

**SIMULASI PENGENDALIAN LAJU KELUARAN SISTEM TANGKI AIR
MENGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat

Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

Konsentrasi Kendali Jurusan Teknik Elektro



Oleh

Nama : Anggun Wibawa

No Mahasiswa : 05 524 013

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

2011

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**SIMULASI PENGENDALIAN LAJU KELUARAN SISTEM TANGKI AIR
MENGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL**

TUGAS AKHIR



Telah Diterima dan Disetujui dengan baik oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

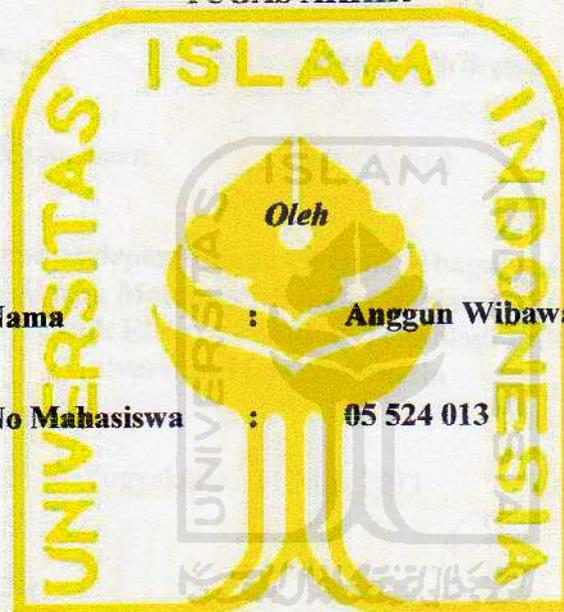
(Tito Yuwono, ST, M.Sc)

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

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**SIMULASI PENGENDALIAN LAJU KELUARAN SISTEM TANGKI AIR
MENGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL**

TUGAS AKHIR



Nama : Anggun Wibawa

No Mahasiswa : 05 524 013

Yogyakarta, 30 Maret 2011

Telah Diterima dan Disetujui dengan baik oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

(Tito Yuwono, ST, M.Sc)

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

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**SIMULASI PENGENDALIAN LAJU KELUARAN SISTEM TANGKI AIR
MENGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL**

TUGAS AKHIR

Oleh
Nama : Anggun Wibawa
No Mahasiswa : 05 524 013

**Telah Dipertahankan Didepan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, 11 Mei 2011

Tim Penguji

Tito Yuwono, ST, M.Sc

Ketua

Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng

Anggota I

Dr.Eng.Hendra Setiawan, ST, M.T

Anggota II

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia

(Tito Yuwono, S.T.,M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**SIMULASI PENGENDALIAN LAJU KELUARAN SISTEM TANGKI AIR
MENGUNAKAN FUZZY LOGIC CONTROL**

TUGAS AKHIR

Nama : Anggun Wibawa

No Mahasiswa : 05 524 013

**Telah Dipertahankan Didepan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**

Yogyakarta, 11 Mei 2011

Tim Penguji

**Tito Yuwono, ST, M.Sc
Ketua**

**Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng
Anggota I**

**Dr.Eng.Hendra Setiawan, ST, MT
Anggota II**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro
Universitas Islam Indonesia



(Tito Yuwono, S.T.,M.Sc.)

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN HASIL TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini,

Nama : Anggun Wibawa

NIM : 05524013

Menyatakan bahwa seluruh komponen dan isi dalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, maka saya siap menanggung resiko dan konsekuensi apapun.

Demikian pernyataan ini saya buat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 11 Mei 2011

Anggun Wibawa

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini kupersembahkan untuk :

Ayah dan Ibunda tercinta

(Suyanto dan Nuraini)

Kepada seluruh jajaran keluarga besarku

Terima kasih atas semua doa dan kasih sayangnya

Adik tercinta (Antik dan Alus)

Tak lupa juga kepada someone special

Terima kasih atas dorongan dan motivasinya!!!

Guru dan dosenku

Semua yang ada padaku sekarang karena pengabdian kalian

Semua sahabat dan teman-temanku

Kalian sebagai motivasiku

Teman-teman elektro seluruh angkatan

Tingkatkan semangat kebersamaan untuk meraih cita-cita bersama

MOTTO

***“DAN BERSAMA KESUKARAN PASTI ADA KEMUDAHAN. KARENA ITU
BILA SELESAI SUATU TUGAS, MULAILAH TUGAS YANG LAIN
DENGAN SUNGGUH-SUNGGUH. HANYA KEPADA TUHANMU
HENDAKNYA KAU BERHARAP”***

(QS. ASY-SYARH 6 – 8)

***“ORANG BIJAK ADALAH DIA YANG HARI INI MENGERJAKAN APA
YANG ORANG BODOH AKAN MENGERJAKANNYA TIGA HARI
KEMUDIAN”***

(ABDULLAH IBNU MUBARAK)

***“BERSYUKURLAH DENGAN APA YANG ADA DAN BERSABARLAH
DENGAN APA YANG TIADA”***

(AWI)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayahnya. Sholawat dan salam kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW beserta keluarga dan para sahabat, serta orang-orang yang bertaqwa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Simulasi Pengendalian Laju Keluaran Sistem Tangki Air Menggunakan Fuzzy Logic Control”**

Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro pada Universitas Islam Indonesia. Dan juga sebagai sarana untuk mempraktekkan secara langsung ilmu dan teori yang telah diperoleh selama menjalani masa studi di Jurusan Teknik Elektro FTI UII.

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya atas bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak yang ikut serta demi kelancaran pelaksanaan Tugas Akhir kepada :

1. Bapak Fathul Wahid ST, MSc selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Tito Yuwono, ST, M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, serta masukan selama pelaksanaan tugas akhir dan penulisan laporan sekaligus sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia.

3. Ibu Dwi Ana Ratna Wati, ST, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan, bimbingan, serta masukan selama pelaksanaan tugas akhir dan penulisan laporan.
4. Ayahanda dan ibunda, terima kasih atas doa dan dukungannya.
5. Keluarga besar ku adik-adiku Antik dan Alus serta Cek dien terima kasih atas doa dan dukungannya selama ini
6. Seluruh teman-teman yang telah banyak membantu terima kasih untuk bantuan dan masukannya.
7. Teman - teman elektro semua angkatan yang selama ini telah memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
8. Untuk Mas Alvin Sahroni, S.T.
9. Terima kasih Untuk my someone special.
10. Kepada teman-teman pondok ijo dan pasukan firdaus thanks doa dan dukungan kalian.
11. Untuk semua para sahabat terbaikkku yang ada dimana aja terima kasih atas masukan dan kritiknya selama ini.
12. Terima kasih pada semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya penulisan laporan tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekeliruan dan kekurangan. Untuk itu penulis menyampaikan

permohonan maaf sebelumnya serta sangat diharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk penyempurnaan di masa mendatang.

Akhir kata semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pembaca.

Wassalamu 'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta , 11 Mei 2011



Hormat Saya

Anggun Wibawa

ABSTRAKSI

Tugas akhir ini mengoptimalkan kinerja FLC (*Fuzzy Logic Control*). FLC (*Fuzzy Logic Control*) diterapkan pada sistem pengendalian laju keluaran air pada tangki. Percobaan ini diselesaikan dengan menggunakan simulasi MATLAB. Pada FLC terdapat 2 masukan (nilai *error* dan *perubahan error*) dan satu keluaran (perubahan laju aliran air yang masuk ke tangki). Variabel masukan dan keluaran menggunakan fungsi keanggotaan segitiga. Aturan yang digunakan sebanyak 25 aturan yang disusun berdasarkan *step respon* sistem. Dengan membandingkan perubahan beberapa aturan sebelum dan sesudah diubah maka dapat dibuktikan bahwa penggunaan FLC (*Fuzzy Logic Control*) mempunyai unjuk kerja sistem yang lebih baik daripada sistem kontrol manual. Sistem ini juga diberi gangguan berupa adanya kebocoran dan sumbatan pada pipa keluaran setelah disimulasikan menggunakan aturan *fuzzy* ternyata sistem dapat bekerja dengan baik sehingga dapat meminimalisir adanya gangguan.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
ABSTRAKSI	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Definisi Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II STUDI PUSTAKA.....	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Logika <i>Fuzzy</i>	7
2.3 Sistem Kendali Logika <i>Fuzzy</i>	10
2.3.1 Ruang <i>Input-Output</i>	11

2.3.2	<i>Fuzzifier</i>	11
2.3.3	<i>Fuzzy Rule Base</i>	12
2.3.4	<i>Inference Engine</i>	13
2.3.5	<i>Defuzzifier</i>	14
BAB III METODOLOGI.....		15
3.1	Pemodelan Matematis Sistem Tangki Air	16
3.2	Simulasi Sistem dengan MATLAB	19
3.2.1	Perancangan Simulasi Sistem dengan MATLAB <i>Simulink</i>	19
3.2.2	Perancangan <i>Fuzzy Logic Controller</i> (FLC).....	20
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN SISTEM.....		27
4.1	Pengambilan Data	27
4.2	Simulasi Sistem Tangki Air dengan Kendali <i>Fuzzy</i>	30
4.2.1	Simulasi Menggunakan Aturan <i>Fuzzy</i> Tipe I.....	32
4.2.2	Simulasi Menggunakan Aturan <i>Fuzzy</i> Tipe II.....	35
4.3	Simulasi Sistem Kendali <i>Fuzzy</i> Terhadap Gangguan Kebocoran	40
4.4	Simulasi Sistem Kendali <i>Fuzzy</i> Terhadap Gangguan Sumbatan	43
4.5	Simulasi Sistem Kendali <i>Fuzzy</i> Dengan <i>Random Number</i> Dan <i>Noise</i>	46
BAB V PENUTUP		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran.....	50

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Daftar aturan kendali <i>fuzzy</i>	24
Tabel 4.1 Daftar aturan kendali <i>fuzzy</i> tipe I	32
Tabel 4.2 Karakteristik respon FLC tipe I	33
Tabel 4.3 Daftar aturan kendali <i>fuzzy</i> tipe II	35
Tabel 4.4 Karakteristik respon FLC tipe II	36
Tabel 4.5 Perbandingan karakteristik respon sistem	39
Tabel 4.6 Karakteristik respon terhadap gangguan kebocoran	42
Tabel 4.7 Karakteristik respon terhadap gangguan sumbatan.....	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fungsi karakteristik himpunan klasik A dan himpunan <i>fuzzy</i> \tilde{A}	9
Gambar 2.2 Struktur sistem kendali logika <i>fuzzy</i>	10
Gambar 2.3 Proses Fuzzifikasi	12
Gambar 3.1 Diagram blok pengendali laju keluaran air	16
Gambar 3.2 Pemodelan tangki air	16
Gambar 3.3 Rangkaian simulasi tangki air	20
Gambar 3.4 Variabel masukan dan keluaran.....	21
Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan bentuk segitiga.....	22
Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan <i>error</i>	23
Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan perubahan <i>error</i>	23
Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan keluaran kendali <i>fuzzy</i>	23
Gambar 4.1 Rangkaian simulasi sistem pada <i>simulink</i>	28
Gambar 4.2 Grafik tanggapan sistem.....	28
Gambar 4.3 Grafik <i>error</i> sistem	29
Gambar 4.4 Grafik perubahan <i>error</i> sistem	30
Gambar 4.5 Rangkaian simulasi sistem kendali <i>fuzzy</i> dengan <i>input step</i>	31
Gambar 4.6 Rangkaian simulasi sistem kendali <i>fuzzy</i> dengan <i>input pulse</i>	31
Gambar 4.7 Grafik <i>step</i> respon aturan tipe I	32
Gambar 4.8 Grafik sistem <i>pulse</i> aturan tipe I.....	34
Gambar 4.9 Grafik <i>step</i> respon aturan tipe II.....	36
Gambar 4.10 Grafik sistem <i>pulse</i> aturan tipe II	38
Gambar 4.11 Grafik sistem respon FLC tipe I dan II	39
Gambar 4.12 Simulasi dengan gangguan kebocoran pada pipa keluaran.....	41

Gambar 4.13 Grafik sistem respon terhadap gangguan kebocoran.	41
Gambar 4.14 Simulasi dengan gangguan sumbatan pada pipa keluaran	43
Gambar 4.15 Grafik sistem respon terhadap gangguan sumbatan setpoint 0.05...	44
Gambar 4.16 Grafik sistem respon terhadap gangguan sumbatan setpoint 0.04...	45
Gambar 4.17 Rangkaian simulasi sistem dengan <i>random</i> dan blok <i>noise</i>	46
Gambar 4.18 Grafik sistem respon dengan <i>random number</i> dan blok <i>noise</i>	47



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi telah merambah segala bidang, termasuk teknologi elektro yang berkenaan dengan automasi industri atau dalam hal pengendalian sistem. Dalam proses industri, sistem-sistem yang dikendalikan saling berhubungan antara satu dengan yang lainnya. Perubahan atau kesalahan yang terjadi pada suatu sistem akan mempengaruhi pada keseluruhan proses. Untuk itu diperlukan pengendali dengan keandalan yang tinggi.

