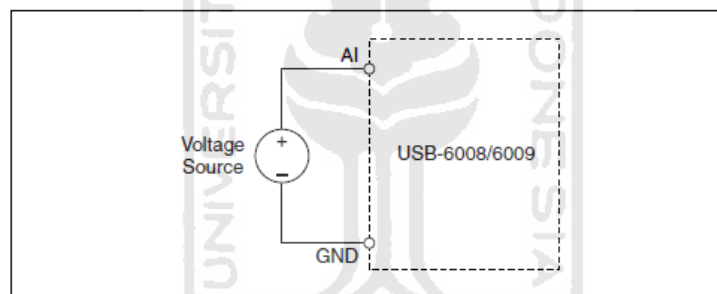


Gambar 2.9 Skema mode differential

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

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

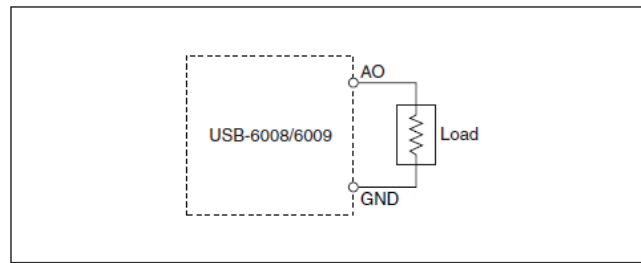
Untuk menggunakan fungsi ini, maka ujung sinyal tegangan positif dihubungkan ke salah satu terminal AI dan ujung yang lain dihubungkan ke GND.



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.

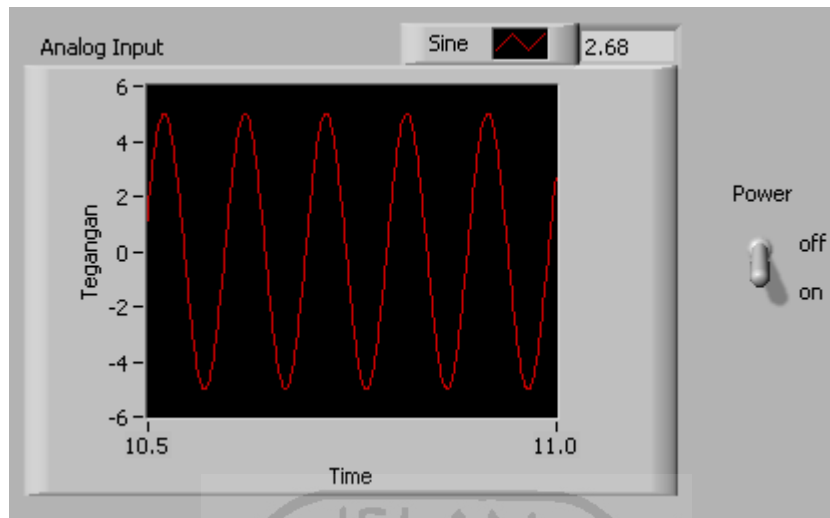


Gambar 2.11 *Connecting load AO*

## 2.4 LabVIEW

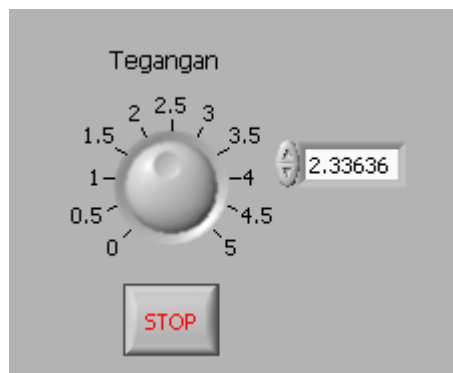
Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*), yang merupakan instrumentasi virtual yang diproduksi oleh National Instruments, berupa sebuah sistem perangkat lunak yang dikembangkan dengan tujuan utama adalah untuk data 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

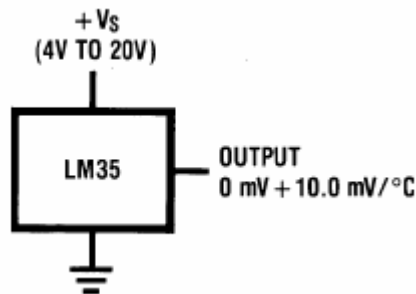
Analog output ini digunakan untuk memberikan nilai keluaran pada NI USB-6009. Besarnya nilai tegangan keluaran bisa diatur atau ditentukan pada panel

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  $\mu$ A.



Gambar 2.14 Aplikasi dasar LM35 sebagai sensor suhu

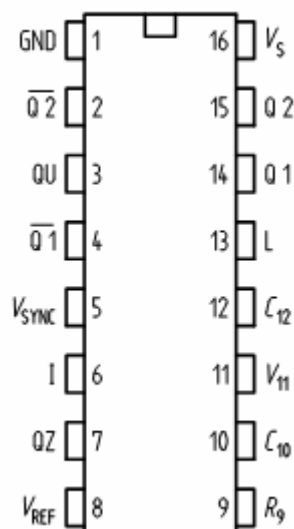
## 2.6 IC TCA 785

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	$\overline{Q U}$	Output U
4	$\overline{Q2}$	Output 1 inverted
5	$V_{SYNC}$	Synchronous voltage
6	I	Inhibit
7	$\overline{Q Z}$	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	$\overline{Q 1}$	Output 1
15	$\overline{Q 2}$	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  $\mu$ F dan  $R_9$  dapat diperoleh dari resistor dengan resistansi 3 k $\Omega$  sampai 100 k $\Omega$ . 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:

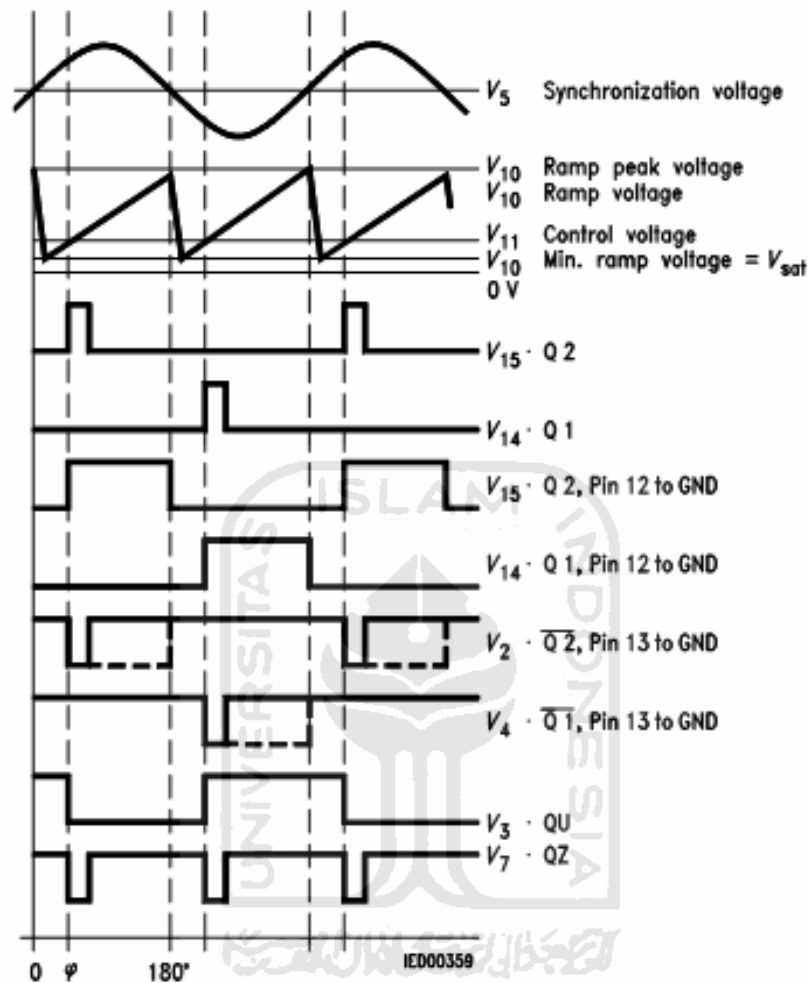
$\alpha$  = Sudut pemicuan ( $^\circ$ )

$V_{CONTROL}$  = 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  $\alpha$  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.



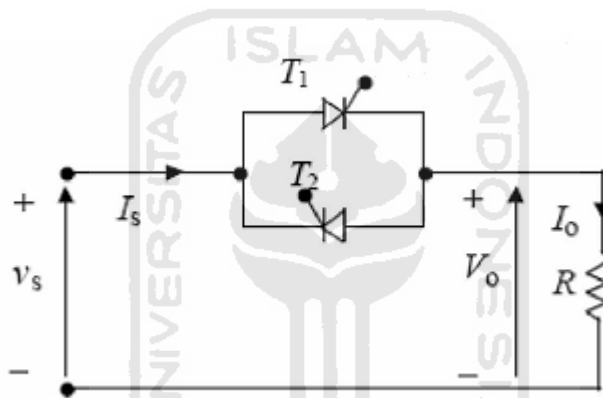


Gambar 2.17 Diagram pulsa IC TCA 785

## 2.7 Kontrol Fasa Tegangan AC 1Φ

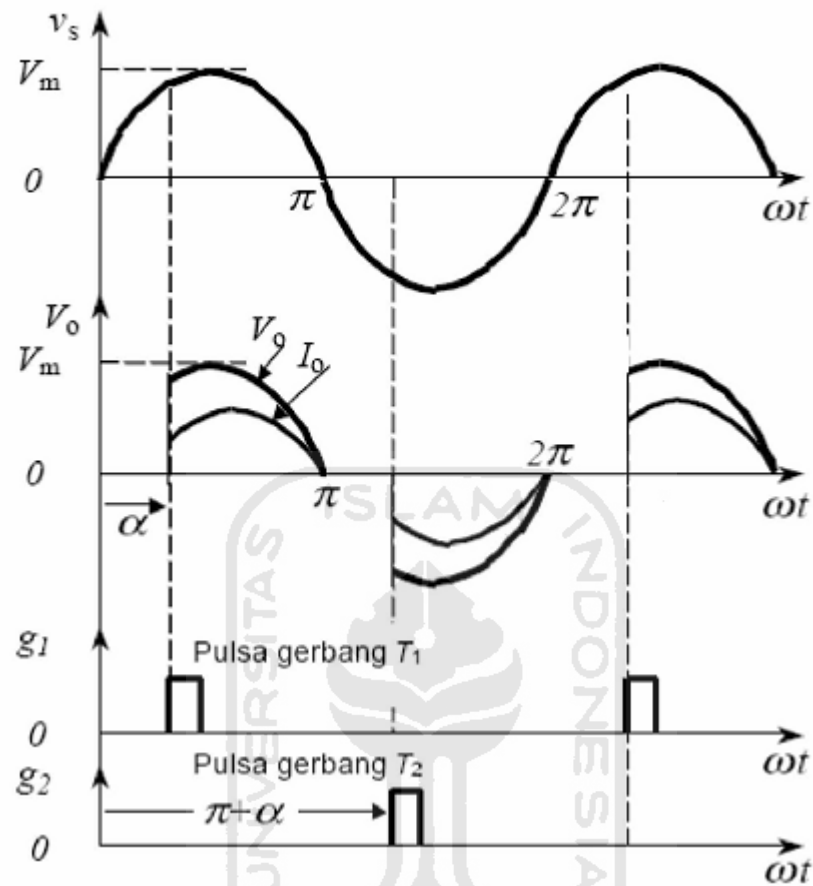
Pengaturan terhadap tegangan AC dapat dilakukan dengan pemotongan gelombang sinusoida. Pemotongan terhadap gelombang sinus menyebabkan nilai efektif arus berkurang sehingga daya yang disupply ke beban juga berkurang. Pemotongan gelombang sinus dapat dilakukan menggunakan *thyristor*. Kontrol tegangan 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  $180^\circ$ .



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:

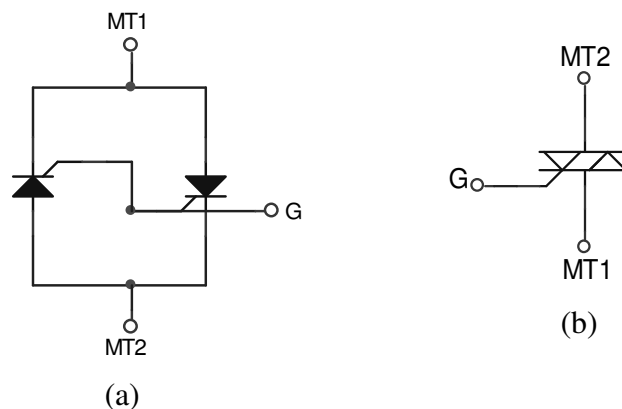
$$\begin{aligned}
 V_o &= \left[ \frac{2}{2\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2 V_s^2 \sin^2 \omega t \, d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \left[ \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} V_s^2 (1 - \cos 2\omega t) \, d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= V_s \left[ \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} (1 - \cos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

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

Dengan variasi sudut  $\alpha$  dari 0 sampai  $\alpha$ .  $V_o$  dapat divariasikan dari  $V_s$  sampai 0.

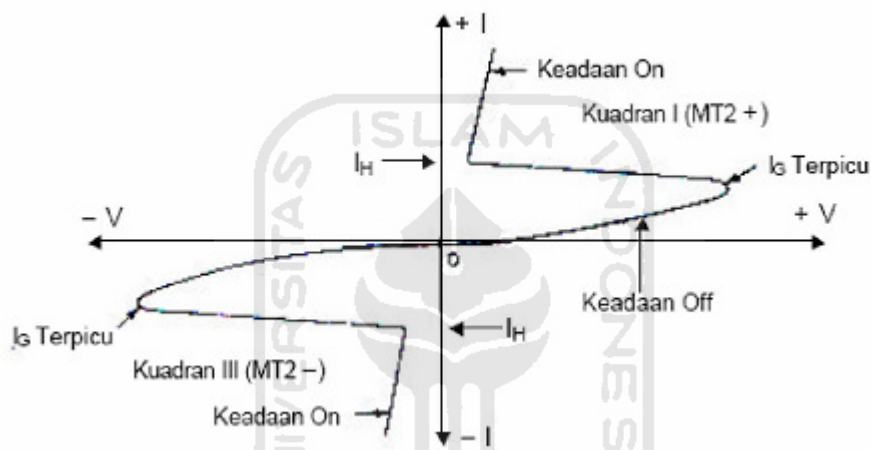
## 2.8 TRIAC

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

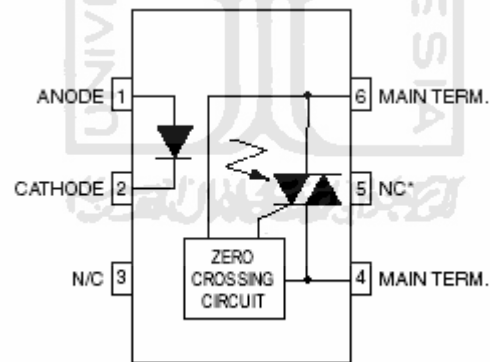
Karakteristik V-I dari TRIAC diberikan Gambar 2.21. Arus  $I_H$ , disebut *holding current* adalah arus minimum yang dibutuhkan untuk mempertahankan TRIAC tetap *on*. TRIAC merupakan komponen yang simetris dan mampu memberikan performansi yang sama pada daerah kerja kuadran III dari grafik dengan kerja 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*

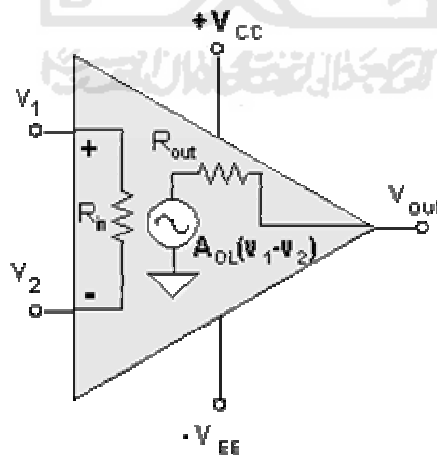
## 2.10 Penguat Operasional (Op-Amp)

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.

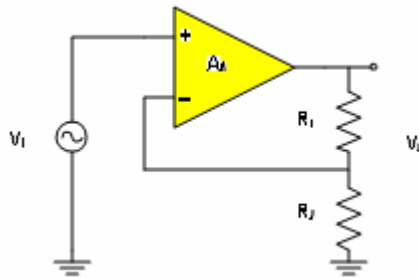
Simbol Op-Amp standar digambarkan dengan sebuah segitiga, terminal-terminal masukan ada pada bagian atas segitiga. Masukan membalik (*inverting*) dinyatakan dengan tanda *minus* (-), tegangan DC atau AC yang diberikan pada masukan ini akan digeser fasanya  $180^\circ$  pada keluarannya. Sedangkan masukan 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*.



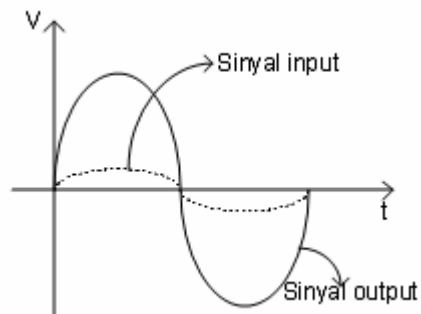
Gambar 2.24 Penguat *non-inverting*

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.



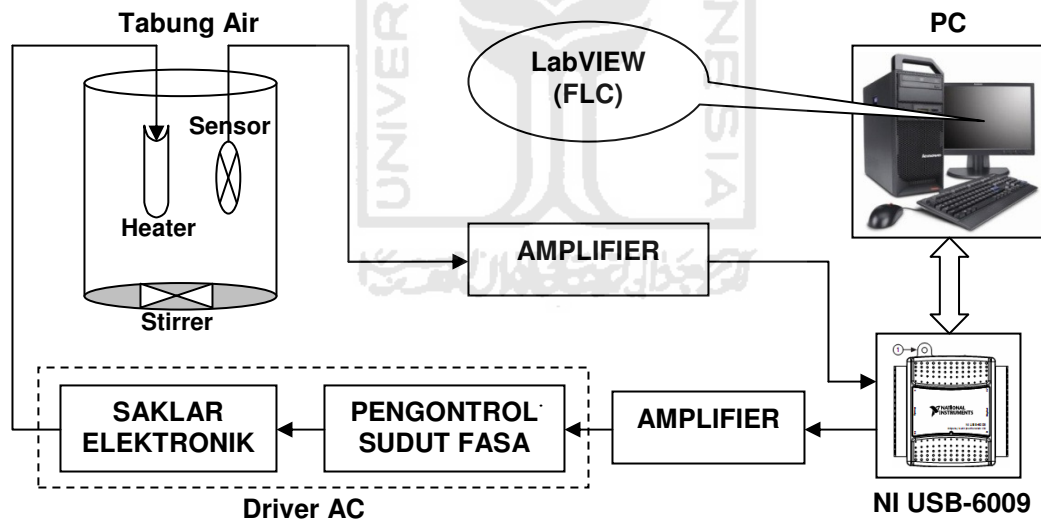
Gambar 2.25 Hubungan sinyal *input-output* penguat *non-inverting*



### BAB III

## PERANCANGAN SISTEM

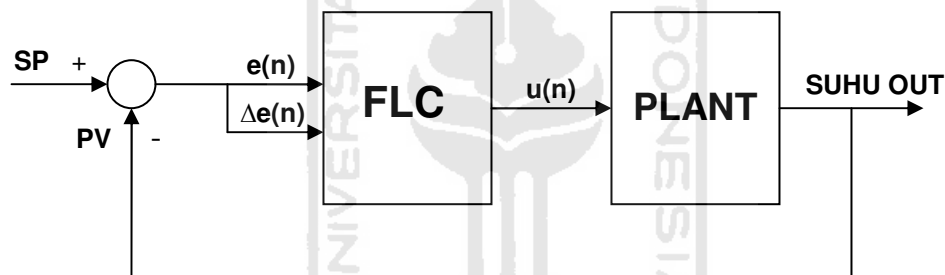
Perancangan sistem pengendali suhu *water heater* meliputi perancangan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Sistem yang dirancang akan membentuk suatu sistem pengendali suhu air. Pengendalian suhu air dilakukan dengan mengatur tegangan yang diberikan ke *heater*. Pengaturan 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 *water heater*

Tabung/tangki air menggunakan sebuah gelas ukur tahan panas sampai 200 °C dengan kapasitas maksimal 1 Liter. Sebagai pemanas digunakan sebuah elemen *heater* yang biasa digunakan pada pemanas air konvensional. *Plant* juga dilengkapi dengan *stirrer*/kipas yang akan memutar air sehingga penyebaran panasnya dapat lebih cepat merata. Penginderaan suhu air dilakukan oleh sensor

suhu LM35 yang dibungkus dengan bahan anti air 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* ( $\Delta e$ ). 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 diumpambalikkan guna menghitung sinyal *error* dan *change of error*.

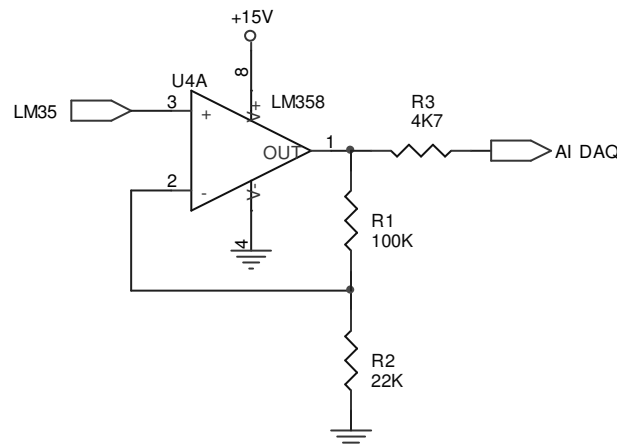
### 3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

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

#### 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:

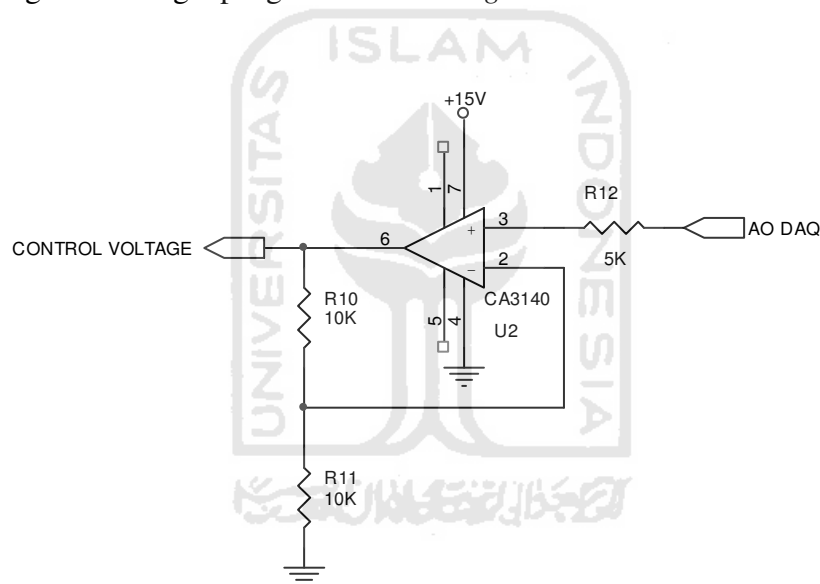
$$\begin{aligned} A &= V_o/V_i \\ &= (1+ R_1/R_2) \\ &= (1+ 100K/22K) = \mathbf{5.5x} \end{aligned}$$



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<sub>DC</sub> 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<sub>DC</sub>, sehingga perlu dikuatkan 2x agar dapat menggeser pulsa secara penuh. Pada rangkaian ini digunakan Op-Amp CA3140 yang difungsikan sebagai penguat *non inverting*.



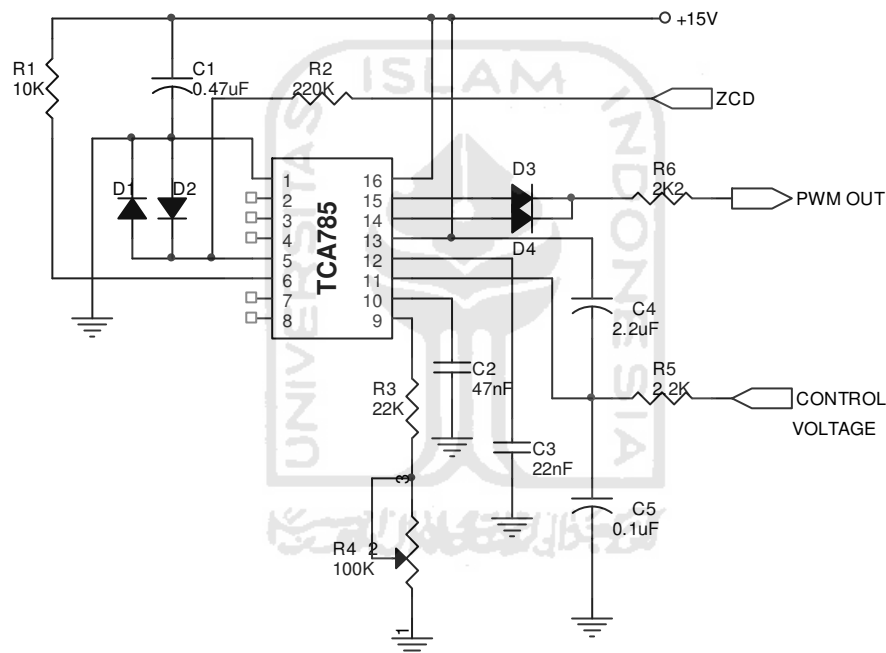
Gambar 3.4 Rangkaian penguat tegangan kontrol

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  $0^\circ$  sampai  $180^\circ$ . Rangkaian pengontrol sudut fasa dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Rangkaian pengontrol sudut fasa

Sinyal sinkronisasi berasal dari tegangan  $12\text{ V}_{AC}$  yang dihubungkan pada kaki nomor 5. Untuk menghindari arus yang sangat besar pada IC maka sebelum masuk ke kaki 5, tegangan  $12\text{ V}_{AC}$  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)

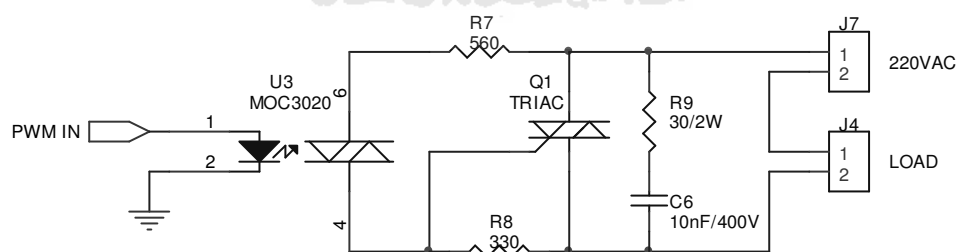
Pada IC TCA 785 terdapat peraba nol (ZCD) yang akan menentukan letak titik nol sinyal AC dan disimpan ke dalam memori sinkron. *Detector* ini kemudian akan mengendalikan generator gelombang tegangan gigi gergaji yang sesuai dengan frekuensi sumber tegangan. Kapasitor  $C_2$ , resistor  $R_9$  dan  $R_{10}$  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 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 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 menghidup dan mematikan LED pada pin 1 dan 2.

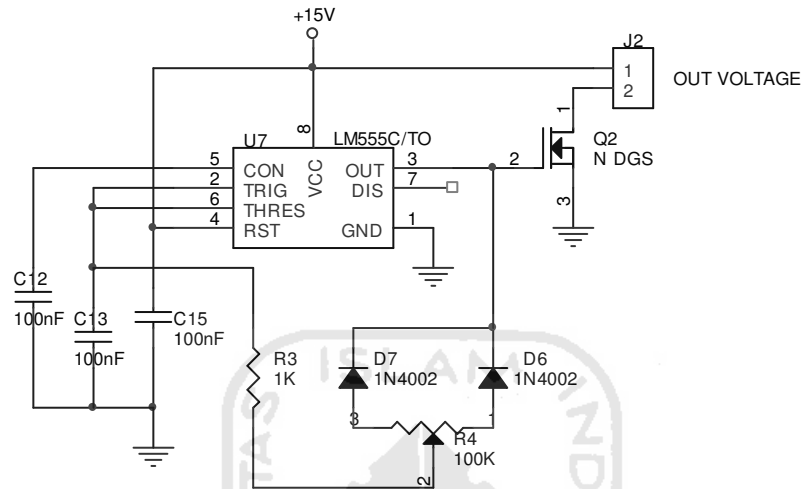


Gambar 3.6 Rangkaian saklar elektronik

### 3.1.5 Rangkaian *Stirrer* (Pengaduk)

Rangkaian ini digunakan sebagai pengaduk yang berfungsi untuk meratakan suhu air 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 logika fuzzy (FLC) dan perancangan *Graphical User Interface* (GUI) dengan menggunakan program LabVIEW.

#### 3.2.1 Pengendali Logika Fuzzy (FLC)

Sistem inferensi fuzzy yang digunakan pada pengendali suhu *water 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).

##### 3.2.1.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)

Perancangan pengendali logika fuzzy (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* ( $\Delta e$ ), sedangkan *crisp output* yang digunakan yaitu *change of voltage* ( $\Delta u$ ). Harga *error*, *change of error* dan *change of voltage* ditentukan dari persamaan:

$$Error = SP - PV \quad (3.1)$$

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

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

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

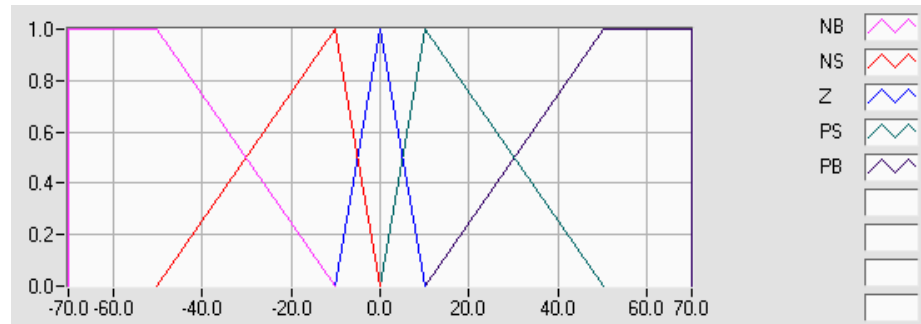
u(n) = Harga tegangan pada saat t

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

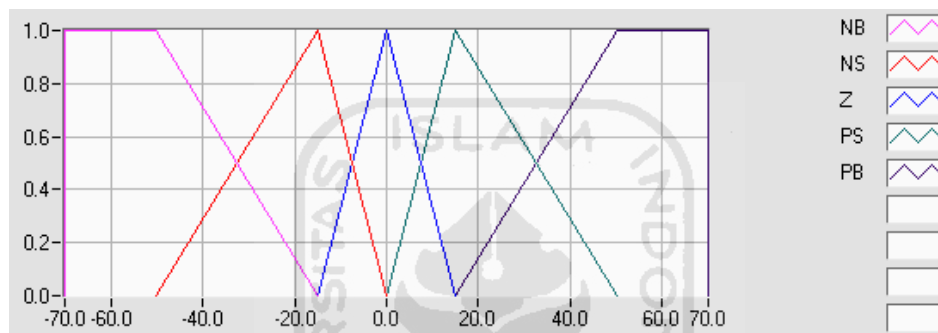
Tidak seperti kontroler konvensional yang membutuhkan batasan yang tepat dari input dan outputnya, FLC menggunakan pendekatan secara lebih sederhana yaitu dengan menggunakan batasan-batasan negatif, nol dan positif. Pada desain ini, digunakan segitiga dan trapesium untuk fungsi keanggotaan *input* dan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

#### 3.2.1.1.1 Himpunan Fuzzy *Input 1 "Error"*

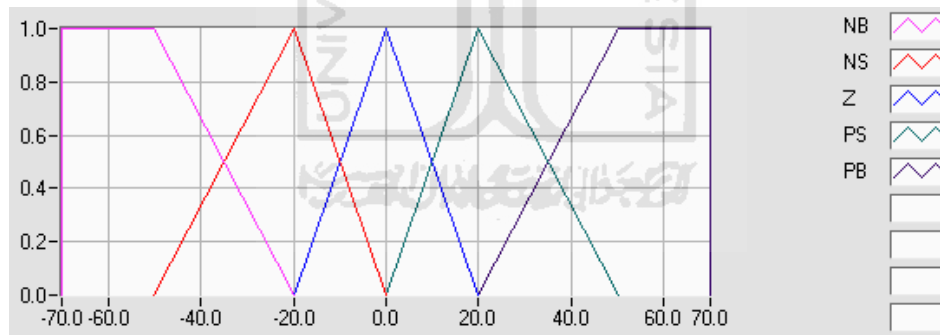
Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan untuk *input error* adalah lima buah yaitu dengan label NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*), dengan batasan [-70 70]. Pemilihan batasan ini didasarkan bahwa suhu yang akan dikendalikan maksimal 90 °C, sedangkan suhu air pada keadaan ruang adalah ±30 °C. Dengan demikian rentang [-70 70] sudah mewakili dari kondisi di lapangan. Bentuk fungsi keanggotaan yang digunakan yaitu trapesium dan segitiga, seperti ditunjukkan gambar 3.8. Beberapa variasi partisi fungsi keanggotaan *input error* akan diaplikasikan untuk mengetahui respon sistem yang paling baik. Hal ini dikarenakan penentuan fungsi keanggotaannya menggunakan pendekatan *trial-and-error*.