Dalam dunia industri, komputer dapat melakukan sebuah proses pemodelan terhadap sistem nyata / sebenarnya. Pemodelan adalah suatu bentuk tiruan, rekayasa dari sistem nyata yang dibuat dalam sebuah komputer dengan sebuah program. Hal ini merupakan tahapan sebelum pelaksanaan pengendalian pada sistem nyata.

Pada makalah ini akan dibahas sistem kontrol dengan menggunakan logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output*. Antara *input* dan *output* terdapat suatu relasi yang dapat menghubungkan keduanya untuk saling bekerja menghasilkan suatu keputusan.

Salah satu cara untuk mengendalikan adalah menggunakan sistem kendali logika *fuzzy* atau *FLC* (*Fuzzy Logic Control*) Sistem kendali logika *fuzzy* adalah sebuah sistem yang mengendalikan *plant* atau proses agar bekerja sesuai dengan yang diinginkan atau juga yang berbasiskan suatu pengetahuan fenomena-

fenomena pada proses untuk menentukan suatu aksi kontrol yang sesuai dengan hubungan jika-maka (*if-then*). Logika *fuzzy* meniru aksi operator dalam merespon perubahan yang terjadi pada variabel proses. Sistem kontrol logika *fuzzy* telah sukses diaplikasikan di berbagai sistem kontrol di industri.

Pengendalian laju keluaran air adalah salah satu sistem di dunia industri yang menggunakan sistem kontrol logika *fuzzy*. Disamping sederhana, sistem tersebut banyak digunakan dalam dunia industri. Contohnya seperti tangki – tangki minyak dan tangki – tangki air pada beberapa perusahaan. Pengendalian laju keluaran air sangat membantu sehingga dapat menentukan jumlah keluaran air yang diinginkan sehingga dapat meminimalisir terjadinya kesalahan dan untuk membuktikan bahwa pengendali logika *fuzzy* memiliki ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan kendali konvensional maka akan dilakukan simulasi pada MATLAB.

1.2 Definisi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan diatas, maka dapat diambil suatu rumusan masalah sebagai berikut: “Bagaimana mengendalikan laju keluaran sistem tangki air dengan *Fuzzy Logic Control*”.

1.3 Batasan Masalah

Masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah simulasi pengendalian laju keluaran sistem tangki air dengan *Fuzzy Logic Control* pada program komputer.

Adapun aspek-aspek yang akan dibahas pada tugas akhir ini dibatasi pada ;

1. Perancangan plant dan pengambilan data.
2. Hasil perancangan diwujudkan dalam bentuk simulasi pada program komputer dengan menggunakan program MATLAB.
3. Perancangan *FLC (Fuzzy Logic Control)*.
4. Simulasi Implementasi *FLC (Fuzzy Logic Control)* Sebagai Pengendali plant.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari perancangan sistem ini adalah :

1. Merancang model sistem tangki air untuk pengendalian laju keluaran.
2. Membuat aturan atau *rules* untuk model sistem tangki.
3. Mengendalikan sistem tangki air menggunakan *FLC (fuzzy logic control)* dengan MATLAB.
4. Dapat memahami dengan jelas dan benar tentang konsep logika fuzzy yang digunakan sebagai media kontrol dalam suatu aplikasi kendali.
5. Memperoleh nilai *error* yang kecil dari sistem.
6. Membuktikan bahwa pengendalian laju keluaran dengan menggunakan *FLC (Fuzzy Logic Control)* lebih memiliki ketelitian yang tinggi dan mendapat unjuk kerja sistem yang lebih baik dibandingkan pengendali konvensional.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai model alternatif untuk mengendalikan sebuah sistem.
2. Dapat digunakan sebagai acuan sebelum membuat model pada sistem nyata.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab bagian isi laporan, dengan penjelasan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pengantar permasalahan yang dibahas seperti latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II : STUDI PUSTAKA

Merupakan penjelasan secara terperinci mengenai teori-teori yang digunakan sebagai landasan untuk pemecahan masalah. Memberikan garis besar metode yang digunakan oleh peneliti sebagai kerangka pemecahan masalah.

BAB IV : PERANCANGAN SISTEM

Bagian ini menjelaskan metode-metode perancangan alat dan sistem, cara mengimplementasikan rancangan dan pengujian sistem yang telah dibuat serta batasan dan hambatan yang ditemui selama proses perancangan dan implementasi sistem.

BAB IV : ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil pengujian dan analisis dari system yang dibuat dibandingkan dengan dasar teori sistem atau sistem yang lain yang dapat dijadikan sebagai pembandingan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini merupakan bab terakhir yang berisikan kesimpulan dan saran-saran yang diperoleh dari perancangan, implementasi sistem, juga keterbatasan-keterbatasan yang ditemukan dan asumsi-asumsi yang dibuat selama tugas akhir.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tugas akhir ini memiliki kemiripan dengan penelitian atau tugas akhir sebelumnya, yaitu tugas akhir dengan judul "Simulasi Kendali Sistem Tangki Air Menggunakan Pengendali PID dan *Fuzzy*", yang dikerjakan oleh Alim Kurnafian, Fahmi 2008. Terdapat dua macam *plant* tangki yang diuji, *plant* tangki pertama berupa fungsi alih yang didapat dari hasil perhitungan, *plant* tangki kedua merupakan adaptasi dari pemodelan matematis pada tangki. Metode untuk mengendalikan ketinggian level air adalah menggunakan pengendali *fuzzy* yang dikombinasikan dengan pengendali PID.

Penelitian tentang pengendalian level air juga dilakukan oleh Hendrawan, Nur, 2002. Penelitian ini menggunakan algoritma ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) sebagai pengendali level air. Sistem digunakan untuk mengendalikan level air dengan tinggi 0 sampai 50 cm dan ukuran alas 50 cm x 60 cm. Penelitian ini menghasilkan *average testing error* 0.027496 dan waktu puncak 22.9526 detik.

Hendra, Jhon, 2006. Penelitian tentang pengendali level air. Sebagai pengendali digunakan simulasi jaringan syaraf tiruan berbasis metode *Backpropagation*. Jaringan syaraf tiruan disimulasikan pada *neural network toolbox* pada MATLAB 6.5.. Penelitian ini menghasilkan *Mean Square Error* (MSE) 0.00077. Presentasi MSE pengujian 0.0604%.

Penelitian level air kembali dilakukan oleh Oktori Nugraha, Adhitya, 2010. Yaitu tugas akhir dengan judul "Simulasi Pengendali Level Air Menggunakan Sistem *Automasi Fuzzy* dengan Algoritma *Recursive Least Square*", Metode untuk mengendalikan ketinggian level air adalah menggunakan pengendali *fuzzy*. Terdapat tiga tipe penggunaan aturan *fuzzy* yang diuji pada sistem. Simulasi ini juga menggunakan sistem otomatisasi *fuzzy* metode *Recursive Least Square* dan menghasilkan sistem kendali yang cukup baik.

Penelitian tugas akhir yang dibahas disini berbeda dengan yang dilakukan sebelumnya penelitiannya adalah pengendalian laju keluaran pada sistem tangki air. Penelitian laju keluaran yang akan dilakukan menggunakan *fuzzy logic control*.

2.2 Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan Amerika, Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 saat ia mempublikasikan papernya berjudul "*Fuzzy Sets*". Zadeh menunjukkan bahwa logika *fuzzy* adalah dasar bagi logika lainnya. Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output*, dengan prinsip logika *fuzzy* mencoba menjawab keterbatasan yang dimiliki oleh struktur logika *biner boolean* yang hanya memiliki dua kondisi pernyataan yaitu benar (*true*) dan salah (*false*).

Himpunan *fuzzy* mempunyai batas yang bisa berpindah, artinya elemen himpunan *fuzzy* tidak hanya merepresentasikan "hitam" dan "putih", namun juga warna *gray* diantara kedua warna tersebut, atau dengan warna lain bahwa logika

fuzzy mencoba untuk menjembatani kondisi yang tidak hanya bisa diselesaikan dengan pernyataan ya atau tidak dan logika *fuzzy* juga mendeskripsikan kondisi-kondisi pertengahan, kondisi diantara situasi ya dan tidak ke dalam formulasi matematis.

Himpunan *fuzzy* berbeda dengan himpunan tegas (*crisp*), yang mana himpunan *crisp* nilai keanggotaan dalam suatu himpunannya hanya memiliki 2 kemungkinan, yaitu 0 atau 1. Apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu_A[x]=0$ maka x tidak menjadi anggota himpunan A , demikian pula apabila x memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* $\mu_A[x]=1$ berarti x menjadi anggota penuh himpunan A .

Himpunan *fuzzy* dan himpunan *crisp* berbeda karena satu nilai pernyataan dalam himpunan *fuzzy* bisa berada pada dua kondisi berbeda. Himpunan *fuzzy*, di sisi lain memperkenalkan *vagueness* (ketidaktepatan / samar) dengan mengeliminasi batas yang tajam yang memisahkan anggota dan bukan anggota pada himpunan klasik. Jadi, transisi antara anggota penuh dan bukan anggota bersifat *gradual* dan bukan tajam. Sehingga himpunan *fuzzy* dapat dilihat sebagai ekstensi dan generalisasi konsep dasar himpunan klasik, meskipun beberapa teori bersifat unik dan hanya berlaku pada himpunan *fuzzy* saja.

Perbedaan himpunan klasik dan himpunan *fuzzy* dapat diuraikan dengan jelas pada permasalahan berikut. Misalkan U adalah garis riil R dan himpunan klasik A mewakili “bilangan riil lebih besar atau sama dengan 5” maka diperoleh :

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

yang mana fungsi karakteristiknya adalah :

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 1, & x \geq 5 \\ 0, & x < 5 \end{cases} \quad (2.2)$$

yang ditunjukkan oleh gambar 2.1 (a).