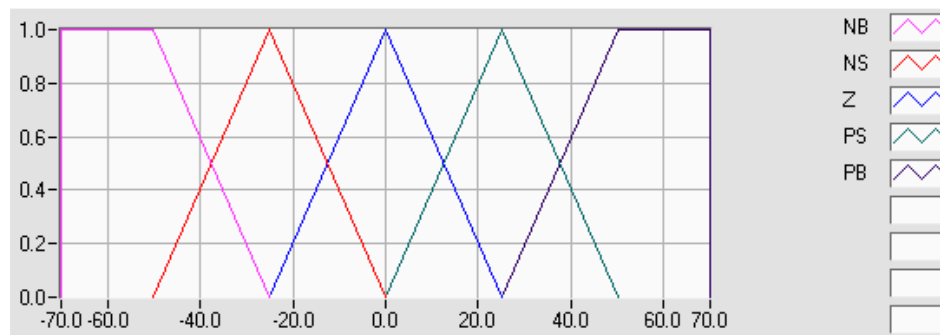
(a)



(b)



(c)

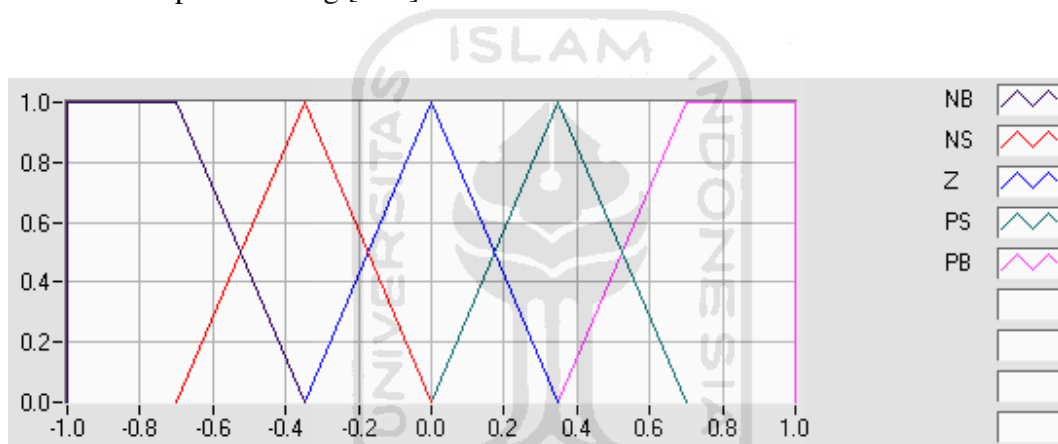


(d)

Gambar 3.8 Himpunan fuzzy *input1* (a) *error1*, (b) *error2*, (c) *error3*, (d) *error4*

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

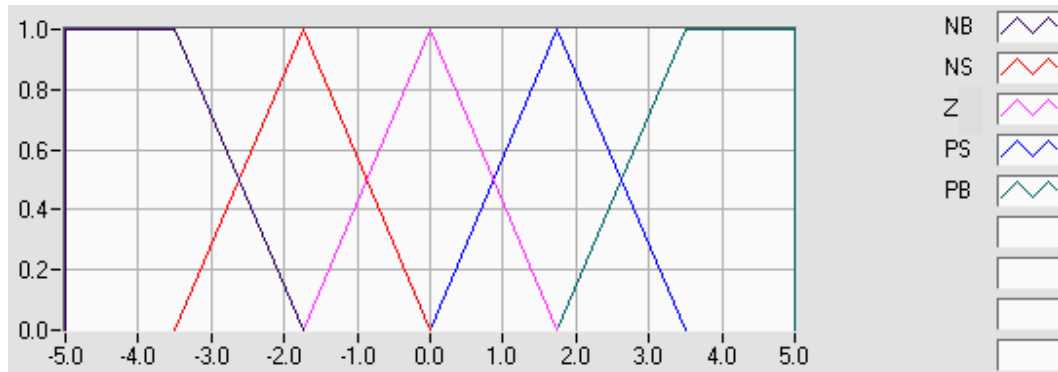
Untuk *crisp input change of error*, label yang digunakan sama dengan *crisp input error*, yaitu NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*). Pada pengujian sistem secara *open loop*, perubahan nilai suhu air pada setiap detiknya tidak lebih dari 1 °C. Didasarkan pada fakta tersebut maka *range* yang dipakai pada fungsi keanggotaan *input* untuk *change of error* adalah pada rentang [-1 1].



Gambar 3.9 Himpunan fuzzy input2 change of error

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

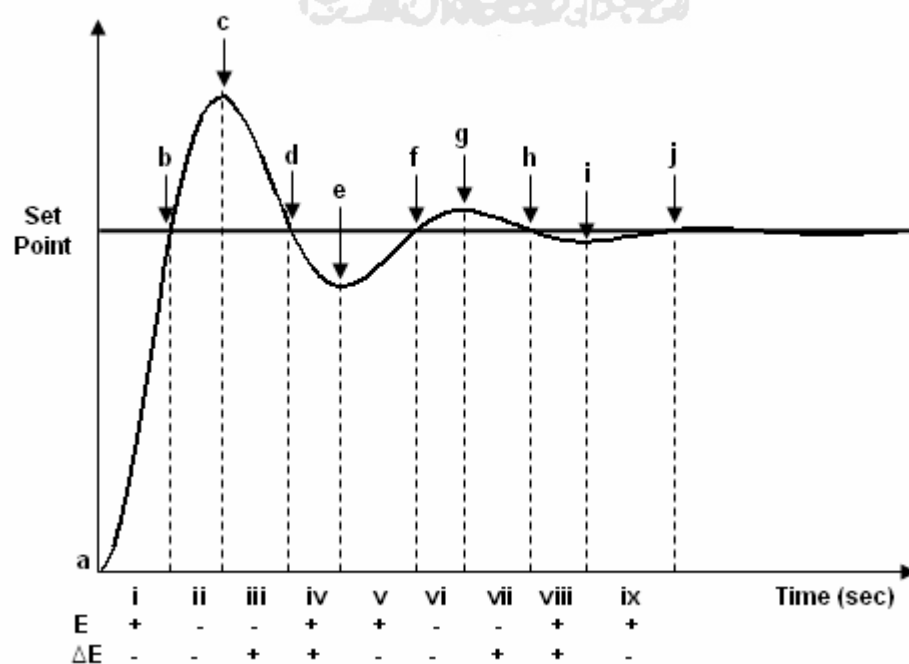
Jumlah fungsi keanggotaan *output* yang digunakan untuk *Change of Voltage* adalah lima buah yaitu dengan label NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*), dengan batasan [-5 5]. Batasan ini didasarkan bahwa tegangan yang dapat dibangkitkan kanal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



Gambar 3.10 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 3.11.



Gambar 3.11 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  $\Delta e$ ), sehingga kontroler dapat mengambil tindakan yang tepat untuk menyesuaikan  $output$ -nya.

Dari gambar 3.11, 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**  $output$   $u(n)$  is *Positive Big* (PB), untuk lebih jelasnya perhatikan tabel 3.1.

Tabel 3.1 Sebagian rule dan penjelasannya

Rule ke-	$e(n)$	$\Delta e(n)$	$u(n)$	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 3.2. Pada plant yang dirancang, digunakan satu buah *output* yaitu *change of voltage*. *Output*  $\Delta u$  menggunakan 25 buah *rules* seperti terlihat pada tabel 3.2, dengan memperhatikan input *error* dan *change of error*.

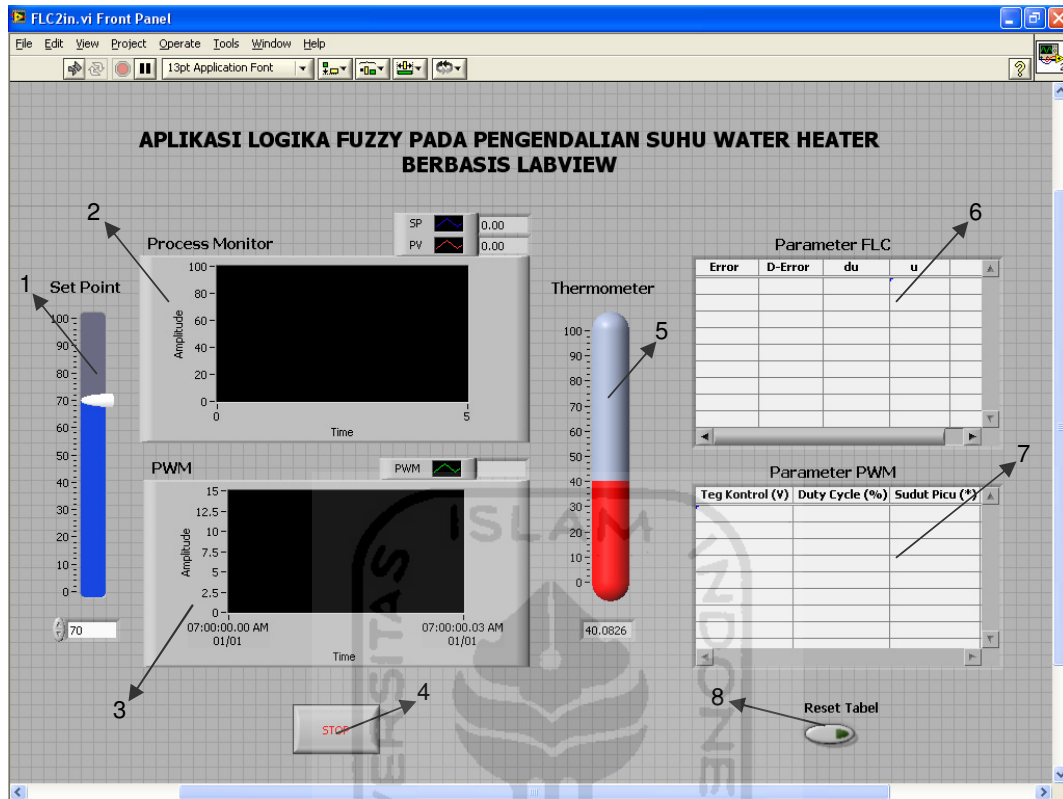
Tabel 3.2 *Rules* untuk *output*

		$\Delta e$				
		<b>NB</b>	<b>NS</b>	<b>Z</b>	<b>PS</b>	<b>PB</b>
<b>e</b>	<b>NB</b>	NB	NB	NB	NS	Z
	<b>NS</b>	NB	NB	NS	Z	PS
	<b>Z</b>	NB	NS	Z	PS	PB
	<b>PS</b>	NS	Z	PS	PB	PB
	<b>PB</b>	Z	PS	PB	PB	PB

### 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 3.12 dapat dilihat sebuah gambar halaman utama GUI dengan menggunakan program LabVIEW yang terdiri dari dua fungsi utama, yaitu mengendalikan dan menampilkan.



Gambar 3.12 GUI pengendali suhu *water heater*

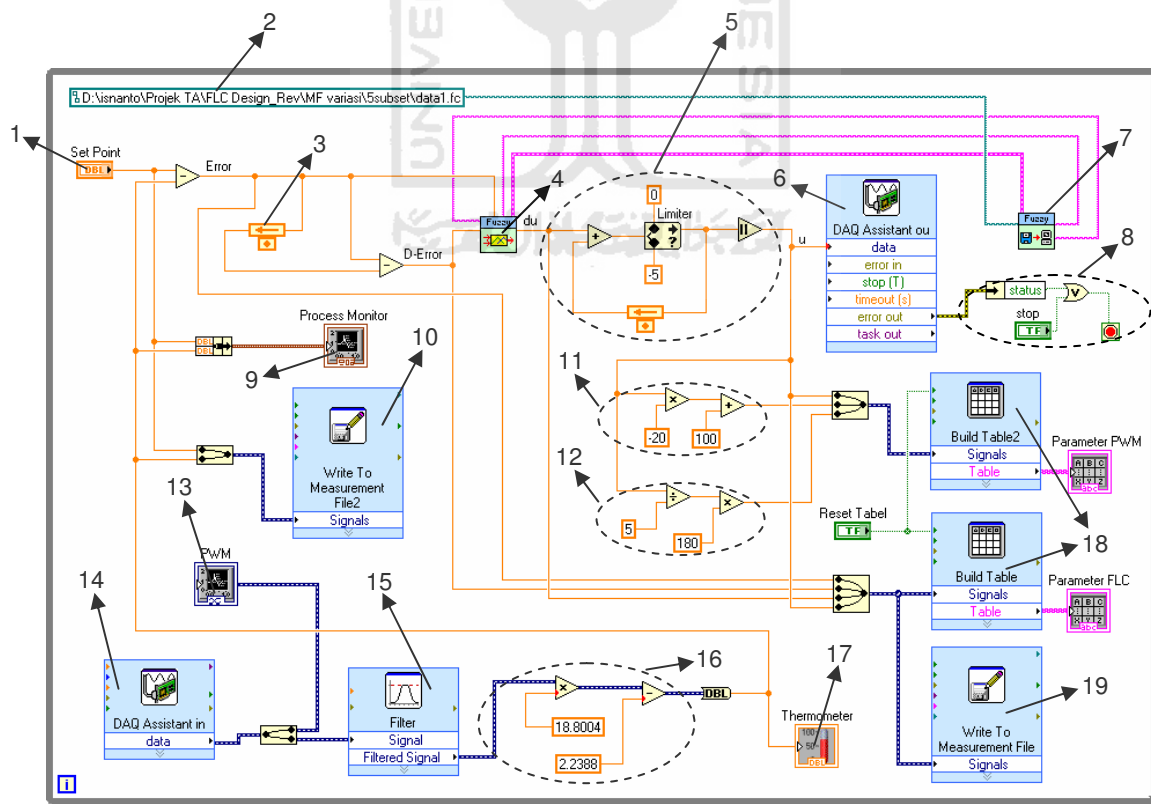
Keterangan:

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 pemuncian TRIAC.
8. **Tombol Reset;** mereset nilai variabel-variabel pada tabel FLC dan PWM agar selalu menampilkan data terbaru.

Adapun blok diagram pengendalinya adalah sebagai berikut:



Gambar 3.13 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 output* 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. 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 18.8004 kemudian dikurangi 2.2388.

17. **Termometer;** menampilkan suhu yang terukur di *plant*.
18. **Tabel;** menampilkan data parameter PWM dan FLC *secara real time*.



## BAB IV

### PENGUJIAN, ANALISIS 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.

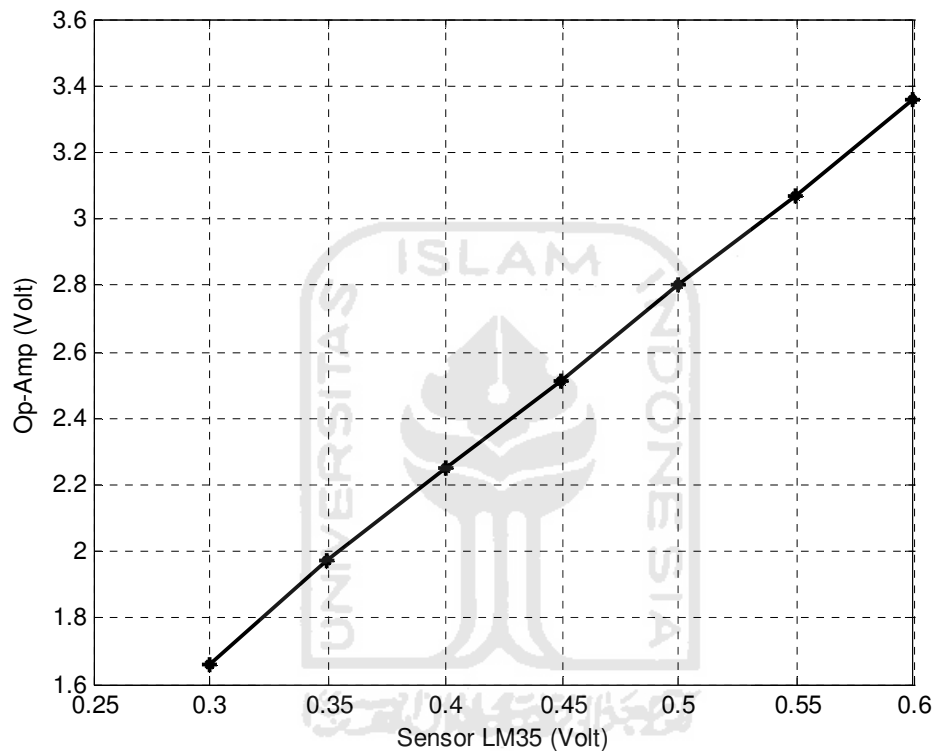
##### 4.1.1 Pengujian Rangkaian Penguat Sensor LM 35

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  $\pm 5.5$  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.

#### 4.1.2 Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol

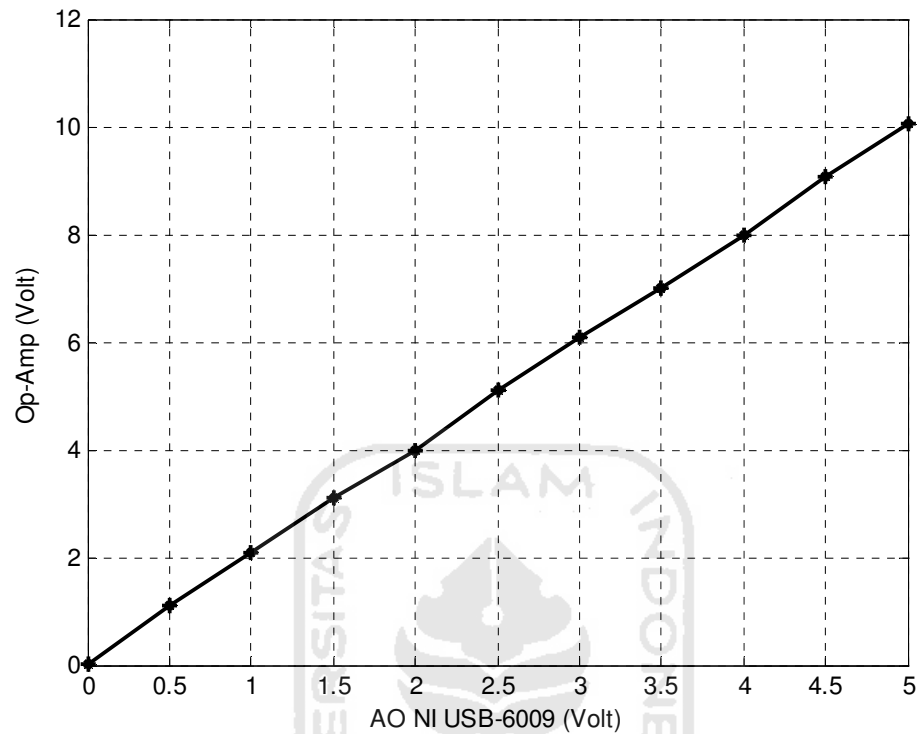
Pengujian rangkaian penguat ini dibutuhkan untuk memperkuat tegangan yang dikeluarkan oleh kanal *analog output* NI USB-6009 yang hanya sebesar 0 –

5 Volt menjadi dua kalinya. Hal ini dikarenakan rangkaian pengontrol fasa memerlukan variasi *input* tegangan 0 - 10 Volt untuk mengatur sudut pemicuan TRIAC.

Tabel 4.2 Pengujian rangkaian penguat tegangan kontrol

<b>Analog Output NI USB-6009 (Volt)</b>	<b>Output Op-Amp (Volt)</b>	<b>Penguatan</b>
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 4.2, dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan keluaran kanal *analog output* NI USB-6009 dengan tegangan setelah melalui rangkaian penguat (Op-Amp).



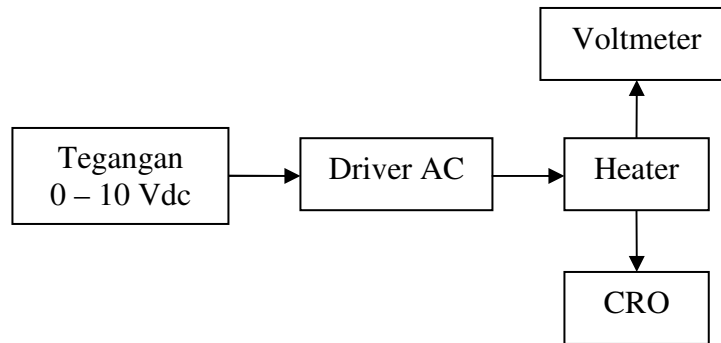
Gambar 4.2 Grafik hubungan tegangan kanal AO NI USB-6009 dengan Op-Amp

Dari table 4.2 dan gambar 4.2 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 4.3.





Gambar 4.3 Prosedur pengujian driver AC

Pengujian ini dilakukan dengan cara memvariasi tegangan kontrol 0 – 10 Volt sebagai masukan pada blok driver AC. Tegangan kontrol yang dimasukkan merupakan konversi dari sudut picu (fasa) sinyal tegangan AC nya. Untuk mendapatkan sudut pemicuan dapat dilakukan secara manual, yaitu dengan menggunakan persamaan yang ada. Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan sudut pemicuan 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 5.05 V (multimeter) dan 10 Vpp (CRO). Untuk mengatur sudut pemicuan dapat dengan cara mengatur tegangan kontrolnya (pin 11). Variasi sudut yang akan dilakukan adalah  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $75^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $105^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ ,  $150^{\circ}$ ,  $165^{\circ}$  dan  $180^{\circ}$ . Adapun hasil dari pemicuannya dapat dilihat pada lampiran.

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

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

Harga *error* ditentukan oleh persamaan:

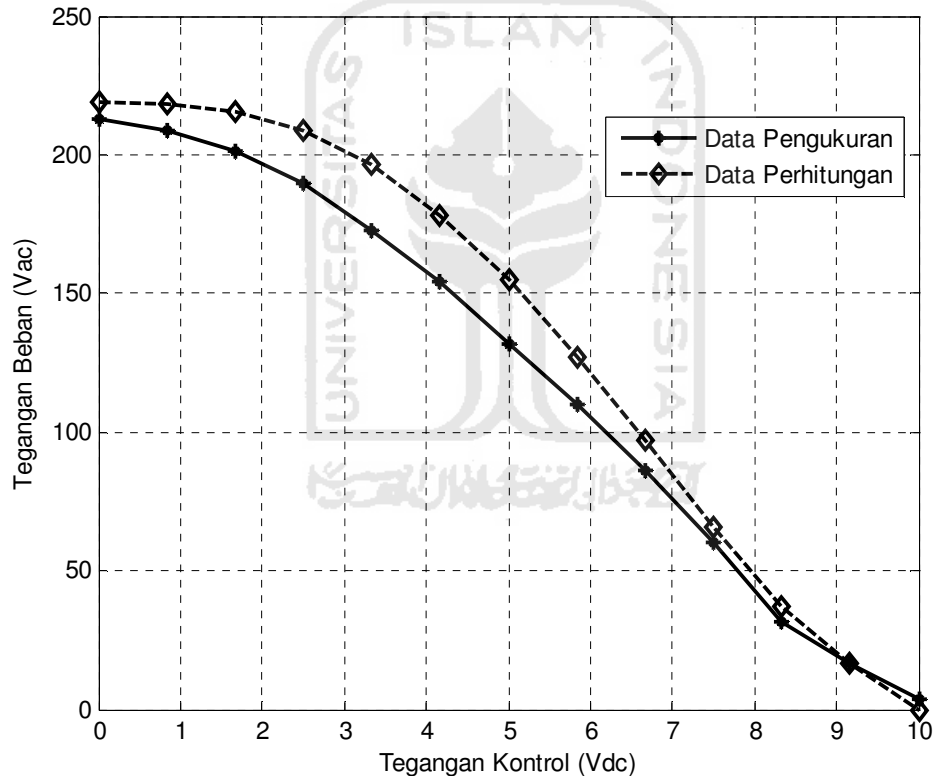
$$Error = \left( \frac{Data\ perhitungan - Data\ pengukuran}{Data\ perhitungan} \right) \times 100\% \quad (4.3)$$

Tabel 4.3 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  $V_s = 219$  Volt.

Tabel 4.3 Pengujian blok driver AC

Sudut Picu (°)	Tegangan Kontrol (Volt)	Tegangan Beban (Volt)		Error (%)
		Pengukuran	Perhitungan	
0	0	213	219	2.7
15	0.83	209	218.45	4.3
30	1.66	201	215.91	6.9
45	2.5	190	208.79	9
60	3.33	173	196.5	11.96
75	4.16	154	178.45	13.7
90	5	132	154.85	14.7
105	5.83	110	127.13	13.4
102	6.66	86	96.95	11.3
135	7.5	60	66.06	9.17
150	8.33	32	37.3	14.2
165	9.16	17	16.96	0.2
180	10	4	0	-

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 4.3 dapat dilakukan analisa perubahan tegangan kontrol terhadap tegangan keluaran (beban) dengan menggambarannya dalam bentuk grafik hubungan.



Gambar 4.4 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/sudut picu maka semakin kecil tegangan keluarannya, demikian juga sebaliknya. Perubahan yang terjadi berlangsung secara perlahan dan teratur (*soft*).

Hal ini membuktikan driver AC yang digunakan dapat mengontrol sudut fasa penyalaaan 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 15.1 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. 4.4 Data penunjukkan termometer dan tegangan pada LabVIEW

Nilai pada termometer (°C)	Tegangan pada LabVIEW (Volt)
30	1,74
35	1,97
40	2,23
45	2,51
50	2,77
55	3,05
60	3,31
65	3,58
70	3,85
75	4,11
80	4,37

Untuk perhitungan linearitas dari data-data di atas yaitu:

misal:

$x$  = nilai yang tertampil pada LabVIEW

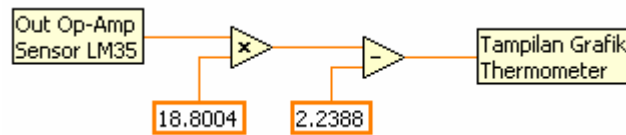
$y$  = nilai yang akan dibandingkan (dari termometer)

maka:

`polyfit (x, y, 1)`

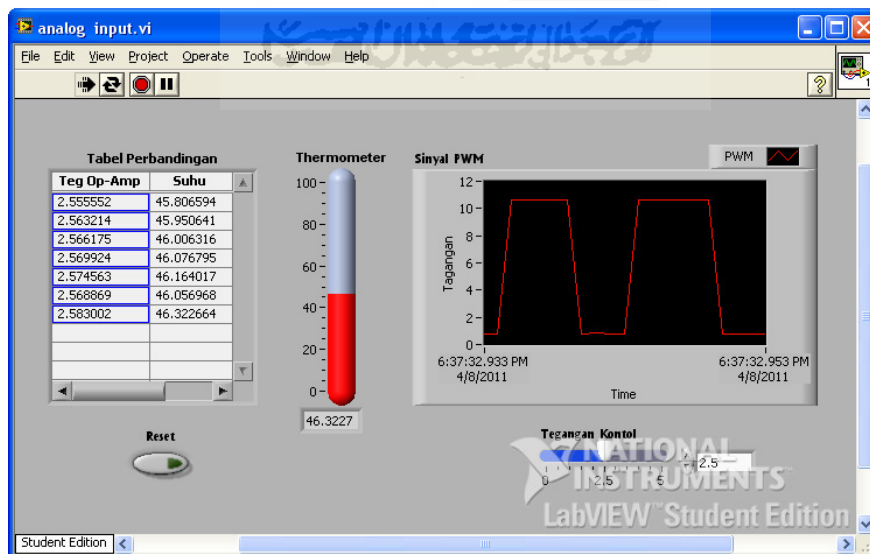
ans =

$$18.8004 - 2.2388 \text{ (hasil perhitungan linearitas)} \quad (4.4)$$



Gambar 4.5 Blok manipulasi suhu pada LabVIEW

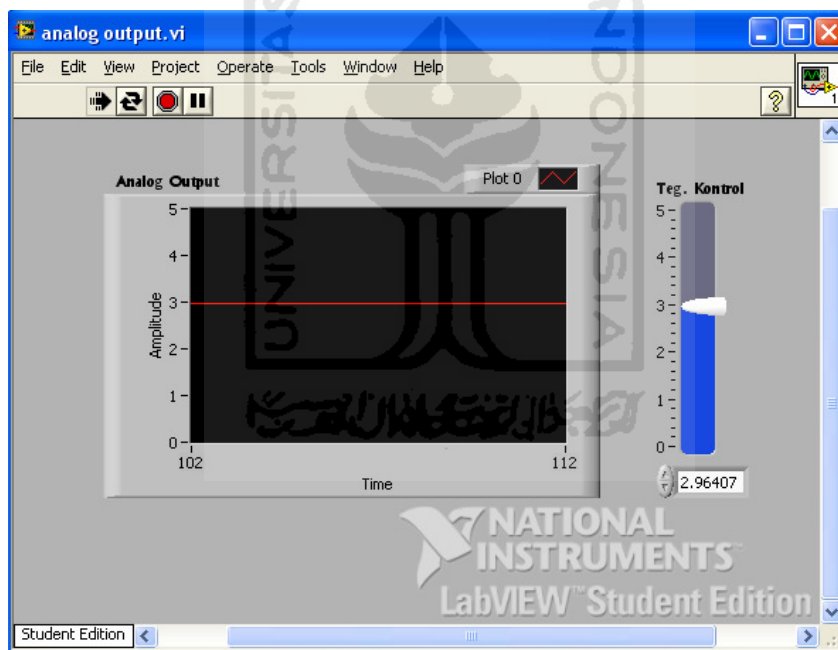
Blok manipulasi di atas dibuat pada LabVIEW untuk *input* tegangan suhu yang dihasilkan LM35. Nilai 18.8004 dan -2.2388 dihasilkan dari perhitungan linearitas. Tegangan suhu dari penguat sensor suhu LM35 yang masuk kemudian dikalikan dengan 18.8004 selanjutnya dikurangi dengan 2.2388, sehingga suhu yang ditampilkan pada LabVIEW akan sama dengan suhu yang terbaca pada termometer.