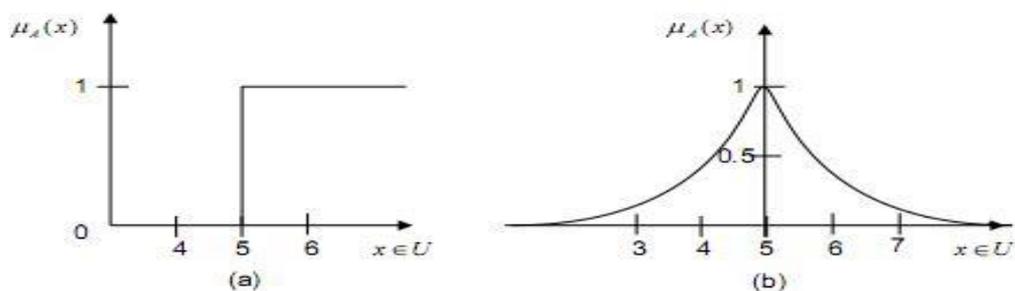
Missalkan himpunan *fuzzy* \tilde{A} mewakili “bilangan riil yang mendekati 5” maka diperoleh

$$\tilde{A} = \left\{ \left(x, \mu_{\tilde{A}}(x) \right) \mid x \in U \right\} \quad (2.3)$$

yang mana fungsi karakteristiknya adalah :

$$\mu_{\tilde{A}}[x] = \frac{1}{1 + 10(x - 5)^2} \quad (2.4)$$

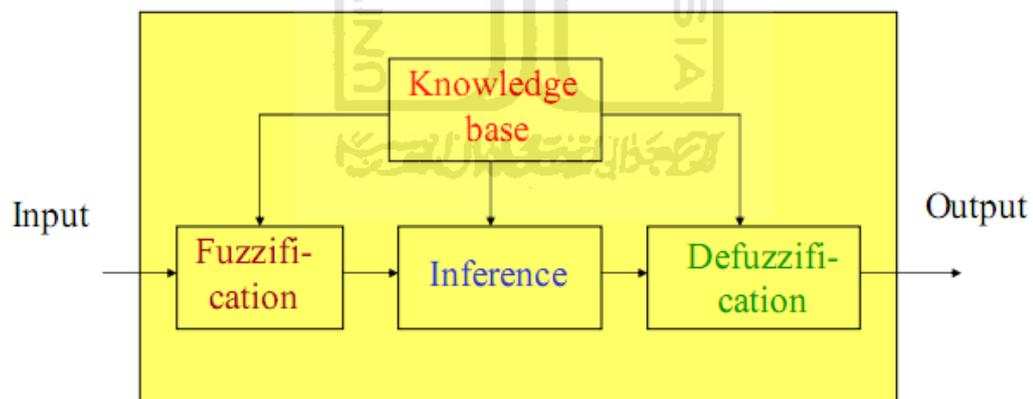
yang ditunjukkan oleh gambar 2.1 (b).



Gambar 2.1 Fungsi karakteristik himpunan klasik A dan himpunan *fuzzy* \tilde{A}

2.3 Sistem Kendali Logika *Fuzzy*

Selama beberapa dekade yang lalu FLC (*Fuzzy Logic Control*), yang pertama kali diperkenalkan oleh Mamdani dan Assilian [1975], telah berkembang menjadi bidang penelitian yang aktif dan menjanjikan sebagai aplikasi teori himpunan *fuzzy*, logika *fuzzy* dan *fuzzy reasoning*. Aplikasi tersebut tersebar mulai dari kendali proses industri sampai dengan diagnose medis dan *securities trading*. Berbeda dengan sistem kendali konvensional, FLC lebih tepat digunakan pada sistem yang sulit didefinisikan (*ill-defined*), yang dapat dikendalikan dengan operator manusia dengan tanpa mempengaruhi sifat dinamis dalam sistem tersebut. Struktur dan operasi sistem kendali logika *fuzzy* diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Struktur Sistem Kendali Logika *Fuzzy*

Pada dasarnya FLC (*Fuzzy Logic Control*) terdiri dari atas empat bagian utama yaitu *fuzzifier*, *fuzzy rule base*, *inference engine* dan *defuzzifier*.

2.3.1 Ruang *Input* dan *Output*

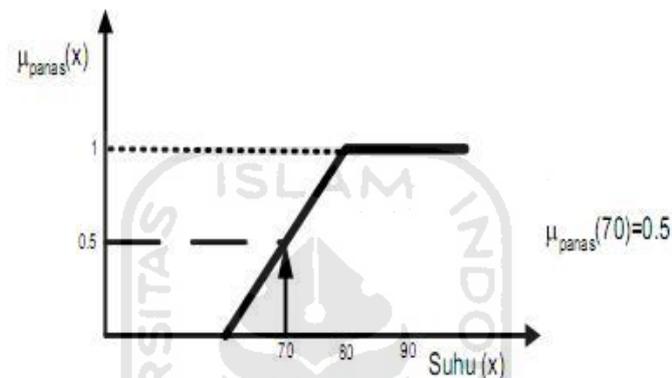
Tujuan dari sistem pengendali *fuzzy* adalah untuk menghitung variabel kendali atau aksi dari variabel keadaan hasil observasi atau pengukuran proses yang dikendalikan sedemikian sehingga diperoleh *performance* (hasil) yang diinginkan. Sehingga pemilihan secara tepat dari variabel keadaan dan juga variabel kendali sangat penting dalam menentukan karakteristik operasi *FLC* (*Fuzzy Logic Control*) dan mempunyai pengaruh yang esensial terhadap unjuk kerja *FLC*. Pengalaman pakar dan pengetahuan teknisi memegang peranan penting dalam proses seleksi variabel keadaan dan variabel kendali. Pada umumnya masukan *FLC* merupakan keadaan (*state*), *error* keadaan (*error state*), turunan *error* keadaan (*state error derivative*), integral *error* keadaan (*state error integral*), dan lain sebagainya.

2.3.2 *Fuzzifier*

Fuzzifikasi (*fuzzifier*) berfungsi untuk mentransformasikan atau mengubah variabel masukan berupa sinyal masukan (*input*) yang bersifat bukan *fuzzy* atau disebut juga variabel *numerik* untuk dikonversi atau diubah menjadi variabel *fuzzy* atau variabel *linguistik*, dengan menggunakan operator fuzzifikasi (*fuzzifier*). Dengan kata lain fuzzifikasi merupakan pemetaan dari ruang masukan ke himpunan *fuzzy* yang didefinisikan pada semesta pembicaraan variabel masukan.

Proses fuzzifikasi dapat diilustrasikan dengan contoh berikut :
Misalkan plant yang direncanakan berupa sistem pemanas air sehingga

variabel masukan ke FLC yaitu x merupakan suhu terukur. Suhu x yang berupa variabel *numerik* mempunyai interval nilai 15^0 hingga 100^0 . Variabel suhu dinyatakan sebagai variabel *linguistik* dengan nilai lima *linguistik* yaitu dingin, agak dingin, sedang, agak panas, dan panas. Misalkan sensor suhu menghasilkan pembacaan data 70^0 , maka proses fuzzifikasi nilai *numerik* suhu 70^0 pada nilai linguistik panas dapat diilustrasikan pada gambar berikut :



Gambar 2.3 Proses Fuzzifikasi

2.3.3 Fuzzy Rule Base

Fuzzy rule base berisi kumpulan pengetahuan *empiris* yang dimiliki seorang operator pakar tentang proses operasi suatu sistem. Aturan kendali *fuzzy* dinyatakan dengan kumpulan aturan IF-THEN yang mana prekondisi dan konsekuennya berupa variabel *linguistik*. Kumpulan aturan kendali *fuzzy* tersebut merupakan relasi *input-output* dari sebuah sistem. Bentuk umum dari aturan kendali *fuzzy* pada system *multi input- single output* (MISO) adalah :

$$R^i : \text{IF } x \text{ is } A_i, \dots, \text{ AND } y \text{ is } B_i, \text{ THEN } z \text{ is } C_i \quad (2.5)$$

Yang mana x dan y merupakan variabel *linguistik* masukan yang merepresentasikan variabel keadaan sistem (*state variabel*) sedangkan z

merupakan variabel linguistik keluaran yang merepresentasikan variabel kendali (*control variable*). A_i, \dots, B_i dan C_i berturut-turut merupakan nilai linguistik variabel x, \dots, y , dan z pada semesta U, \dots, V , dan W . Persamaan diatas merupakan sistem *fuzzy* tipe mamdani yang digunakan dalam perancangan sistem dalam tugas akhir ini.

2.3.4 Inference Engine

Inference Engine merupakan inti dari FLC dalam memodelkan cara berfikir manusia dalam konsep logika *fuzzy* dan *approximate reasoning*. *Generalized modus ponens* (GMP) yang memegang peranan penting dalam proses inferensi ini. Ini merupakan inti, di sini tempat logika pengambilan keputusan atau sering disebut juga “*reasoning*”, dimana harus mempunyai kemampuan seperti layaknya manusia dalam mengambil keputusan. Aksi dari beberapa hasil pengambilan keputusan *fuzzy* (aksi atur) disimpulkan menggunakan *relasi fuzzy* (implikasi *fuzzy*) dan mekanisme *inferensi fuzzy*.

Terdapat empat operator komposisi yang biasa digunakan pada aturan komposisi inferensi yaitu :

- *Max-min*
- *Max-product*
- *Max bounded product*
- *Max drastic product*

Pada FLC, operator komposisi *max-min* dan *max-product* paling banyak digunakan dan umum karena perhitungannya sederhana dan efisien.

2.3.5 Defuzzifier

Defuzzifikasi (*defuzzier*) berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi dari pengambilan keputusan (aksi atur) yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat pasti dengan menggunakan operator *defuzzier* atau yang digunakan untuk menghasilkan keputusan yang tidak *fuzzy* atau aksi kendali dari hasil inferensi *inference engine*

Defuzzifikasi pada dasarnya merupakan pemetaan ruang aksi kontrol *fuzzy* menjadi ruang aksi kontrol non-*fuzzy* (*crispy*). Prinsip defuzzifikasi bertujuan untuk menghasilkan sinyal atur yang nyata dan dapat merepresentasikan distribusi dari aksi atur masing-masing aturan kontrol.

Salah satu metode defuzzifikasi yang umum digunakan adalah metode titik tengah maksimum (*the Mean of Maximum*="MOM") adalah metode defuzzifikasi untuk menghitung harga titik tengah *output* dari semua aksi kontrol yang mempunyai fungsi keanggotaan *fuzzy* maksimum. Pada kasus semesta pembicaraan diskrit, aksi kendali dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Z_{(MOM)} = \sum_{j=1}^m \frac{z_j}{m} \quad (2.6)$$

z_j adalah nilai *support* dimana fungsi keanggotaan mencapai nilai maksimum $\mu_c(z_j)$ dan m adalah banyaknya nilai *support*. *Input* dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat di ambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*.

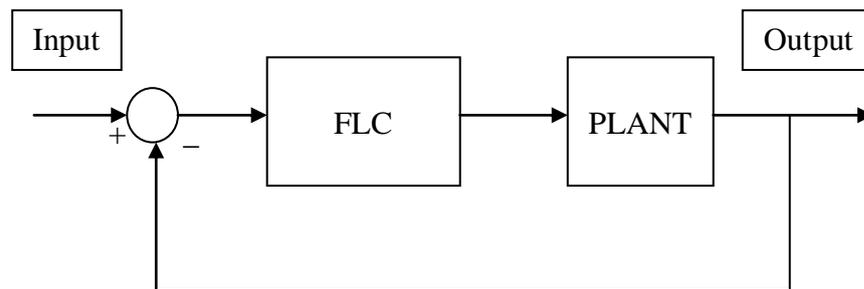
BAB III

METODOLOGI

Pengendali sistem cairan adalah suatu sistem pengendali untuk mengendalikan keluaran cairan. Proses yang merupakan *plant* terdiri dari sebuah bejana atau tangki. Sebuah pompa digunakan untuk menaikkan air dari tangki penampungan kedalam tangki *plant*. Untuk mengatur laju keluaran air digunakan sebuah katup beban yang digunakan untuk mengatur keluaran air dan untuk mengatur masukan air ke tangki digunakan katup pengontrol yang dikendalikan melalui personal computer (PC).

Pada perancangan sistem pengendali ini seluruhnya dimodelkan dalam perangkat lunak (*software*), baik untuk pemodelan tangki, operasi *fuzzy*, dan proses pengendaliannya. Program pemodelannya digunakan program MATLAB R2008a. MATLAB merupakan bahasa pemrograman yang khusus digunakan dalam berbagai analisis berbasis data yang bersifat komputasi matematis, dengan adanya fasilitas pendukung seperti *M-file* yang memungkinkan untuk dapat membentuk pemodelan analisis secara parsial sehingga dapat memungkinkan perancangan sistem yang lebih sistematis dan mudah dipahami. Tiap fungsi *M-file* membutuhkan parameter masukan dan keluaran dari *plant* yang dimodelkan.