Gambar 4.6 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 4.7 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 4.7). Tegangan keluaran ini akan digunakan sebagai tegangan kontrol untuk mengatur tegangan yang diberikan ke pemanas.

### 4.3 Pengujian Sistem Pengendali Logika Fuzzy

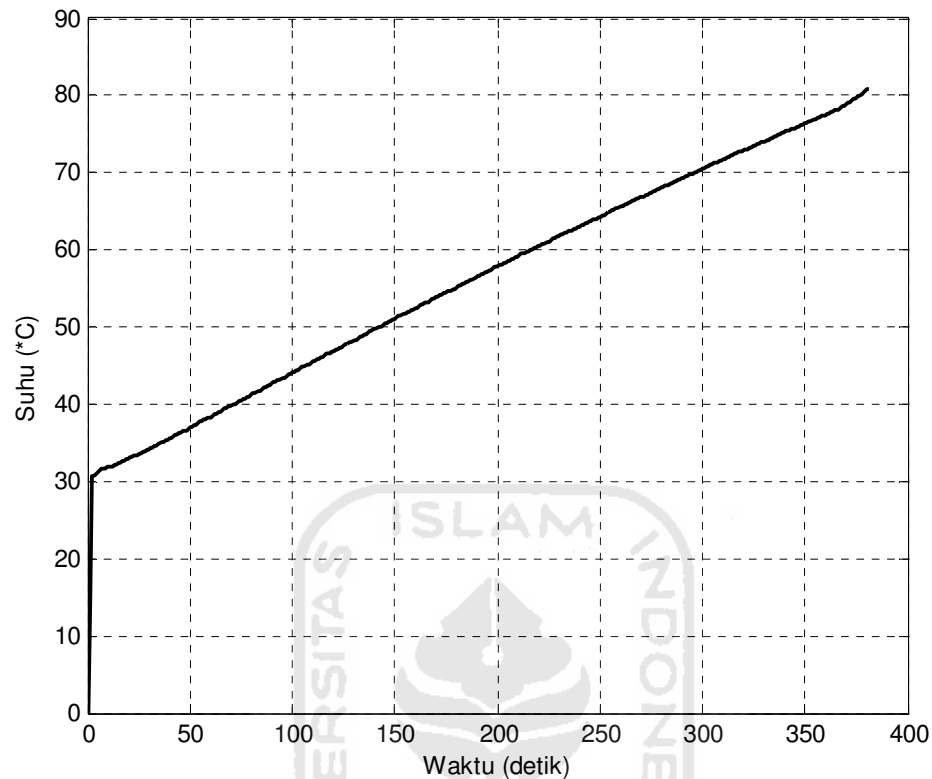
Pengujian ini menggabungkan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang sudah dirancang. Agar pengujian yang dilakukan valid dan terstruktur, maka dilakukan pengujian beberapa parameter sebagai berikut:

1. Pengujian sistem kalang terbuka (*open loop*)
2. Pengujian sistem pada beberapa variasi fungsi keanggotaan *input error*.
3. Pengujian sistem pada suhu referensi naik.
4. pengujian sistem dengan pemberian gangguan
5. pengujian sistem dengan metode defuzzifikasi *Mean of Maxima* (MOM)

#### 4.3.1 Pengujian Sistem Kalang Terbuka (*Open Loop*)

Untuk mengetahui karakteristik *plant* suhu yang akan dikendalikan, maka dilakukan pengujian secara kalang terbuka. Hasil pengujian ini akan dijadikan sebagai acuan dalam penentuan *range* fungsi keanggotaan *change of error* ( $\Delta e$ ) pada pengendali logika fuzzy yang dibangun. Pengujian 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 pengujian kalang terbuka diperlihatkan pada gambar 4.8.





Gambar 4.8 Grafik respon sistem dengan pengujian kalang terbuka

Tabel 4.5 Sebagian data pengujian sistem dengan kalang terbuka

Detik ke-	Suhu (°C)	Detik ke-	Suhu (°C)	Detik ke-	Suhu (°C)	Detik ke-	Suhu (°C)
101	44.21774	120	46.91257	139	49.55447	158	52.17711
102	44.35728	121	47.03563	140	49.67226	159	52.31516
103	44.50385	122	47.15545	141	49.80062	160	52.45017
104	44.65473	123	47.28195	142	49.94064	161	52.57902
105	44.80608	124	47.42221	143	50.08734	162	52.70723
106	44.95528	125	47.56773	144	50.24028	163	52.84496
107	45.10186	126	47.71056	145	50.39097	164	52.99125
108	45.24264	127	47.85009	146	50.53751	165	53.13992
109	45.37818	128	47.98905	147	50.68003	166	53.2875
110	45.51001	129	48.13312	148	50.81541	167	53.42891
111	45.63683	130	48.27856	149	50.94997	168	53.56193
112	45.76337	131	48.42165	150	51.08373	169	53.69162
113	45.89456	132	48.56059	151	51.22264	170	53.8168
114	46.03448	133	48.7024	152	51.36421	171	53.94386
115	46.18342	134	48.84997	153	51.50881	172	54.07961
116	46.33671	135	49.00222	154	51.64599	173	54.21953
117	46.48888	136	49.15392	155	51.77265	174	54.35924
118	46.63832	137	49.29977	156	51.90178	175	54.49583
119	46.78075	138	49.4326	157	52.03886	176	54.62913

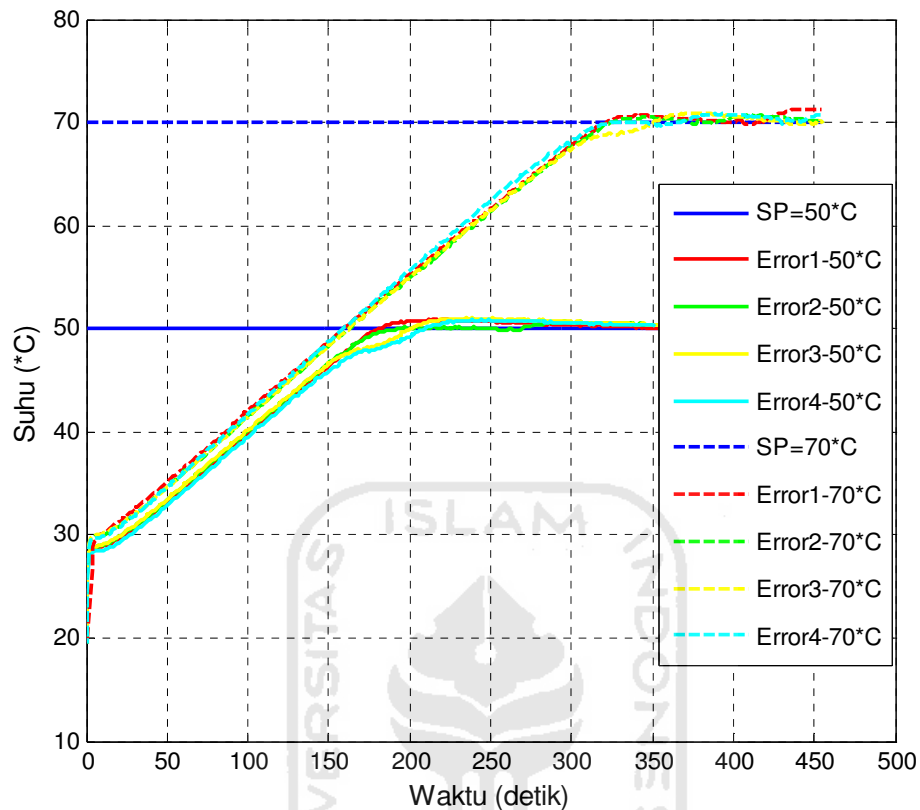
Pengujian kalang terbuka menunjukkan bahwa dengan tegangan kontrol 0 Volt dan dengan suhu awal sebesar 30,75 °C maka suhu air akan terus naik sampai lebih dari 80 °C, dengan kenaikan  $\pm 0,2$  °C setiap detik. Dengan mengacu pada hasil pengujian ini maka akan dibentuk FLC dengan fungsi keanggotaan  $\Delta e$  pada *range* -1 sampai 1 [-1 1].

#### 4.3.2 Pengujian pada Variasi Fungsi Keanggotaan *Error*

Pengujian dengan beberapa variasi *range* fungsi keanggotaan *error* ini bertujuan untuk mendapatkan fungsi keanggotaan yang paling sesuai dengan karakteristik sistem. Hal ini dilakukan dengan cara mengubah-ubah *range* dari label Z (*Zero*) menjadi beberapa variasi data, sedangkan label yang lain tetap. Variasi *range* label Z yang digunakan yaitu:

1. *Error1*; *range* label Z = [-10 0 10]
2. *Error2*; *range* label Z = [-15 0 15]
3. *Error3*; *range* label Z = [-20 0 20]
4. *Error4*; *range* label Z = [-25 0 25]

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 4.9.



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

Tabel 4.6 Karakteristik respon sistem pada variasi *range* MF *error*

Suhu Referensi	Parameter	MF Input Error			
		Error1	Error2	Error3	Error4
50°C	Rise Time (s)	154.4066	152.0230	152.0960	158.7971
	Settling Time (s)	264.7270	307.0965	314.7432	296.0916
	Settling Min (°C)	46.9668	47.0340	47.0229	47.0237
	Settling Max (°C)	50.9226	50.6816	51.0247	50.8450
	Overshoot (%)	1.8453	1.3632	2.0495	1.6899
	Undershoot (%)	0	0	0	0
	Peak (°C)	50.9226	50.6816	51.0247	50.8450
	Peak Time (s)	222.0156	305.0625	251.0625	249.0156
70°C	Rise Time (s)	274.0252	278.3062	277.1727	272.6141
	Settling Time (s)	NaN	315.3387	333.6617	307.1194
	Settling Min (°C)	64.9991	65.1643	65.0532	65.1485
	Settling Max (°C)	71.3344	70.6856	70.9262	70.8591
	Overshoot (%)	1.9063	0.9794	1.3232	1.2273
	Undershoot (%)	0	0	0	0
	Peak (°C)	71.3344	70.6856	70.9262	70.8591
	Peak Time (s)	443.0781	410.0469	376.0156	389.0156

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 6,8 detik saja. Dimana waktu naik paling cepat dicapai pada FLC dengan MF *error2*, yaitu selama 152 detik dan waktu naik paling lambat dihasilkan oleh respon FLC dengan MF *error4* sebesar 158,8 detik. Hanya saja pada referensi 70 °C, waktu naik pada MF *error2* tercatat paling besar di antara MF lainnya yaitu selama 278 detik, walaupun perbedaannya juga tidak terlalu signifikan. Pada pengujian dengan referensi suhu 70°C ini, waktu naik paling cepat dicapai oleh FLC dengan MF *error4* yaitu selama 272,6 detik.

Jika ditinjau dari waktu penetapannya, MF *error1* mempunyai waktu penetapan paling cepat yaitu 264,7 detik pada referensi suhu 50 °C, tetapi pada referensi suhu 70 °C, waktu penetapannya malah tidak terdeteksi (NaN). 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 MF input *error1* sehingga proses pergeseran aturan-aturannya menjadi sangat fluktuatif. Akibatnya *output* FLC mengalami perubahan yang cukup besar sehingga sistem menjadi kurang stabil. Sedangkan waktu penetapan sistem pada MF *error* lainnya relatif hampir sama, walaupun saat referensi 50 °C, waktu penetapan pada MF *error3* cukup lama yaitu 314 detik dibanding dengan yang

lainnya. Pada referensi 50 °C ini, waktu penetapan paling cepat dicapai oleh MF *error4* selama 296 detik. Lebih cepat sekitar 11 detik dibanding waktu penetapan dengan menggunakan FLC MF *error2*. Pada referensi suhu 70 °C, waktu penetapannya juga tidak terlalu menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Pada pengujian referensi 70 °C ini, waktu penetapan MF *error2* dan *error4* hanya berselisih 8 detik saja.

Pada pengujian dengan referensi suhu 50 °C, *overshoot* paling kecil dicapai oleh MF *error2* yaitu sebesar 1,36 % pada suhu 50,68 °C, sedangkan *overshoot* paling besar dicapai oleh MF *error3* sebesar 2 % pada suhu 51 °C. Selanjutnya pada referensi 70 °C, *overshoot* paling kecil juga dicapai oleh MF *error2* yaitu sebesar 0,98 % (70,68 °C) dan yang paling besar 1,9 % (71,33 °C) yang dihasilkan oleh MF *error1*. Dapat dikatakan MF *error2* mempunyai *steady state error* yang paling kecil. Berdasarkan data dan fakta di atas dapat disimpulkan jika dilihat dari nilai *overshoot* yang dicapai oleh keempat varian MF *error* tersebut, maka MF *error2* menunjukkan respon yang paling baik.

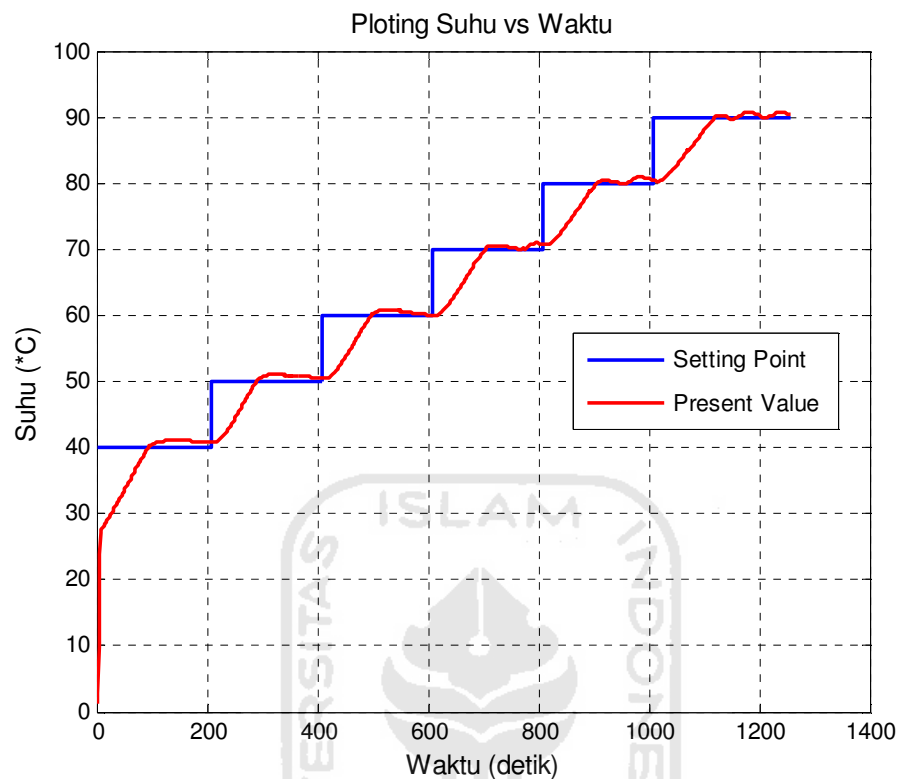
Waktu puncak (*peak time*) merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai harga maksimalnya. Berdasarkan data pada tabel 4.5 dapat dilihat pada referensi suhu 50 °C, waktu puncak yang dicapai oleh FLC dengan MF *error2* adalah yang paling lama yaitu sebesar 305 detik. Dengan demikian MF *error2* akan 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 *error2* mempunyai respon yang paling baik di antara kandidat MF *error* lainnya. Dengan demikian penulis memutuskan menggunakan MF *error2* sebagai MF *error* yang akan digunakan dalam pengujian selanjutnya.