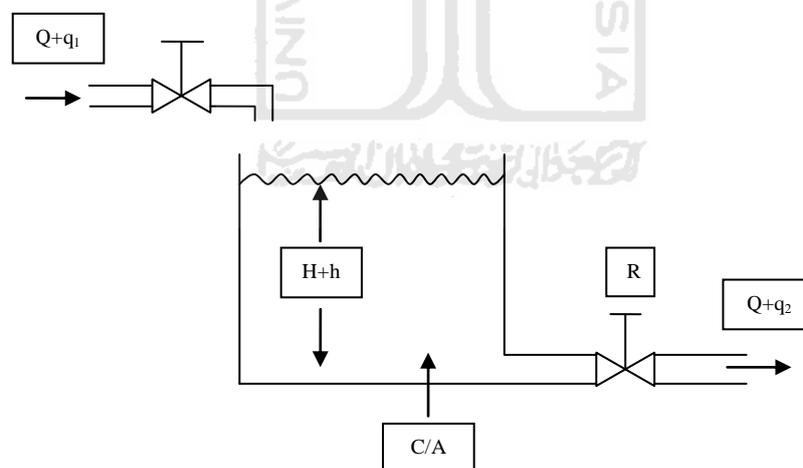
Diagram blok dari sistem ini ditunjukkan pada gambar (3.1) yang menginginkan agar keluaran cairan ditangki pengukuran dapat terjaga atau sesuai pada suatu harga yang konstan meskipun ada gangguan.



Gambar 3.1 Diagram blok pengendali laju keluaran air

3.1 Pemodelan Matematis Sistem Tangki Air

Pemodelan sistem pengendalian laju keluaran cairan adalah pemodelan dalam bentuk matematik dari sistem laju keluaran cairan.



Gambar 3.2 Pemodelan tangki air

Persaman untuk tangki :

$$\Delta V = Q_1 \cdot \Delta t - Q_2 \cdot \Delta t \quad (3.1)$$

$$\frac{\Delta h \cdot A}{\Delta t} = Q_1 - a_2 \cdot \sqrt{2gh} \quad (3.2)$$

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{Q_1 - a_2 \cdot \sqrt{2gh}}{A} \quad (3.3)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_1}{A} - \frac{a_2}{A} \sqrt{2gh} \quad (3.4)$$

dimana : $V =$ volume tangki

$h =$ tinggi tangki

$A =$ luas alas tangki

$a_2 =$ luas penampang pipa keluaran

$Q_1 =$ laju aliran air yang masuk ke tangki

$Q_2 =$ laju aliran air yang keluar dari tangki

$g =$ gaya gravitasi

Berikut adalah ukuran dimensi *plant* :

$$a_2 = 0,01 \text{ m}^2 \quad H = 1,5 \text{ m} \quad L = 1 \text{ m}$$

$$g = 9,8 \text{ m}^2/\text{s} \quad P = 2 \text{ m}$$

sedangkan konstanta (K) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$K = \frac{a_2}{A} \sqrt{2g} \quad (3.5)$$

Perhitungan :

$$\text{Luas alas} = A = C = P \times L \quad (3.6)$$

$$= 2 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$= 2 \text{ m}^2$$

$$K = \frac{0.01}{2} \times \sqrt{2 \times 9.8} \quad (3.7)$$

$$= 0.022135943$$

$$Q_2 = a_2 \times \sqrt{2gh} \quad (3.8)$$

$$= 0.01 \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 1.5}$$

$$= 0.054221766 \text{ m}^3/\text{s}$$



3.2 Simulasi Sistem Dengan MATLAB

MATLAB adalah bahas pemrograman dengan performansi tinggi untuk komputasi teknik. Mengintegrasikan komputasi visual dan pemograman dalam lingkungan yang mudah digunakan dimana masalah dan solusi diekspresikan dalam notasi matematis yang dikenal. Hal ini membuat program yang dibuat akan menjadi lebih sederhana.

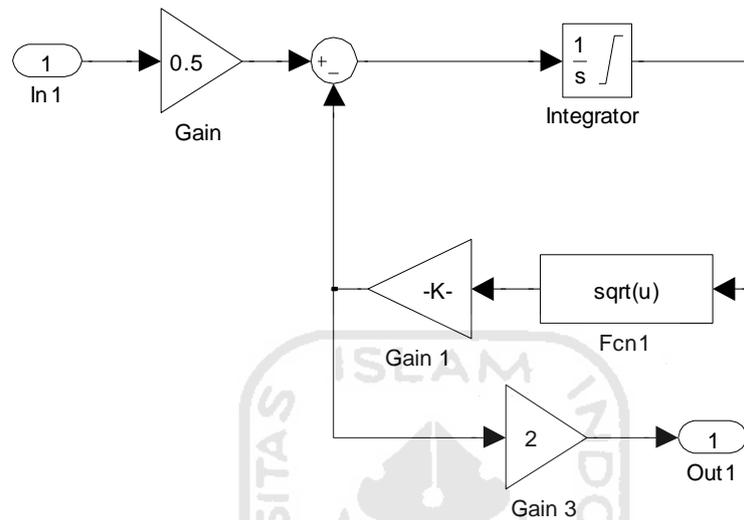
Namun selain memiliki kelebihan seperti diatas MATLAB memiliki beberapa kelemahan, yaitu program induknya masih bersifat *interpreter*. Sehingga program yang telah dibuat dalam lingkungan MATLAB untuk menggunakannya harus berada dilingkungan MATLAB pula, selanjutnya proses eksekusi program akan menjadi lebih lambat. Hal ini disebabkan setiap kali terjadi akuisisi instruksi selalu terjadi penerjemahan dari bahasa tingkat tinggi ke bahas mesin yang dapat dimengerti oleh komputer. Program simulasi tugas akhir ini dibuat dalam MATLAB R2008a dengan fasilitas *toolbox* yang lebih lengkap dari versi sebelumnya.

3.2.1 Perancangan Simulasi Sistem Dengan MATLAB *Simulink*

Simulink adalah paket program dari MATLAB untuk pemodelan, simulasi dan analisa sistem dinamis yang menunjang sistem *linier* dan *non – linier*, pemodelan dalam waktu kontinyu juga dalam diskrit. *Simulink* dapat digunakan untuk mensimulasikan sistem artinya mengamati dan menganalisa perilaku dari tiruan sistem. Tiruan sistem diharapkan mempunyai sifat yang

sangat mirip dengan sistem fisik. Jika digunakan dengan benar, simulasi akan membantu proses analisis.

Blok rangkaian simulasi sistem ditunjukkan pada gambar (3.3).



Gambar 3.3 Rangkaian simulasi tangki air

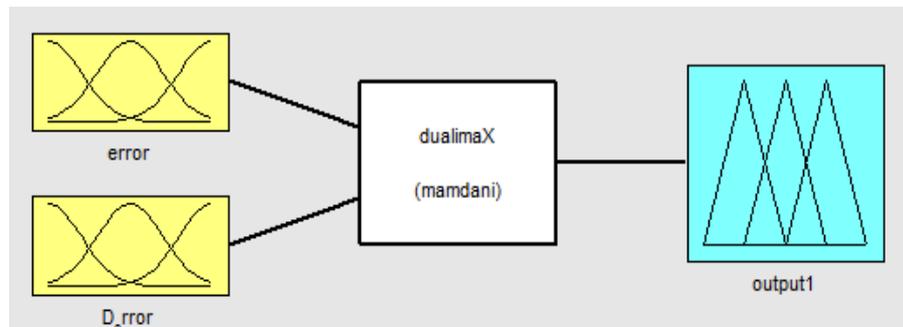
3.2.2 Perancangan *Fuzzy Logic Control* (FLC)

FLC merupakan paket program yang berisikan sekumpulan fungsi *numeris* yang bekerja pada lingkungan MATLAB untuk membangun sistem berbasis logika *fuzzy*. *Toolbox* ini sangat baik untuk memetakan *input* ke *output* yang dapat membangun dan mengedit sistem inferensi *fuzzy* dengan bentuk grafis atau fungsi perintah.

- Menentukan parameter fungsi keanggotaan

Parameter fungsi keanggotaan atau aturan yang digunakan dalam perancangan pengendali logika *fuzzy* ditentukan secara *trial* dan *error*. *Fuzzy control* ini memiliki dua *input* dan satu *output*. *Input* dari *fuzzy*

kontrol ini adalah *error* dan perubahan *error*, sedangkan *outputnya* adalah perubahan debit aliran air.



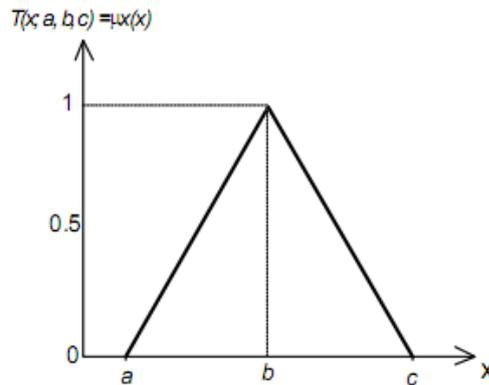
Gambar 3.4 Variabel masukan dan keluaran

- Perancangan fungsi keanggotaan *fuzzy*

Tahap pertama dalam perancangan fungsi keanggotaan adalah menentukan jangkauan untuk masukan (*error* dan perubahan *error*) dan *output* (perubahan debit aliran air) kendali *fuzzy*. Jangkauan tersebut ditentukan berdasarkan nilai maksimal dan minimal *error* dan perubahan *error* yang diperoleh saat simulasi sistem tanpa pengendali dijalankan. Keluaran dari kendali *fuzzy* merupakan perubahan besarnya debit aliran air yang masuk ke tangki air.

Fungsi keanggotaan berbentuk segitiga atau *Triangular function* (T-function) adalah paling banyak digunakan dalam proses fuzzifikasi, terutama dalam penerapan teori *fuzzy* pada sistem pengaturan maupun pada pengenalan pola. Penggunaan fungsi keanggotaan dengan distribusi segitiga ini sangat beralasan karena disamping lebih sederhana bentuk formulasinya, lebih mudah pula dalam analisis perhitungan untuk

menentukan algoritmanya, sehingga tidak banyak menyita waktu dalam melakukan proses perhitungannya



Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan bentuk segitiga

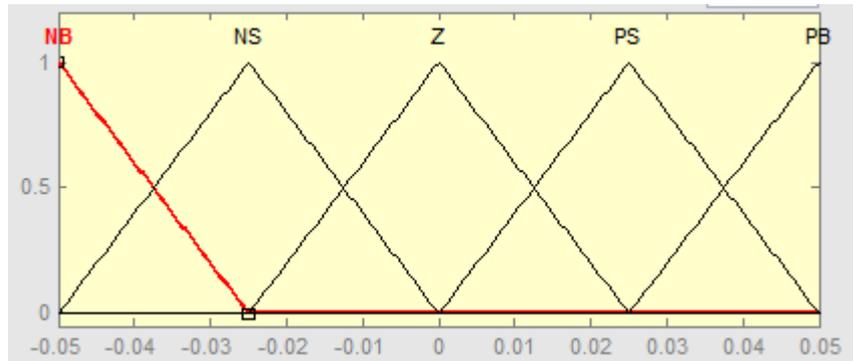
Persamaan secara matematik fungsi keanggotaan bentuk segitiga

(*triangular*) adalah :

$$T(x;a,b,c) = \mu_c(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & b \leq x \leq c \\ 0 & x \geq c \end{cases} \quad (3.18)$$

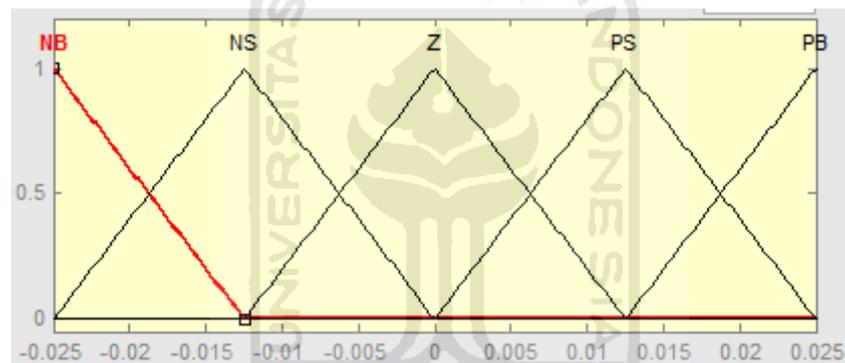
Tahap kedua adalah menentukan parameter untuk setiap fungsi keanggotaan masukan maupun keluaran. Untuk masukan *error* gambar

3.6



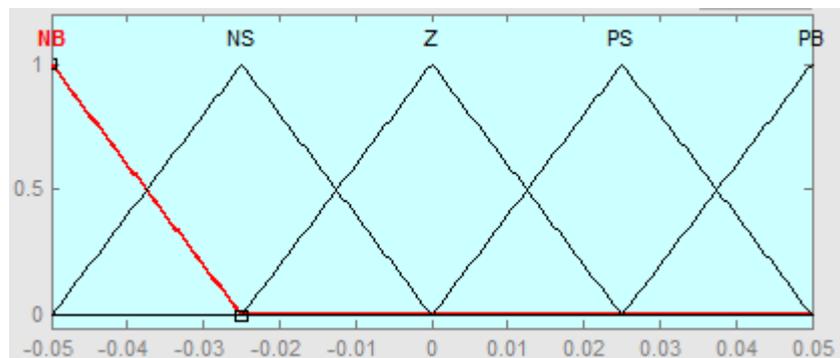
Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan *error*

Dan masukan fungsi keanggotaan perubahan *error* terlihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan perubahan *error*

Sedang untuk fungsi keanggotaan keluaran pada gambar 3.8



Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan keluaran kendali *fuzzy*

- Menentukan aturan kendali *fuzzy*

Proses pembuatan *rules* dilakukan dengan cara menerapkan kemampuan manusia dalam mengendalikan suatu sistem kendali. Aturan-aturan logika *fuzzy* yang akan dipergunakan sangat tergantung pada respon sistem yang dikendalikan. Tidak ada rumusan pasti dalam mencari aturan-aturan ini. Penentuan aturan *fuzzy* ini merupakan tahap akhir dari proses desain sistem *fuzzy*. Aturan-aturan *fuzzy* yang terbentuk ditampilkan dalam tabel 3.1

Tabel 3.1 Daftar aturan kendali *fuzzy*

Error\d_error	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PS	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

NB : Negative Big

NS : Negative Small

Z : Zero

PS : Positive Small

PB : Positive Big

Dari tabel 3.1 dapat disimpulkan bahwa kendali *fuzzy* mempunyai dua masukan dan satu keluaran. Setiap variabel memiliki masing-masing 5 fungsi keanggotaan (NB, NS, Z, PS, PB). Dari kondisi tersebut maka bisa didapat maksimal 25 macam aturan yaitu :

1. *If (error is NB) and (D_error is NB) then (d_Q1 is NB)*
2. *If (error is NB) and (D_error is NS) then (d_Q1 is NB)*
3. *If (error is NB) and (D_error is Z) then (d_Q1 is NB)*
4. *If (error is NB) and (D_error is PS) then (d_Q1 is NS)*
5. *If (error is NB) and (D_error is PB) then (d_Q1 is Z)*
6. *If (error is NS) and (D_error is NB) then (d_Q1 is NB)*
7. *If (error is NS) and (D_error is NS) then (d_Q1 is NS)*
8. *If (error is NS) and (D_error is Z) then (d_Q1 is NS)*
9. *If (error is NS) and (D_error is PS) then (d_Q1 is Z)*
10. *If (error is NS) and (D_error is PB) then (d_Q1 is PS)*
11. *If (error is Z) and (D_error is NB) then (d_Q1 is NB)*
12. *If (error is Z) and (D_error is NS) then (d_Q1 is NS)*
13. *If (error is Z) and (D_error is Z) then (d_Q1 is Z)*
14. *If (error is Z) and (D_error is PS) then (d_Q1 is PS)*
15. *If (error is Z) and (D_error is PB) then (d_Q1 is PB)*
16. *If (error is PS) and (D_error is NB) then (d_Q1 is NS)*
17. *If (error is PS) and (D_error is NS) then (d_Q1 is Z)*
18. *If (error is PS) and (D_error is Z) then (d_Q1 is PS)*

19. *If (error is PS) and (D_error is PS) then (d_Q1 is PS)*
20. *If (error is PS) and (D_error is PB) then (d_Q1 is PB)*
21. *If (error is PB) and (D_error is NB) then (d_Q1 is Z)*
22. *If (error is PB) and (D_error is NS) then (d_Q1 is PS)*
23. *If (error is PB) and (D_error is Z) then (d_Q1 is PB)*
24. *If (error is PB) and (D_error is PS) then (d_Q1 is PB)*
25. *If (error is PB) and (D_error is PB) then (d_Q1 is PB)*

- *Defuzzifikasi*

Pada perancangan *fuzzy* ini merupakan tipe mamdani. Tipe mamdani yang digunakan pada proses ini adalah metode MOM (*Mean of Maximum*). Metode MOM menentukan aksi kendali yang mewakili nilai rata-rata (*mean*) dari aksi kendali yang fungsi keanggotaannya mencapai maksimum. Metode MOM menghasilkan kondisi *transien* yang lebih baik pada respon sistem, daripada menggunakan metode *defuzzifikasi* yang lain (*Centroid, Bisector, LOM dan SOM*)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN SISTEM

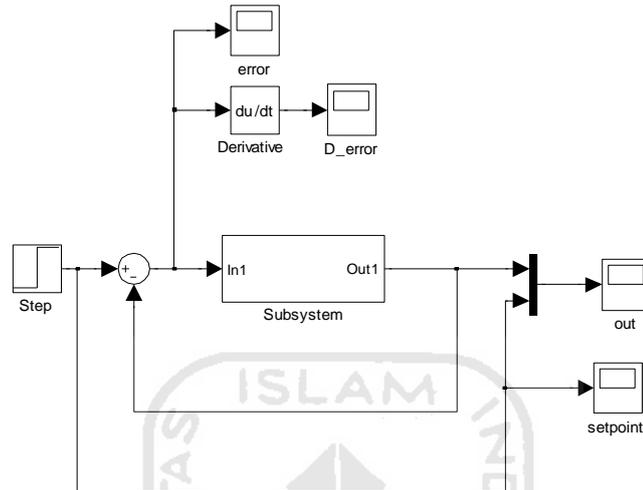
Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu ditentukan kondisi dan ukuran dari keadaan *plant*. Hal pertama yang harus ditentukan adalah ukuran dimensi dari tangki yang digunakan, menentukan besar debit air maksimal yang masuk ketangki, dan besarnya luas penampang pipa tangki. Kondisi ini harus ditentukan karena pengendali yang telah dirancang tidak bisa bekerja pada semua kondisi *plant* yang memiliki ukuran yang berbeda-beda pada ukuran tangki maupun pipanya. Dari nilai nilai yang telah tertulis pada bab sebelumnya dapat diketahui bahwa ketinggian air maksimal adalah 1.5 m.

Dengan menggunakan data diatas langkah selanjutnya adalah membuat rangkaian simulasi sistem. Dari simulasi tersebut akan dihasilkan data *input* dan *output* yang akan dijadikan sebagai masukan dan keluaran pada perancangan *FLC* (*fuzzy logic control*).

4.1 Pengambilan Data

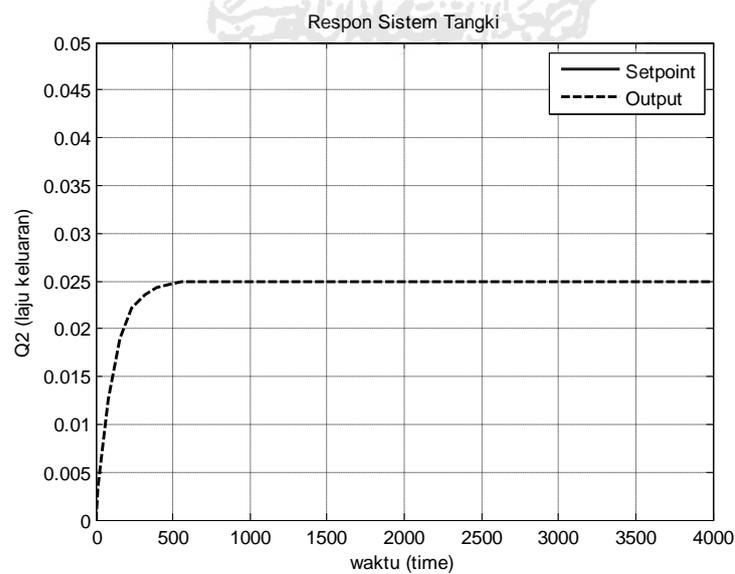
Pada simulasi program dilakukan pengambilan data unjuk kerja sistem pengendalian laju keluaran tangki air untuk membandingkan masukan yang berupa laju keluaran air yang diinginkan dan keluaran yang berupa laju keluaran air yang aktual.

Simulasi digunakan dengan menggunakan rangkaian simulasi sebagai acuan dalam perancangan kendali *fuzzy*. Rangkaian simulasi diperlihatkan pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Rangkaian simulasi sistem pada *simulink*

Bila sistem keluaran air diberi masukan undak (*step*) sebesar 0.05 maka diperoleh bentuk grafik keluaran air (Q_2) terhadap waktu (t) pada gambar 4.2

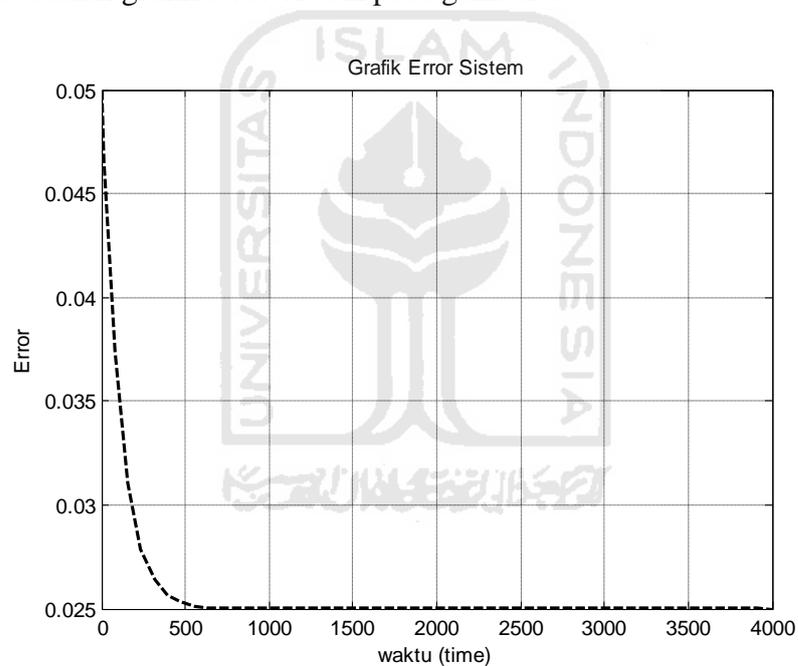


Gambar 4.2 Grafik tanggapan sistem

Berdasarkan gambar diperoleh karakteristik grafik sebagai berikut : waktu naik (*rise time*) T_r adalah 35.6429 detik,waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan mantap (*settling time*) T_s adalah 74.7930 detik.