#### **4.3.3 Pengujian pada Suhu Referensi Naik**

Pengujian pada suhu referensi naik ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon sistem pengendali logika fuzzy terhadap perubahan kenaikan 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 masukan (referensi) sebesar 40 °C, 50 °C, 60°C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C. Perubahan suhu referensi dilakukan ketika suhu *plant* berada pada keadaan tunak pada tiap suhu referensinya. Berikut ditampilkan data grafik hasil pengujiannya.

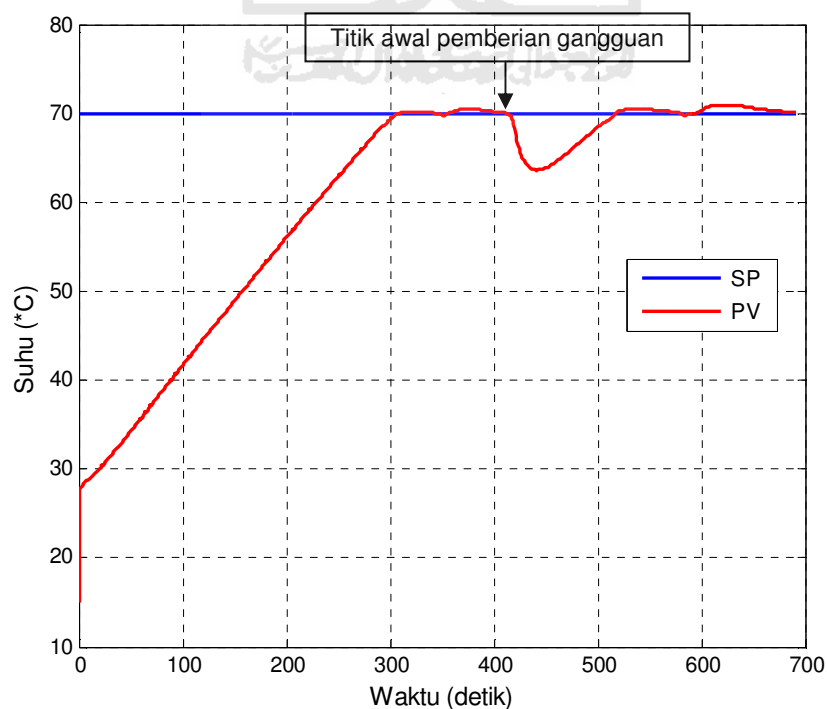


Gambar 4.10 Grafik respon sistem pada suhu referensi naik

Suhu awal *plant* adalah 28 °C, implementasinya dapat dilihat pada gambar 4.10. Mula-mula suhu referensi sebesar 40 °C, setelah 89 detik suhu *plant* mencapai 40 °C dan terus beresilasi di sekitar nilai referensinya. Perubahan nilai suhu referensi dilakukan tiap 200 detik yaitu saat suhu *plant* berada pada keadaan tunak atau stabil. Berdasarkan grafik pada gambar 4.10 terlihat suhu air pada *plant* dapat merespon perubahan referensi yang diberikan dengan bergerak mengikuti perubahan suhu referensinya. Dari pengujian ini dapat disimpulkan FLC yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan dapat beroperasi pada daerah yang luas.

#### 4.3.4 Pengujian dengan Pemberian Gangguan

Untuk mengetahui daya tahan sistem terhadap gangguan, maka dilakukan pengujian dengan memberikan gangguan berupa penambahan air dingin pada sistem yang telah mencapai kestabilan untuk suatu *setting value*. Pada pengujian ini gangguan yang diberikan dengan cara memasukkan 150 mL air bersuhu 27 °C ke dalam *plant* suhu yang telah mencapai suhu tertentu. Pengujian dengan gangguan panas tidak diberikan karena tugas akhir ini tidak dibuat untuk melakukan pendinginan. 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



Tabel 4.7 Data pengujian sistem dengan gangguan

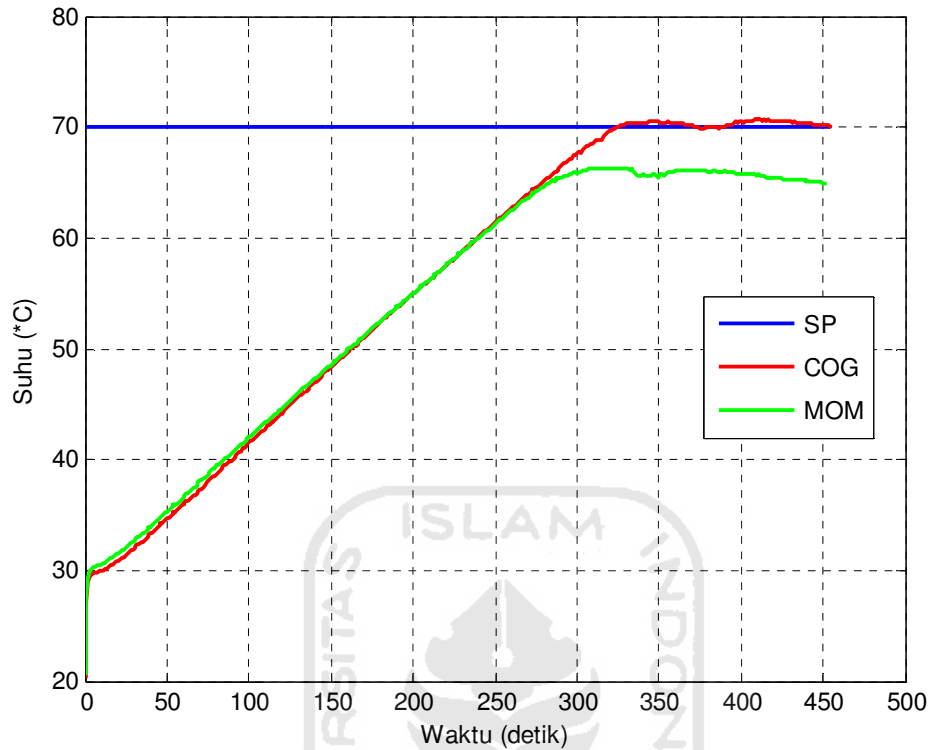
Detik ke-	Suhu (°C)	Detik ke-	Suhu (°C)	Detik ke-	Suhu (°C)	Detik ke-	Suhu (°C)
0	15.28655	291	68.423457	400	70.19171	480	66.454844
1	27.773561	292	68.535047	401	70.18002	481	66.551274
2	27.932069	293	68.623581	402	70.16865	482	66.650105
3	28.13284	294	68.706579	403	70.16467	483	66.750611
4	28.316365	295	68.801113	404	70.15894	484	66.847281
5	28.455271	296	68.907661	405	70.1522	485	66.946416
6	28.553601	297	69.023267	406	70.13935	486	67.045328
7	28.634724	298	69.13736	407	70.11636	487	67.14881
8	28.714443	299	69.251492	408	70.086	488	67.255996
9	28.803899	300	69.372521	409	70.0537	489	67.35715
10	28.901974	301	69.493013	410	70.03043	490	67.455134
11	29.012283	302	69.598564	411	70.01504	491	67.553311
12	29.129296	303	69.679204	412	69.99459	492	67.648513
13	29.244161	304	69.747237	413	69.95274	493	67.747956
14	29.355992	305	69.809561	414	69.88731	494	67.847913
15	29.470061	306	69.868767	415	69.794	495	67.944546
16	29.586707	307	69.919838	416	69.66097	496	68.047144
17	29.706941	308	69.966465	417	69.46018	497	68.153809
18	29.823386	309	70.00974	418	69.1545	498	68.256434
19	29.944594	310	70.046447	419	68.71811	499	68.355799
20	30.078963	311	70.072554	420	68.16013	500	68.44702
21	30.224032	312	70.089456	421	67.5378	501	68.543727
22	30.37197	313	70.100136	422	66.92241	502	68.646056
23	30.510239	314	70.111833	423	66.37024	503	68.738865
24	30.637456	315	70.128626	424	65.90915	504	68.816343
25	30.771543	316	70.150923	425	65.54401	505	68.891373
26	30.904455	317	70.172312	426	65.25344	506	68.959918
27	31.032568	318	70.181758	427	65.01111	507	69.019397
28	31.161051	319	70.178852	428	64.80472	508	69.097089
29	31.2889	320	70.18118	429	64.62285	509	69.173607
30	31.423218	321	70.181483	430	64.45438	510	69.248196
31	31.565624	322	70.18176	431	64.29463	511	69.325037
32	31.71937	323	70.180848	432	64.15591	512	69.400507
33	31.877713	324	70.181347	433	64.03808	513	69.488371
34	32.029298	325	70.189111	434	63.94354	514	69.609576
35	32.176612	326	70.191279	435	63.8702	515	69.747452
36	32.312578	327	70.185562	436	63.81206	516	69.879885
37	32.444788	328	70.176623	437	63.76229	517	70.003529
38	32.578374	329	70.17192	438	63.71575	518	70.104634
39	32.713845	330	70.166819	439	63.67088	519	70.181668
40	32.849394	331	70.153133	440	63.63943	520	70.23701
41	32.990363	332	70.139907	441	63.62651	521	70.275711
42	33.136985	333	70.132119	442	63.63189	522	70.306846
43	33.282141	334	70.129489	443	63.64301	523	70.332177
44	33.424492	335	70.125558	444	63.65602	524	70.353524

Pada pengujian ini mula-mula ditetapkan suhu referensi sebesar 70 °C. Nilai suhu awal adalah 27,77 °C, implementasinya bisa dilihat pada tabel 4.7. Setelah 309 detik suhu air akan mencapai 70 °C dan beresilasi pada keadaan tersebut. Setelah 410 detik dari suhu awal dan ketika suhu air telah stabil, air dingin dimasukkan dalam *plant*, selanjutnya diketahui suhu air dalam *plant* turun sampai 63,63 °C pada detik ke-441, kemudian berangsur-angsur kembali ke referensi semula dalam waktu 76 detik dan kemudian beresilasi di sekitar suhu referensinya.

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

#### **4.3.5 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 dan tabel 4.8.



Gambar 4.12 Respon sistem dengan metode defuzzifikasi MOM

Tabel 4.8 Karakteristik respon sistem pada variasi metode defuzzifikasi

Parameter	Defuzzifikasi	
	MOM	COG
Rise Time (s)	283.3207	278.3062
Settling Time (s)	NaN	315.3387
Settling Min (°C)	64.9600	65.1643
Settling Max (°C)	66.3422	70.6856
Overshoot (%)	0	0.9794
Undershoot (%)	0	0
Peak (°C)	66.3422	70.6856
Peak Time (s)	323.0156	410.0469

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 yang cukup cepat yaitu 283,2 detik, hanya lebih lama sekitar 5 detik dari waktu naik sistem dengan metode defuzzifikasi COG yang sebesar 278,3 detik.

Ditinjau dari waktu penetapan sistem, metode MOM tidak bisa mencapai kondisi tunak/diam, malahan suhu maksimal yang dapat dicapai hanya sebesar 66,34 °C, sehingga terdapat error sebesar 3,64 °C. Respon sistem terus berfluktuasi pada kisaran suhu 64 °C sampai 66 °C, tanpa pernah mencapai suhu referensi 70 °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:

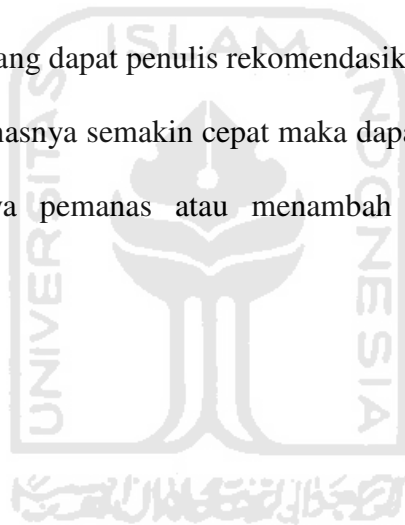
1. Pada pengaturan tegangan AC dengan menggunakan IC TCA 785, semakin besar tegangan kontrol yang diberikan maka semakin kecil tegangan yang diberikan ke pemanas, demikian juga sebaliknya semakin kecil tegangan kontrol yang diberikan maka semakin besar tegangan yang diberikan ke pemanas. Dapat dikatakan tegangan kontrol berbanding terbalik dengan tegangan bebannya.
2. Berdasarkan pengujian kalang terbuka (*open loop*) didapatkan kenaikan suhu air sebesar  $\pm 0,2$  °C per detik.
3. Penentuan *range* pada nilai linguistik yang terlalu sempit membuat sistem akan mempunyai *rise time* yang cepat, tetapi akan mengakibatkan sistem terlalu sensitif sehingga terus-menerus berosilasi.
4. Pada pengujian dengan suhu referensi 70 °C dan suhu awal 29 °C, didapatkan *rise time* sebesar 278 detik, *settling time* 315 detik dan *overshoot* sebesar 0,98 %.
5. Berdasarkan pengujian pada suhu referensi naik, pengendali logika *fuzzy* yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan mampu beroperasi pada daerah yang luas (40 °C – 90 °C).

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

## 5.2 Saran

Berikut saran-saran yang dapat penulis rekomendasikan:

1. Agar kenaikan panasnya semakin cepat maka dapat dilakukan dengan cara memperbesar daya pemanas atau menambah jumlah pemanas yang digunakan.



## 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.
- Andika, Roni., 2010. *Perancangan Pengendali PID Digital pada Heater*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- Kovacic, Zdenko, & Bogdan, Stjepan, 2006. *Fuzzy Controller Design: Theory and Applications*. New York: Taylor & Francis Group
- Kusumadewi, Sri, & Purnomo, Hari, 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Lee, C. C., 1990. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics: *Fuzzy Logic in Control Systems (Fuzzy Logic Controller-Part I)*, 20, 404-418
- Muharam, Taufik, 2008. *Pengendali Suhu Air Menggunakan Mikrokontroler ATmega8 dengan Kendali Logika Fuzzy Berbasis PC*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
- National Instruments, 2006. *NI USB-6009 manual*.  
<http://public.beuth-hochschule.de/~suchanek/EMSL/usb6009.pdf>
- National Instruments, 2009. *LabVIEW: PID and Fuzzy Logic Toolkit User Manual*. <http://www.ni.com>
- National Semiconductor, 2000. *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. National Semiconductor Corporation.USA
- Ponce, Pedro, & Ramirez, David, 2010. *Intelligent Control System with LabVIEW*. London: Springer
- Rashid, M. H., 1993. *Elektronika Daya: Rangkaian, Devais dan Aplikasinya (Jilid1)*. Jakarta: Prehallindo
- Sofwan, Agus., 2005. *Penerapan Fuzzy Logic pada Sistem Pengaturan Jumlah Air Berdasarkan Suhu dan Kelembaban*. Makalah disampaikan dalam Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI) 2005. Yogyakarta, 18 Juni.