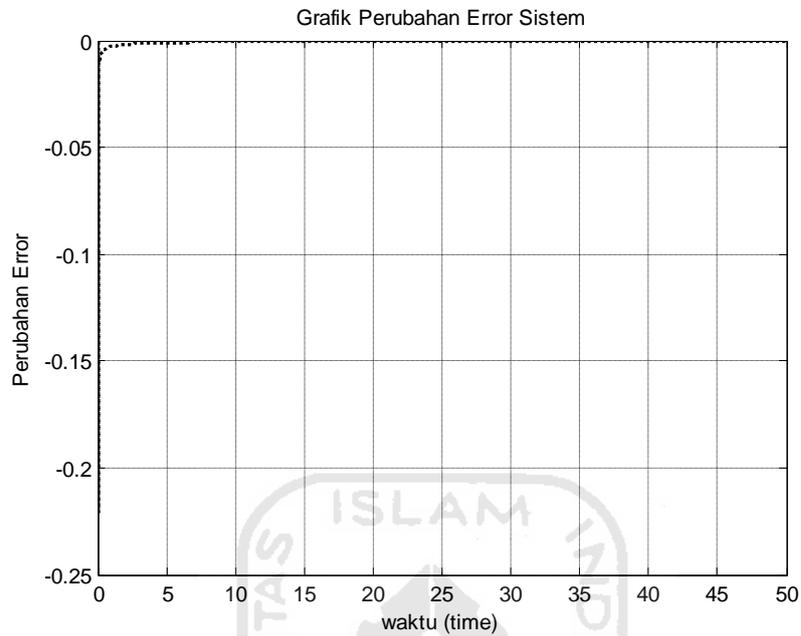
Dalam desain pengendalian logika *fuzzy* mengambil dua buah *input* berupa *error* yaitu selisih antara *setpoint* (Q_2_set) dengan *output* (Q_2_aktual) dan perubahan *error* (d_error). Dengan pengendalian logika *fuzzy* ini diharapkan mempunyai unjuk kerja sistem yang lebih baik.

Berikut adalah grafik *error* sistem pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik *error* sistem

Sedangkan grafik perubahan *error* sistem pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik perubahan *error* sistem

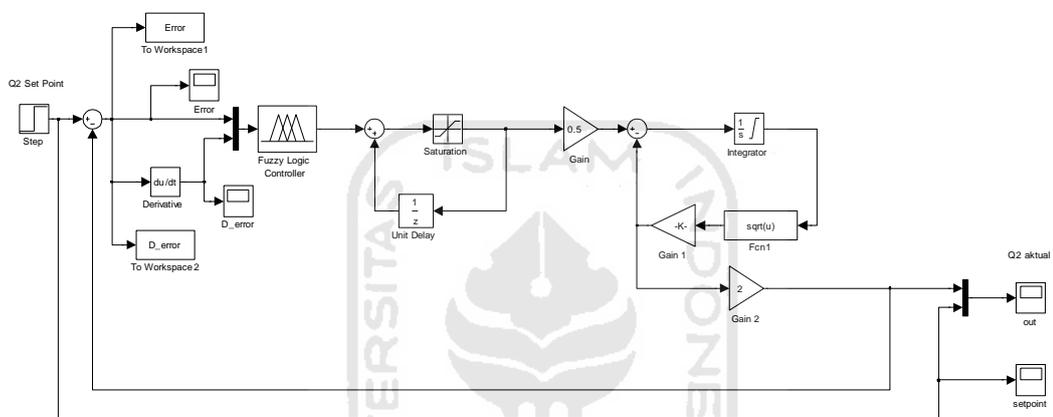
Grafik *error* (e) dan perubahan *error* (d_error) menjadi pedoman untuk menentukan parameter fungsi anggota dan aturan yang akan digunakan dalam perancangan pengendali logika *fuzzy* secara *trial* dan *error*.

4.2 Simulasi Sistem Tangki Air Dengan Kendali *Fuzzy*

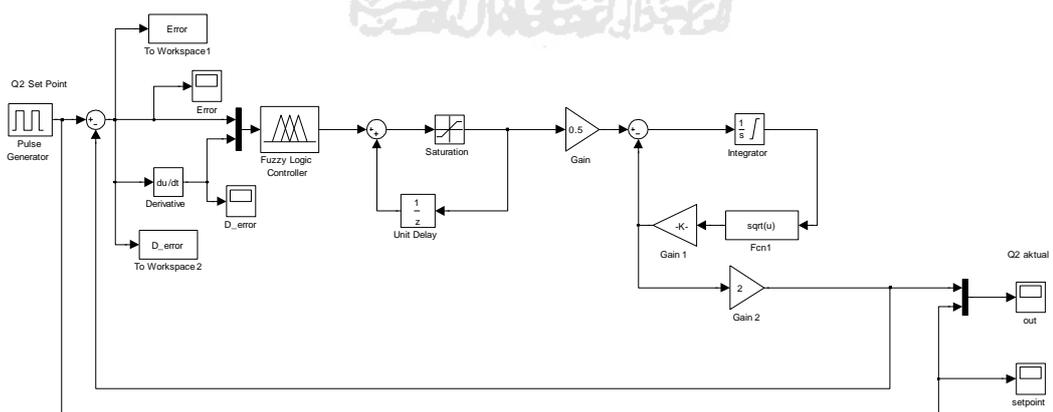
Tahap pertama adalah penentuan jangkauan untuk masukan dan keluaran pada sistem kendali logika *fuzzy*. Nilai jangkauan *error* adalah [-0.054 sampai +0.054], nilai jangkauan perubahan *error* adalah [-0.025 sampai +0.025] sedangkan keluaran dari kendali *fuzzy* merupakan perubahan debit aliran air. Nilai jangkauan perubahan debit aliran air adalah [-0.054 sampai +0.054].

Tahap selanjutnya adalah menentukan fungsi keanggotaan untuk variabel masukan dan variabel keluaran.

Tahap ketiga adalah menentukan aturan *fuzzy*. Penentuan aturan *fuzzy* ini merupakan tahap akhir dari proses desain sistem *fuzzy*. Kemudian *export* data kendali *fuzzy* ke *workspace* untuk dapat menjalankan simulasi sistem dengan menggunakan *simulink*.



Gambar 4.5 Rangkaian simulasi sistem kendali *fuzzy* dengan *input step*



Gambar 4.6 Rangkaian simulasi sistem kendali *fuzzy* dengan *input pulse*

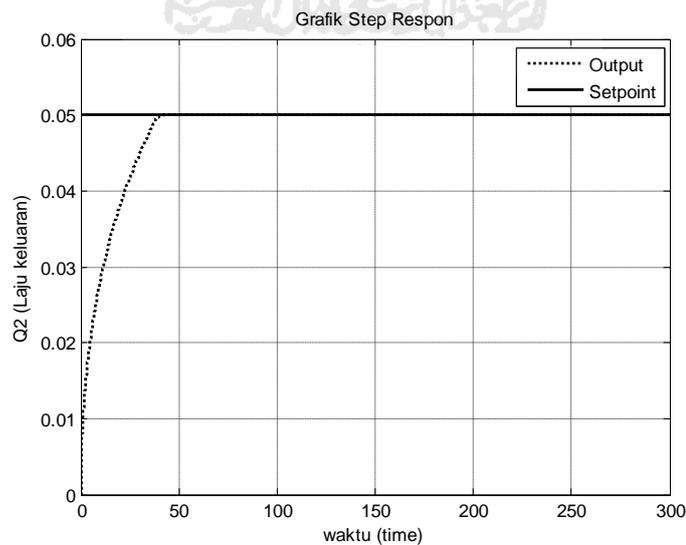
4.2.1 Simulasi Menggunakan Aturan *Fuzzy* Tipe I

Pada percobaan pertama dilakukan dengan menggunakan aturan *fuzzy* sebagai berikut pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Daftar aturan kendali *fuzzy* tipe I

d_error \Error	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	Z
NS	NB	NS	NS	Z	PS
Z	NB	NS	Z	PS	PB
PS	NS	Z	PS	PS	PB
PB	Z	PS	PB	PB	PB

Simulasi dijalankan dengan *input step* yaitu Q_{2_set} sebesar 0.05 dan diperoleh hasil unjuk kerja sistem laju keluaran Q_{2_actual} pada tangki terlihat pada gambar grafik 4.7



Gambar 4.7 Grafik step respon aturan tipe I

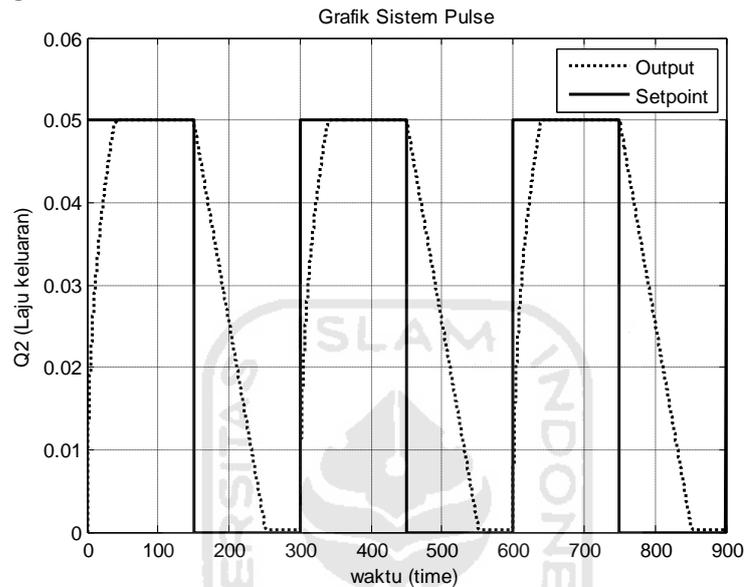
Dari gambar 4.7 kita dapat mengetahui karakteristik unjuk kerja sistem pada tabel berikut ini :

Tabel 4.2 Karakteristik respon FLC tipe I

Karakteristik	Respon sistem
<i>RiseTime</i>	29.9680
<i>SettlingTime</i>	37.5371
<i>SettlingMin</i>	0.0450
<i>SettlingMax</i>	0.0500
<i>Overshoot</i>	0
<i>Undershoot</i>	0
<i>Peak</i>	0.0500
<i>PeakTime</i>	108.0160

Dari data hasil simulasi diatas diketahui bahwa kendali ini membutuhkan waktu untuk mencapai keadaan mantap (*settling time*) yaitu sebesar 37.5371. Dari gambar grafik 4.7 dan data tabel 4.2 menunjukkan sistem kendali berjalan cukup baik hal ini ditunjukkan dengan tidak terjadinya *overshoot* sehingga ini menyebabkan nilai *error* kecil. Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari aturan *fuzzy*.

Tahap selanjutnya simulasi dijalankan dengan *input* berupa *pulse* yaitu sebesar 0.05 dan waktu simulasi selama 900 detik. Kemudian diperoleh hasil unjuk kerja sistem laju keluaran *output* Q_2 _actual pada tangki terlihat pada gambar grafik 4.8



Gambar 4.8 Grafik sistem pulse aturan tipe I

Dari grafik diatas terlihat jelas bahwa hasil yang telah didapatkan dari simulasi ini menunjukkan hasil yang bagus. Hal ini dibuktikan dan ditunjukkan dengan hasil pengujian diatas bahwa grafik *output* Q_2 sudah bisa dan mampu mengimbangi ataupun mengikuti grafik *setpoint* baik sedang naik maupun saat *setpoint* sedang turun. *Setpoint* disini berupa laju keluaran air dari tangki. Walaupun dari grafik diatas ini menunjukkan masih adanya nilai *error* yang kecil namun sistem ini berjalan cukup baik dengan menekan nilai *error* hal ini tentu saja dipengaruhi oleh aturan kendali *fuzzy*.

4.2.2 Simulasi Menggunakan Aturan *Fuzzy* Tipe II

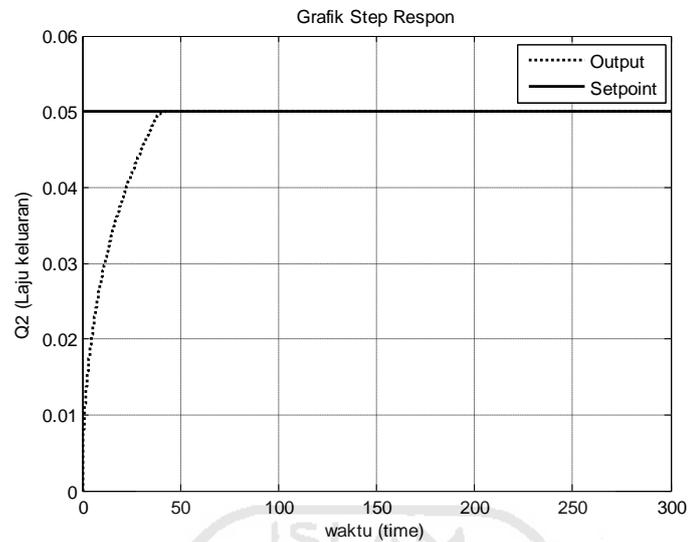
Pada percobaan kedua dilakukan dengan menggunakan aturan *fuzzy* sebagai berikut pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Daftar aturan kendali *fuzzy* tipe II

d_error \Error	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NB	Z
NS	NB	NB	NB	Z	PB
Z	NB	NB	Z	PB	PB
PS	NB	Z	PB	PB	PB
PB	Z	PB	PB	PB	PB

Dari tabel aturan kendali *fuzzy* yang kedua ini terlihat perubahan pada beberapa aturan kendali *fuzzy* dan berbeda pada aturan kendali *fuzzy* yang pertama. Perubahan aturan ini ditandai dengan tulisan yang berwarna merah pada tabel diatas. Tujuan perubahan aturan ini dimaksudkan untuk membandingkan dengan aturan tipe I apakah mendapatkan kinerja sistem kendali *fuzzy* yang lebih stabil dan sesuai dengan keadaan yang diinginkan sehingga bisa menekan nilai *error* jauh lebih kecil.

Simulasi dijalankan tidak berbeda dengan percobaan yang pertama dengan *input step* yaitu Q_2_set sebesar 0.05 dan diperoleh hasil unjuk kerja sistem laju keluaran Q_2_actual pada tangki terlihat pada gambar grafik 4.9



Gambar 4.9 Grafik step respon aturan tipe II

Dari gambar 4.9 kita dapat mengetahui karakteristik unjuk kerja sistem pada tabel berikut ini :

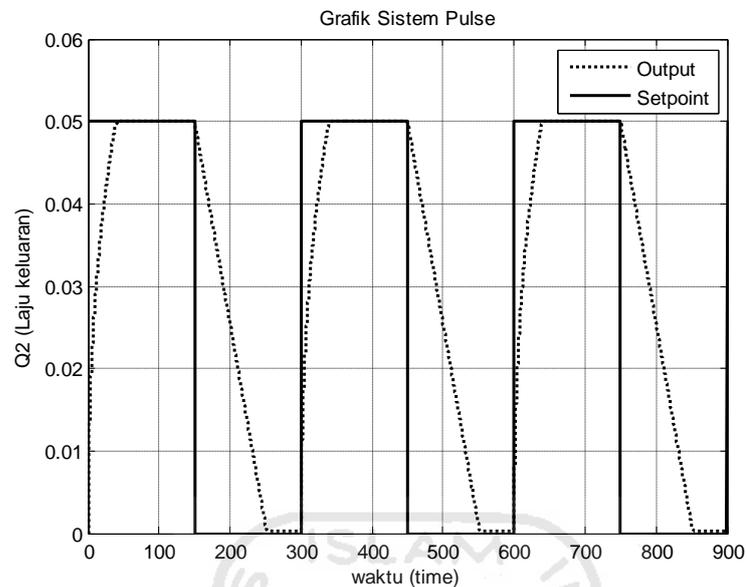
Tabel 4.4 Karakteristik respon FLC tipe II

Karakteristik	Respon sistem
<i>RiseTime</i>	29.9069
<i>SettlingTime</i>	37.4553
<i>SettlingMin</i>	0.0450
<i>SettlingMax</i>	0.0500
<i>Overshoot</i>	0
<i>Undershoot</i>	0
<i>Peak</i>	0.0500
<i>PeakTime</i>	111.2680

Dari hasil data simulasi diatas bahwa hasil sinyal respon dapat menunjukkan adanya perubahan pada sistem, ini artinya perubahan aturan kendali *fuzzy* yang dilakukan sedikit berpengaruh terhadap sistem. Sistem ini bekerja sama baiknya dengan percobaan pertama. Dari data hasil simulasi diatas diketahui bahwa kendali ini dapat mencapai *setpoint* yang diinginkan sebesar 0.05. Untuk mencapai keadaan mantap (*settling time*) sistem ini membutuhkan waktu sedikit lebih cepat yaitu sebesar 37.4553 sehingga menghasilkan *error* yang kecil sama halnya dengan percobaan pertama.

Dari gambar grafik 4.9 dan data tabel 4.4 menunjukkan sistem kendali berjalan dengan baik hal ini ditunjukkan dengan tidak terjadinya *overshoot* dan nilai *error* yang sangat kecil. Hal ini disebabkan oleh pengaruh dari perubahan aturan *fuzzy* yang telah dilakukan.

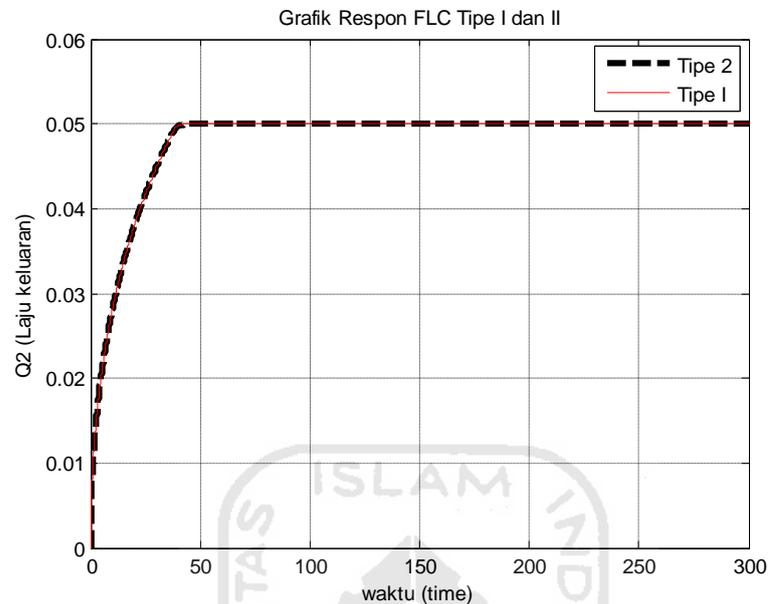
Tahap selanjutnya sama halnya dengan yang sebelumnya simulasi dijalankan dengan input *pulse* yaitu sebesar 0.05 dan waktu simulasi selama 900 detik kemudian diperoleh hasil unjuk kerja sistem laju keluaran *output* Q_2 _actual pada tangki terlihat pada gambar grafik 4.10



Gambar 4.10 Grafik sistem pulse aturan tipe II

Dari grafik diatas terlihat jelas bahwa hasil yang telah didapatkan dari simulasi ini menunjukkan hasil yang baik. Hal ini dibuktikan dan ditunjukkan dengan hasil pengujian diatas bahwa grafik *output* Q_2 bisa dan mampu mengimbangi ataupun mengikuti grafik *setpoint* sebesar 0.05 yang sedang naik dan mampu mengikuti *setpoint* saat sedang turun. *Setpoint* disini berupa laju keluaran air dari tangki. Walaupun dari grafik diatas ini menunjukkan masih adanya nilai *error* yang kecil namun sistem ini berjalan cukup baik dengan menekan nilai *error* hal ini tentu saja dipengaruhi oleh aturan kendali *fuzzy*.

Berikut adalah gabungan grafik dari dua tipe aturan *fuzzy* yang telah di simulasikan



Gambar 4.11 Grafik sistem respon FLC tipe I dan II

Tabel 4.5 Perbandingan karakteristik respon sistem

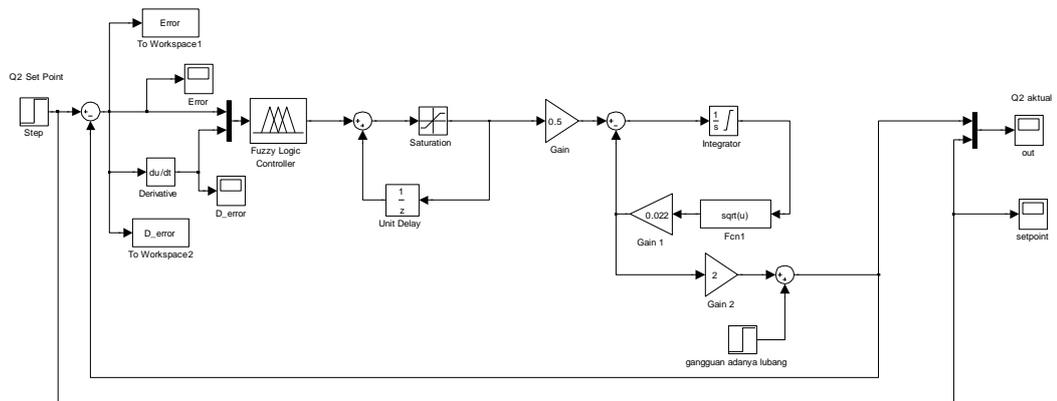
Karakteristik	Respon sistem	
	Aturan 1	Aturan 2
<i>RiseTime</i>	29.9680	29.9069
<i>SettlingTime</i>	37.5371	37.4553
<i>SettlingMin</i>	0.0450	0.0450
<i>SettlingMax</i>	0.0500	0.0500
<i>Overshoot</i>	0	0
<i>Undershoot</i>	0	0
<i>Peak</i>	0.0500	0.0500
<i>PeakTime</i>	108.0160	111.2680

Dari tabel data 4.5 diatas dapat dilihat bahwa kedua aturan berjalan dengan baik dan bahkan sama. Perubahan aturan *fuzzy* yang dilakukan pada percobaan kedua tidak berpengaruh sama sekali hanya sedikit lebih baik. Ini dibuktikan dengan nilai *settling time* yang berbeda. Pada percobaan pertama *settling time* yang dibutuhkan adalah sebesar 37.5371 dan pada percobaan kedua sedikit lebih cepat yaitu sebesar 37.4553 namun untuk *rise timenya* masing-masing sama yaitu sebesar 29.9680 dan 29.9069

Secara garis besar kedua tipe aturan *fuzzy* yang disimulasikan ini mempunyai unjuk kerja sistem yang bisa dibilang baik karena nilai *output* dari masing-masing aturan mendekati *setpoint* sebesar 0.05 atau pada keadaan *steady state* dan mendapatkan nilai *error* yang kecil dan dibuktikan juga dengan tidak terjadinya *overshoot* pada unjuk kerja sistem kedua tipe aturan yang disimulasikan.