Wibisono, Raditya D. G., 2010. *Perancangan Pengendali Fuzzy untuk Optimasi Panel Surya*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

\_\_\_\_\_, *TCA 785*, Siemens Semiconductor Group. Available at [http://www.datasheetcatalog.com/datasheet\\_pdf/T/C/A/TCA%20785.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheet_pdf/T/C/A/TCA%20785.shtml)





# APLIKASI LOGIKA FUZZY PADA PENGENDALIAN SUHU WATER HEATER BERBASIS LABVIEW

ISNANTO

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia  
Jalan Kaliurang km. 14,5 Sleman, Yogyakarta 55501  
Telp. (0274) 895007, 895287 Faks. (0274) 895007 Ext. 131  
E-mail : [anto\\_xpl@yahoo.com](mailto:anto_xpl@yahoo.com)

## Abstraksi

Penelitian ini memfokuskan pada *control* dan *monitoring* suhu air dengan menggunakan logika fuzzy. *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* ( $\Delta e$ ), serta 1 buah *crisp output* yaitu *change of voltage* ( $\Delta u$ ), dengan metode inferensi Max-Min dan metode defuzzifikasi *Center of Area* (COA). Jumlah label yang digunakan 5 buah dengan tipe segitiga dan *trapezoid*, dengan 25 buah aturan. Pada pengujian dengan suhu referensi 70 °C dan suhu awal 29 °C, didapatkan *rise time* sebesar 278 detik, *settling time* 315 detik dan *overshoot* sebesar 0,98 %. Pada pengujian dengan suhu referensi naik, FLC yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan mampu beroperasi secara baik pada rentang suhu 40 °C sampai 90 °C. Pemberian gangguan berupa air dingin membuat suhu *plant* turun sampai 63,63 °C dan dibutuhkan waktu 76 detik untuk kembali ke suhu referensi.

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

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

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.

Salah satu aplikasi sistem kendali adalah pada pengendalian proses yaitu kendali suhu air. Karakteristik dari pengendalian proses yang berupa suhu air adalah perubahan proses yang lambat atau sangat lambat. Hal ini dikarenakan dalam proses pengendalian suhu air melibatkan perpindahan panas secara konduksi dan konveksi, yaitu dari materi padat (pemanas) ke materi cair (air). 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. (Ana Ratna Wati, 2011:79).

### 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 logika fuzzy?
2. Bagaimana merancang pengendali logika fuzzy 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 air bervolume 600 mL menggunakan metode FLC dengan batas suhu 40 °C sampai 90 °C (suhu naik).
2. FLC yang digunakan adalah tipe Mamdani, dengan komposisi aturan menggunakan operator AND dan metode defuzzifikasi *Center of Area* (COA).
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 fungsi keanggotaan *error*, respon sistem dengan nilai referensi naik, respon sistem dengan pemberian gangguan dan respon sistem pada metode defuzzifikasi *Mean of Maxima* (MOM).

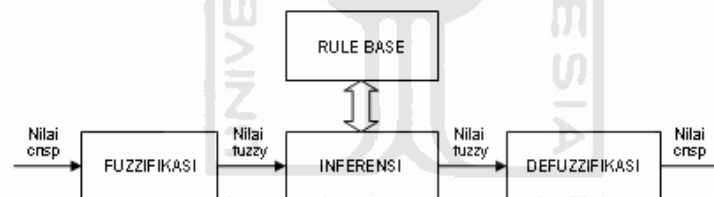
### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan respon sistem yang mempunyai *rise time*, *overshoot*, *undershoot*, *settling time* dan *error* seminimum mungkin dengan menggunakan pengendali logika fuzzy.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengendali Logika Fuzzy

Tujuan utama dalam sistem kendali 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 1.



Gambar 1 Struktur dasar pengendali logika fuzzy

#### 2.1.1 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.

#### 2.1.2 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*).

#### 2.1.3 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. Metode yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan ini adalah Max-Min.

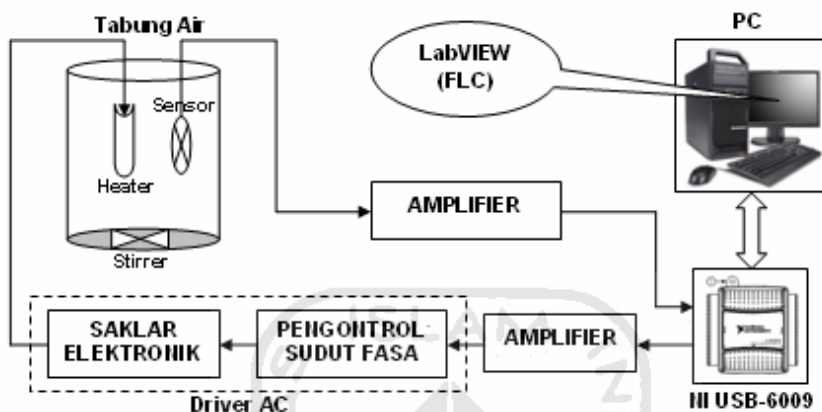
#### 2.1.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi dapat didefinisikan sebagai proses perubahan 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, tetapi yang sering digunakan adalah *Center of Area (COA)* dan *Mean of Maxima (MOM)*.

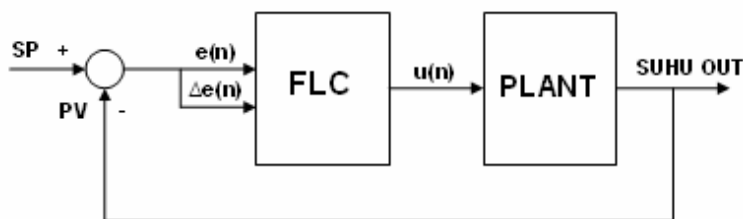
### 3. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem pengendali suhu *water heater* meliputi perancangan perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Sistem yang dirancang akan membentuk suatu sistem pengendali suhu air. Blok diagram sistem ditunjukkan gambar 2.



Gambar 2. Blok diagram sistem kendali suhu *water heater*

Tabung/tangki air menggunakan sebuah gelas ukur tahan panas sampai 200 °C dengan kapasitas maksimal 1 Liter. Sebagai pemanas digunakan sebuah elemen *heater* yang biasa digunakan pada pemanas air konvensional. *Plant* juga dilengkapi dengan *stirrer*/kipas yang akan memutar air sehingga penyebaran panasnya dapat lebih cepat merata. Penginderaan suhu air dilakukan oleh sensor suhu LM35 yang dibungkus dengan bahan anti air untuk menghindari terjadinya *short circuit*. 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. FLC akan menentukan besarnya tegangan kontrol yang dibangkitkan oleh NI USB-6009 sebesar 0 – 5 V<sub>DC</sub>. Tegangan kontrol ini akan dikuatkan 2x dikarenakan rangkaian pengontrol sudut fasa memerlukan tegangan masukan 0 – 10 V<sub>DC</sub> untuk mengatur sudut picu 0° - 180° pada tegangan AC nya. Dengan memvariasi sudut pemicuan ini maka kita dapat mengatur besar kecilnya tegangan AC yang diberikan ke pemanas.



Gambar 3. Blok diagram sistem pengendali logika fuzzy

Saat SP (*Setting Point*) diinputkan ke dalam sistem, maka sistem akan menghitung *error* (*e*) dan *change of error* ( $\Delta e$ ). 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*)

##### 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. Rangkaian penguat ini termasuk jenis *non inverting*.

### 3.1.2 Rangkaian Penguat Tegangan Kontrol

Pada pengontrolan fasa tegangan AC memerlukan tegangan kontrol sebesar 0 sampai 10 V<sub>DC</sub> 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<sub>DC</sub>, sehingga perlu dikuatkan 2x agar dapat menggeser pulsa secara penuh. Pada rangkaian ini digunakan Op-Amp CA3140 yang difungsikan sebagai penguat *non inverting*.

### 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°. 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° - 360°), sedangkan kaki 15 akan membangkitkan pulsa saat sinyal AC berada pada daerah positif (0° - 180°). 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 memutusnya. Rangkaian ini terdiri dari triac jenis BTA12 sebagai komponen utamanya yang disulut dan akan mengatur besarnya arus. MOC 3020 sebagai bahan pemisah antara 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.

## 3.2 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

### 3.2.1 Pengendali Logika Fuzzy (FLC)

Sistem inferensi fuzzy yang digunakan pada pengendali suhu *water 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).

#### 3.2.1.1 Pembentukan Himpunan Fuzzy (Fuzzifikasi)

Perancangan pengendali logika fuzzy (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* ( $\Delta e$ ), sedangkan *crisp output* yang digunakan yaitu *change of voltage* ( $\Delta u$ ). Harga *error*, *change of error* dan *change of voltage* ditentukan dari persamaan:

$$\text{Error} = \text{SP} - \text{PV} \quad (1)$$

$$\text{Change of error} = e(n) - e(n-1) \quad (2)$$

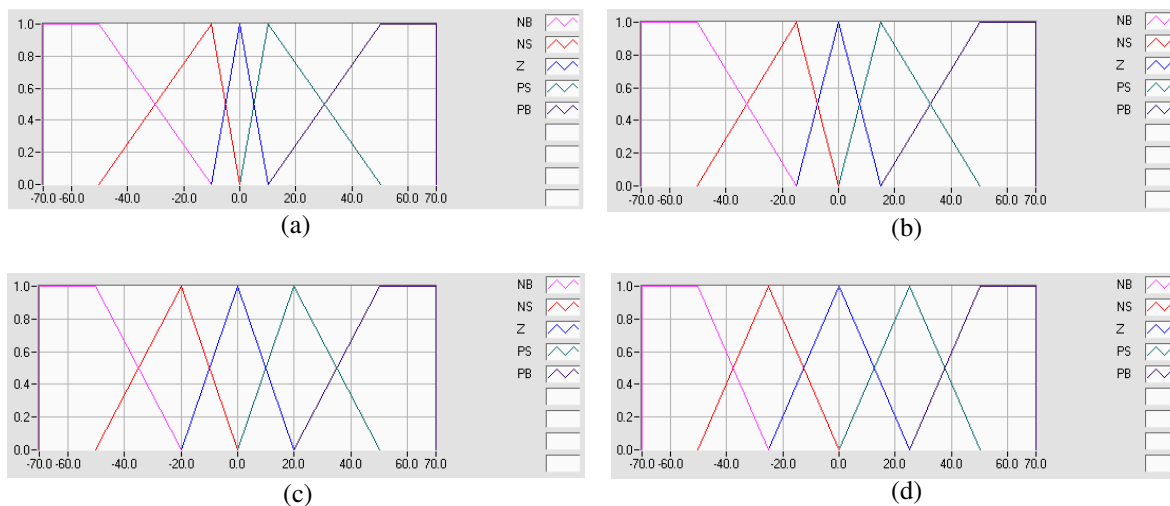
$$\text{Change of voltage} = u(n) - u(n-1) \quad (3)$$

Keterangan:

SP	=	Harga <i>Setting Point</i>
PV	=	Harga <i>Output</i> pada saat t
e(n)	=	Harga <i>error</i> pada saat t
e(n-1)	=	Harga <i>error</i> pada saat t-1
u(n)	=	Harga tegangan pada saat t
u(n-1)	=	Harga tegangan pada saat t-1

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

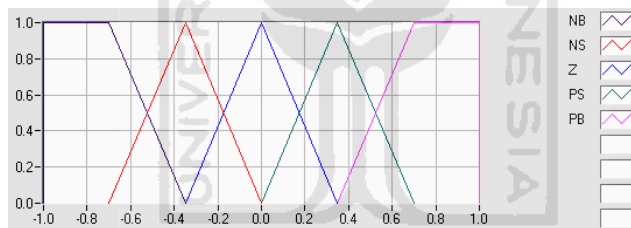
Jumlah fungsi keanggotaan yang digunakan untuk *input error* adalah lima buah yaitu dengan label NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*), dengan batasan [-70 70]. Pemilihan batasan ini didasarkan bahwa suhu yang akan dikendalikan maksimal 90 °C, sedangkan suhu air pada keadaan ruang adalah ±30 °C. Dengan demikian rentang [-70 70] sudah mewakili dari kondisi di lapangan. Bentuk fungsi keanggotaan yang digunakan yaitu trapesium dan segitiga, seperti ditunjukkan gambar 4. Beberapa variasi partisi fungsi keanggotaan *input error* akan diaplikasikan untuk mengetahui respon sistem yang paling baik. Hal ini dikarenakan penentuan fungsi keanggotaannya menggunakan pendekatan *trial-and-error*.



Gambar 4. Himpunan fuzzy *input1* (a) *error1*, (b) *error2*, (c) *error3*, (d) *error4*

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

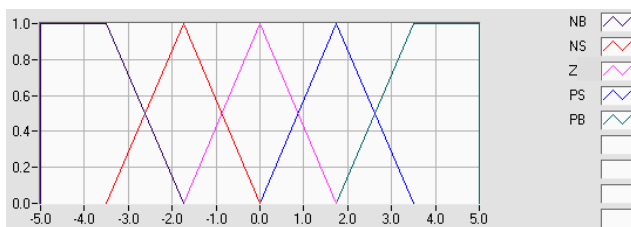
Untuk *crisp input change of error*, label yang digunakan sama dengan *crisp input error*, yaitu NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*). Pada pengujian sistem secara *open loop*, perubahan nilai suhu air pada setiap detiknya tidak lebih dari 1 °C. Didasarkan pada fakta tersebut maka *range* yang dipakai pada fungsi keanggotaan *input* untuk *change of error* adalah pada rentang [-1 1].



Gambar 5. 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 6. Himpunan fuzzy *output change of voltage*

### 3.2.1.2 Pembuatan *Rules*

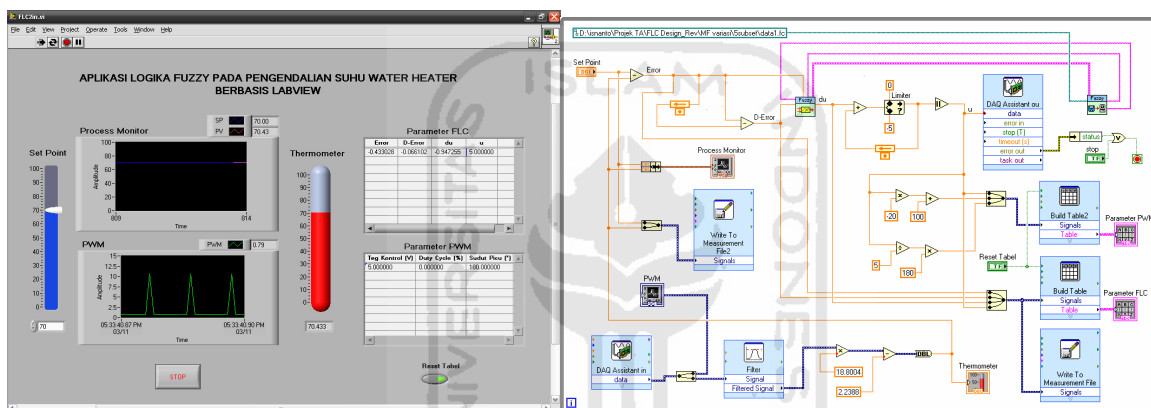
Setelah selesai membuat himpunan fuzzy untuk *input* dan *output*, langkah selanjutnya yaitu membuat aturan-aturan fuzzy (*rules*). Pada plant yang dirancang, digunakan satu buah *output* yaitu *change of voltage*. *Output*  $\Delta u$  menggunakan 25 buah *rules* seperti terlihat pada tabel 1, dengan memperhatikan input *error* dan *change of error*.

Tabel 1. Rules

		$\Delta e$				
		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

### 3.2.2 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.



Gambar 7. Front panel dan blok diagram pada LabVIEW

## 4. PENGUJIAN, ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian Sistem Kalang Terbuka (*Open Loop*)

Untuk mengetahui karakteristik *plant* suhu yang akan dikendalikan, maka dilakukan pengujian secara kalang terbuka. Hasil pengujian ini akan dijadikan sebagai acuan dalam penentuan *range* fungsi keanggotaan *change of error* ( $\Delta e$ ) pada pengendali logika fuzzy yang dibangun. Pengujian 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.

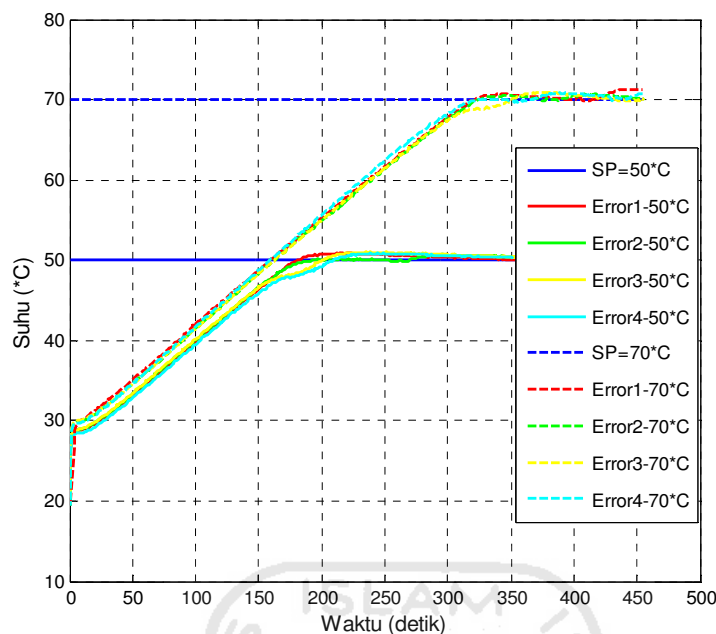
Pengujian kalang terbuka menunjukkan bahwa dengan tegangan kontrol 0 Volt dan dengan suhu awal sebesar 30,75 °C maka suhu air akan terus naik sampai lebih dari 80 °C, dengan kenaikan  $\pm 0,2$  °C setiap detiknya. Dengan mengacu pada hasil pengujian ini maka akan dibentuk FLC dengan fungsi keanggotaan  $\Delta e$  pada *range* -1 sampai 1 [-1 1].

### 4.2 Pengujian pada Variasi Fungsi Keanggotaan *Error*

Pengujian dengan beberapa variasi *range* fungsi keanggotaan *error* ini bertujuan untuk mendapatkan fungsi keanggotaan yang paling sesuai dengan karakteristik sistem. Hal ini dilakukan dengan cara mengubah-ubah *range* dari label Z (*Zero*) menjadi beberapa variasi data, sedangkan label yang lain tetap. Variasi *range* label Z yang digunakan yaitu:

1. *Error1*; *range* label Z = [-10 0 10]
2. *Error2*; *range* label Z = [-15 0 15]
3. *Error3*; *range* label Z = [-20 0 20]
4. *Error4*; *range* label Z = [-25 0 25]

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai referensi tertentu dan mendapatkan grafiknya. Pengujian dilakukan dengan memberikan suhu referensi sebesar 50 °C dan 70 °C untuk masing-masing kombinasi fungsi keanggotaan *error*. Respon diperlihatkan pada gambar 8.



Gambar 8. Respon sistem pada variasi *range* fungsi keanggotaan *error*

Tabel 2. Karakteristik respon sistem pada variasi *range* MF *error*

Suhu Referensi	Parameter	MF Input Error			
		Error1	Error2	Error3	Error4
50°C	Rise Time (s)	154.4066	152.0230	152.0960	158.7971
	Settling Time (s)	264.7270	307.0965	314.7432	296.0916
	Settling Min (°C)	46.9668	47.0340	47.0229	47.0237
	Settling Max (°C)	50.9226	50.6816	51.0247	50.8450
	Overshoot (%)	1.8453	1.3632	2.0495	1.6899
	Undershoot (%)	0	0	0	0
	Peak (°C)	50.9226	50.6816	51.0247	50.8450
	Peak Time (s)	222.0156	305.0625	251.0625	249.0156
70°C	Rise Time (s)	274.0252	278.3062	277.1727	272.6141
	Settling Time (s)	NaN	315.3387	333.6617	307.1194
	Settling Min (°C)	64.9991	65.1643	65.0532	65.1485
	Settling Max (°C)	71.3344	70.6856	70.9262	70.8591
	Overshoot (%)	1.9063	0.9794	1.3232	1.2273
	Undershoot (%)	0	0	0	0
	Peak (°C)	71.3344	70.6856	70.9262	70.8591
	Peak Time (s)	443.0781	410.0469	376.0156	389.0156

Secara umum perbandingan waktu naik (*rise time*), waktu penetapan (*settling time*) dan lonjakan maksimum (*overshoot*) 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 6,8 detik saja. Dimana waktu naik paling cepat dicapai pada FLC dengan MF *error2*, yaitu selama 152 detik dan waktu naik paling lambat dihasilkan oleh respon FLC dengan MF *error4* sebesar 158,8 detik. Hanya saja pada referensi 70 °C, waktu naik pada MF *error2* tercatat paling besar di antara MF lainnya yaitu selama 278 detik, walaupun perbedaannya juga tidak terlalu

signifikan. Pada pengujian dengan referensi suhu 70°C ini, waktu naik paling cepat dicapai oleh FLC dengan MF *error4* yaitu selama 272,6 detik.

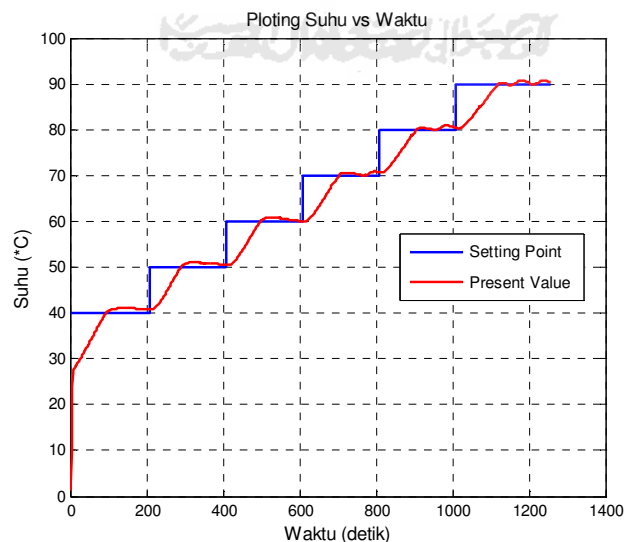
Jika ditinjau dari waktu penetapannya, MF *error1* mempunyai waktu penetapan paling cepat yaitu 264,7 detik pada referensi suhu 50 °C, tetapi pada referensi suhu 70 °C, waktu penetapannya malah tidak terdeteksi (NaN). Hal ini dikarenakan respon sistem yang dicapai mengalami osilasi cukup besar pada kondisi tunaknya. Analisis dari kondisi ini adalah adanya *range* yang terlalu dekat pada MF input *error1* sehingga proses pergeseran aturan-aturannya menjadi sangat fluktuatif. Akibatnya *output* FLC mengalami perubahan yang cukup besar sehingga sistem menjadi kurang stabil. Sedangkan waktu penetapan sistem pada MF *error* lainnya relatif hampir sama, walaupun saat referensi 50 °C, waktu penetapan pada MF *error3* cukup lama yaitu 314 detik dibanding dengan yang lainnya. Pada referensi 50 °C ini, waktu penetapan paling cepat dicapai oleh MF *error4* selama 296 detik. Lebih cepat sekitar 11 detik dibanding waktu penetapan dengan menggunakan FLC MF *error2*. Pada referensi suhu 70 °C, waktu penetapannya juga tidak terlalu menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Pada pengujian referensi 70 °C ini, waktu penetapan MF *error2* dan *error4* hanya berselisih 8 detik saja.

Pada pengujian dengan referensi suhu 50 °C, *overshoot* paling kecil dicapai oleh MF *error2* yaitu sebesar 1,36 % pada suhu 50,68 °C, sedangkan *overshoot* paling besar dicapai oleh MF *error3* sebesar 2 % pada suhu 51 °C. Selanjutnya pada referensi 70 °C, *overshoot* paling kecil juga dicapai oleh MF *error2* yaitu sebesar 0,98 % (70,68 °C) dan yang paling besar 1,9 % (71,33 °C) yang dihasilkan oleh MF *error1*. Dapat dikatakan MF *error2* mempunyai *steady state error* yang paling kecil. Berdasarkan data dan fakta di atas dapat disimpulkan jika dilihat dari nilai *overshoot* yang dicapai oleh keempat varian MF *error* tersebut, maka MF *error2* menunjukkan respon yang paling baik.

Berdasarkan analisis pada parameter-parameter waktu naik (*rise time*), waktu penetapan (*settling time*) dan lonjakan maksimum (*overshoot*) pada keempat buah varian MF *error* yang telah dilakukan sebelumnya, dapat diambil kesimpulan bahwa FLC dengan MF *error2* mempunyai respon yang paling baik di antara kandidat MF *error* lainnya. Dengan demikian penulis memutuskan menggunakan MF *error2* sebagai MF *error* yang akan digunakan dalam pengujian selanjutnya.

### 4.3.3 Pengujian pada Suhu Referensi Naik

Pengujian pada suhu referensi naik ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan respon sistem pengendali logika fuzzy terhadap perubahan kenaikan 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 masukan (referensi) sebesar 40 °C, 50 °C, 60°C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C.



Gambar 9. Grafik respon sistem pada suhu referensi naik

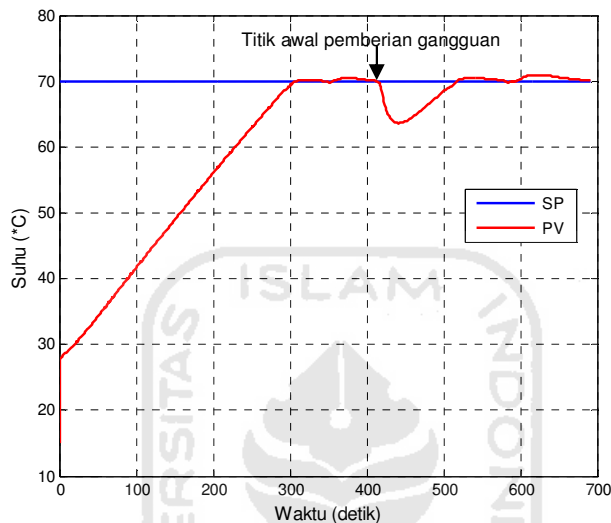
Suhu awal *plant* adalah 28 °C, implementasinya dapat dilihat pada gambar 9. Mula-mula suhu referensi sebesar 40 °C, setelah 89 detik suhu *plant* mencapai 40 °C dan terus berosilasi di sekitar nilai referensinya. Perubahan nilai suhu referensi dilakukan tiap 200 detik yaitu saat suhu *plant* berada pada keadaan tunak atau stabil. Berdasarkan grafik pada gambar 9 terlihat suhu air pada *plant* dapat merespon perubahan referensi yang diberikan dengan bergerak mengikuti perubahan suhu referensinya. Dari pengujian ini dapat



disimpulkan FLC yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan dapat beroperasi pada daerah yang luas.

#### 4.3.4 Pengujian dengan Pemberian Gangguan

Untuk mengetahui daya tahan sistem terhadap gangguan, maka dilakukan pengujian dengan memberikan gangguan berupa penambahan air dingin pada sistem yang telah mencapai kestabilan untuk suatu *setting value*. Pada pengujian ini gangguan yang diberikan dengan cara memasukkan 150 mL air bersuhu 27 °C 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.

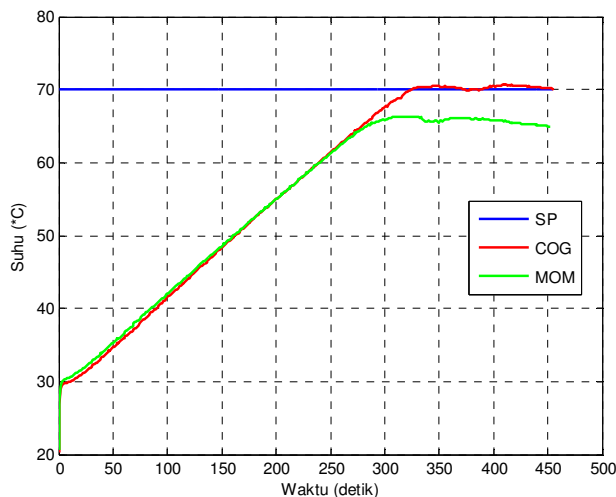


Gambar 10. Respon *plant* dengan gangguan

Pada pengujian ini mula-mula ditetapkan suhu referensi sebesar 70 °C. Suhu awal air adalah 27,77 °C. Setelah 309 detik suhu air akan mencapai 70 °C dan beresilasi pada keadaan tersebut. Setelah 410 detik dari suhu awal dan ketika suhu air telah stabil, air dingin dimasukkan dalam *plant*, selanjutnya diketahui suhu air dalam *plant* turun sampai 63,63 °C pada detik ke-441, kemudian berangsur-angsur kembali ke referensi semula dalam waktu 76 detik dan kemudian beresilasi di sekitar suhu referensinya.

#### 4.3.5 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.



Gambar 11. Respon sistem dengan metode defuzzifikasi MOM

## 5. KESIMPULAN

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

1. Berdasarkan pengujian kalang terbuka (*open loop*) didapatkan kenaikan suhu air sebesar  $\pm 0,2$  °C per detik.
2. Penentuan *range* pada nilai linguistik yang terlalu sempit membuat sistem akan mempunyai *rise time* yang cepat, tetapi akan mengakibatkan sistem terlalu sensitif sehingga sistem akan terus-menerus berosilasi.
3. Pada pengujian dengan suhu referensi 70 °C dan suhu awal 29 °C, didapatkan *rise time* sebesar 278 detik, *settling time* 315 detik dan *overshoot* sebesar 0,98 %.
4. Berdasarkan pengujian pada suhu referensi naik, pengendali logika *fuzzy* yang dirancang mempunyai respon yang cukup cepat dan mampu beroperasi pada daerah yang luas (40 °C – 90 °C).
5. Dari hasil pengujian tampak pengendali logika *fuzzy* yang dirancang mampu mengeliminir gangguan dari luar.
6. Metode defuzzifikasi *Center of Gravity* (COG) atau *Center of Area* (COA) menghasilkan respon kendali yang lebih baik dibanding dengan metode *Mean of Maxima* (MOM).

### 5.2 Saran

Berikut saran-saran yang dapat penulis rekomendasikan:

1. Agar kenaikan panasnya semakin cepat maka dapat dilakukan dengan cara memperbesar daya pemanas atau menambah jumlah pemanas yang digunakan.

## 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
- Andika, Roni., 2010. *Perancangan Pengendali PID Digital pada Heater*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
- Kovacic, Zdenko, & Bogdan, Stjepan, 2006. *Fuzzy Controller Design: Theory and Applications*. New York: Taylor & Francis Group
- Kusumadewi, Sri, & Purnomo, Hari, 2004. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- Lee, C. C., 1990. IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics: *Fuzzy Logic in Control Systems (Fuzzy Logic Controller-Part I)*, 20, 404-418
- National Instruments, 2006. *NI USB-6009 manual*  
<http://public.beuth-hochschule.de/~suchanek/EMSL/usb6009.pdf>
- National Instruments, 2009. *LabVIEW: PID and Fuzzy Logic Toolkit UserManual*. <http://www.ni.com>
- National Semiconductor, 2000. *LM35 Precision Centigrade TemperatureSensors*. National Semiconductor Corporation. USA
- Ponce, Pedro, & Ramirez, David, 2010. *Intelligent Control System with LabVIEW*. London: Springer
- Rashid, M. H., 1993. *Elektronika Daya: Rangkaian, Devais dan Aplikasinya (Jilid1)*. Jakarta: Prehallindo
- Wibisono, Raditya D. G., 2010. *Perancangan Pengendali Fuzzy untuk Optimasi Panel Surya*. Tugas Akhir, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia
- \_\_\_\_\_, TCA 785, Siemens Semiconductor Group. Available at  
[http://www.datasheetcatalog.com/datasheet\\_pdf/T/C/A/TCA%20785.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheet_pdf/T/C/A/TCA%20785.shtml)