4.3 Simulasi Sistem Kendali *Fuzzy* Terhadap Gangguan Kebocoran

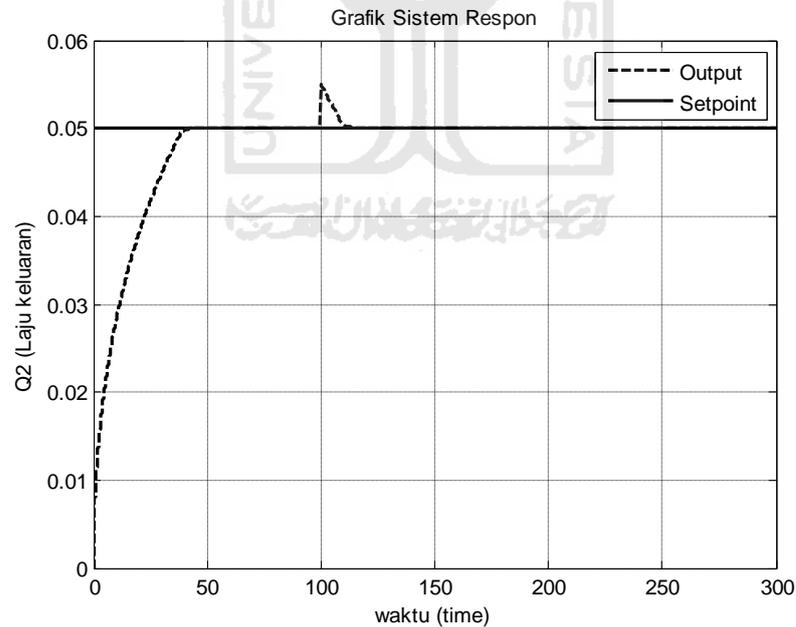
Pada pecobaan ini sistem ini disimulasikan dengan tambahan berupa gangguan pada *output* (laju keluaran) pada tangki air. Gangguan disini berupa adanya kebocoran atau lubang kecil pada saluran aliran keluaran. Besarnya *setpoint* pada percobaan ini adalah sebesar 0.05 dan gangguan disini berupa blok *step* sebesar 0.005. Simulasi dilakukan dengan menggunakan aturan *fuzzy* tipe I dengan rangkaian sebagai berikut :



Gambar 4.12 Simulasi dengan gangguan

kebocoran pada pipa keluaran

Dari gambar 4.12 diatas setelah program dijalankan maka akan menghasilkan grafik sistem respon sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.13 Grafik sistem respon terhadap gangguan kebocoran

Dari data gambar grafik 4.13 diatas dapat dijelaskan bahwa *setpoint* yang diinginkan adalah sebesar 0.05. Ketika sistem dijalankan, *output* Q2 (laju keluaran) menuju *setpoint* sebesar 0.05 , saat itu grafik diatas menunjukkan terjadi nilai output yang melebihi *setpoint*, ini disebabkan adanya gangguan kebocoran pada pipa laju aliran keluaran air, gangguan kebocoran ini sebesar 0.005.

Setelah terjadinya gangguan sebesar 0.005 artinya aliran air yang keluar lebih banyak dari pada *setpoint* 0.05. Hal ini tidak berpengaruh lama karena sistem kendali pada simulasi ini mengembalikan keadaan laju keluaran air ke *setpoint*, sehingga sistem ini bisa berjalan kembali normal.

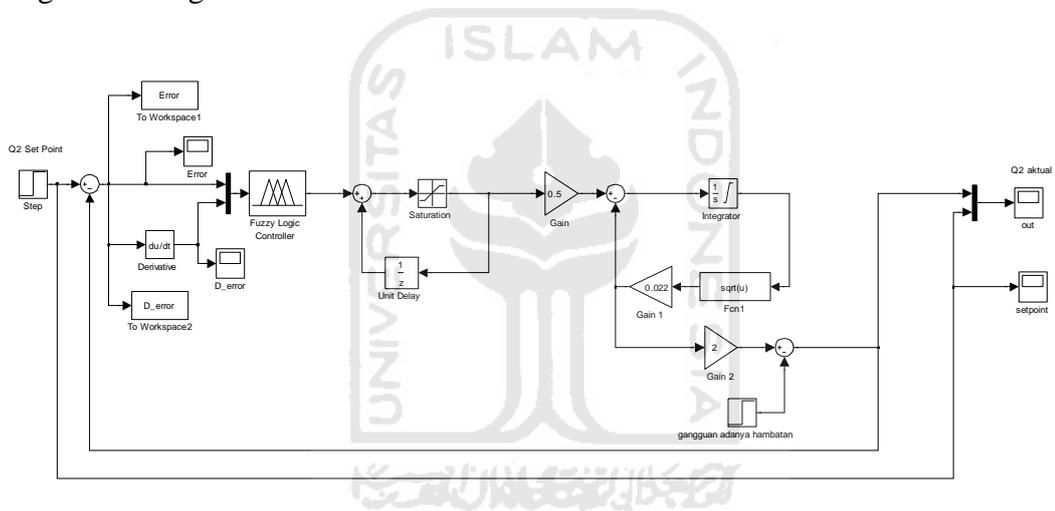
Dari gambar 4.13 kita dapat mengetahui karakteristik unjuk kerja sistem pada tabel berikut ini :

Tabel 4.6 Karakteristik respon terhadap gangguan kebocoran

Karakteristik	Respon sistem
<i>RiseTime</i>	29.9680
<i>SettlingTime</i>	108.1684
<i>SettlingMin</i>	0.0450
<i>SettlingMax</i>	0.0500
<i>Overshoot</i>	9.9918
<i>Undershoot</i>	0
<i>Peak</i>	0.0550
<i>PeakTime</i>	100

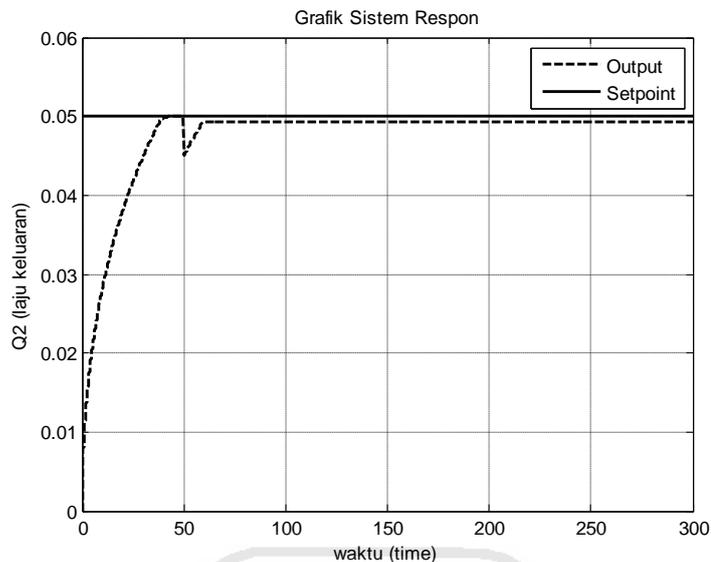
4.4 Simulasi Sistem Kendali *Fuzzy* Terhadap Gangguan Sumbatan

Pada percobaan ini sistem ini disimulasikan dengan tambahan berupa gangguan pada *output* (laju keluaran) pada tangki air. Gangguan disini berupa adanya sumbatan kecil pada saluran aliran keluaran. Sumbatan disini bisa diumpamakan karatan ataupun sampah-sampah kecil. Besarnya *setpoint* pada percobaan ini adalah sebesar 0.05 dan gangguan disini berupa blok *step* sebesar 0.005. Simulasi dilakukan dengan menggunakan aturan *fuzzy* tipe I dengan rangkaian sebagai berikut :



Gambar 4.14 Simulasi dengan gangguan sumbatan pada pipa keluaran

Dari gambar 4.14 diatas setelah program dijalankan maka akan menghasilkan grafik sistem respon sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.15 dibawah ini.

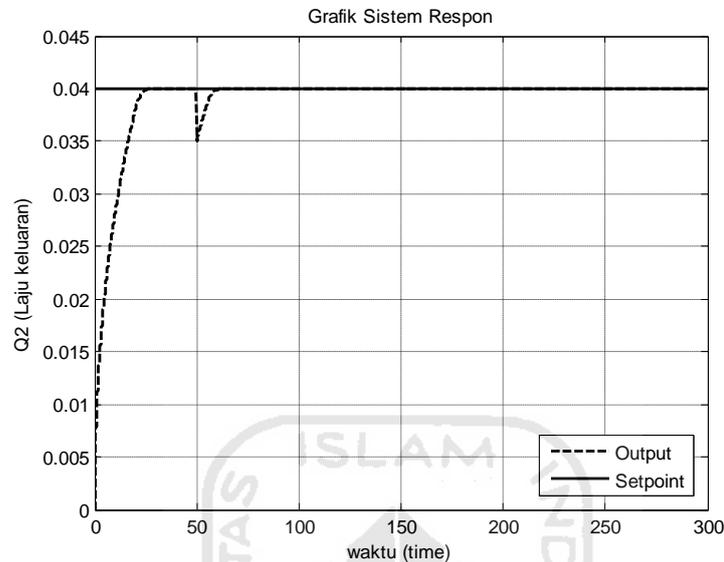


Gambar 4.15 Grafik sistem respon terhadap gangguan sumbatan setpoint 0.05

Dari data gambar grafik 4.15 diatas dapat dijelaskan bahwa *setpoint* yang diinginkan adalah sebesar 0.05. ketika sistem dijalankan, *output* Q2 (laju keluaran) menuju *setpoint* sebesar 0.05 saat itu grafik diatas menunjukkan terjadi nilai *output* yang kurang dari *setpoint*, ini disebabkan adanya gangguan berupa sumbatan pada laju aliran keluaran air, gangguan ini sebesar 0.005.

Setelah terjadinya gangguan berupa sumbatan sebesar 0.005 artinya aliran air yang keluar lebih sedikit dari pada *setpoint* 0.05. Dari grafik diatas menunjukkan *output* menuju *setpoint* 0.05 dan ketika ada sumbatan *output* turun dan sistem tidak mengembalikan nilai *output* ke *setpoint* 0.05. Hal ini disebabkan oleh nilai maksimal *output* dari tangki adalah 0.05, jadi ketika *setpoint* ditentukan sebesar 0.05 maka *output* akan berada kurang dari 0.05 karena nilai *output* tidak bisa menyamai nilai *setpoint* ataupun melebihi nilai *setpoint*.

Berbeda ketika nilai *setpoint* dibawah 0.05. Ketika nilai *setpoint* sebesar 0.04 dan nilai sumbatan sebesar 0.005 maka grafik yang dihasilkan seperti dibawah ini.



Gambar 4.16 Grafik sistem respon terhadap gangguan sumbatan setpoint 0.04

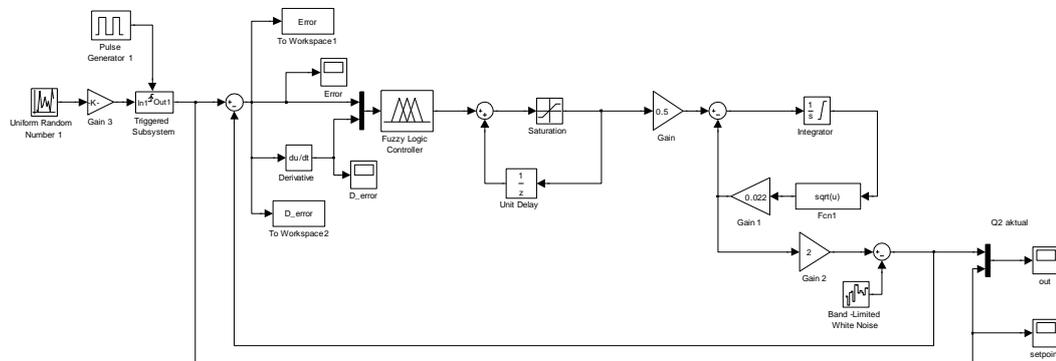
Dari data gambar grafik 4.16 diatas dapat dijelaskan bahwa *setpoint* yang diinginkan adalah sebesar 0.04. ketika sistem dijalankan, *output* Q2 (laju keluaran) menuju *setpoint* sebesar 0.04 saat itu grafik diatas menunjukkan terjadi nilai *output* yang kurang dari *setpoint*, ini disebabkan adanya gangguan pada laju aliran keluaran air, gangguan disini sebesar 0.005 namun sistem pada kendali ini mengembalikan nilai *output* menuju *setpoint* 0.04. Hal ini disebabkan nilai *setpoint* 0.04 merupakan bukan nilai keluaran maksimal dari tangki yang sebesar 0.05 sehingga sistem bisa mengembalikan nilai *output* diatas menjadi stabil kembali pada keadaan *setpoint* 0.04.

Tabel 4.7 Karakteristik respon terhadap gangguan sumbatan

Karakteristik	Respon sistem	
	Setpoint 0.05	Setpoint 0.04
<i>RiseTime</i>	28.7621	17.4838
<i>SettlingTime</i>	56.9811	56.4912
<i>SettlingMin</i>	0.0433	0.0350
<i>SettlingMax</i>	0.0500	0.0400
<i>Overshoot</i>	1.6584	0
<i>Undershoot</i>	0	0
<i>Peak</i>	0.0500	0.0400
<i>PeakTime</i>	49.9990	126.2690

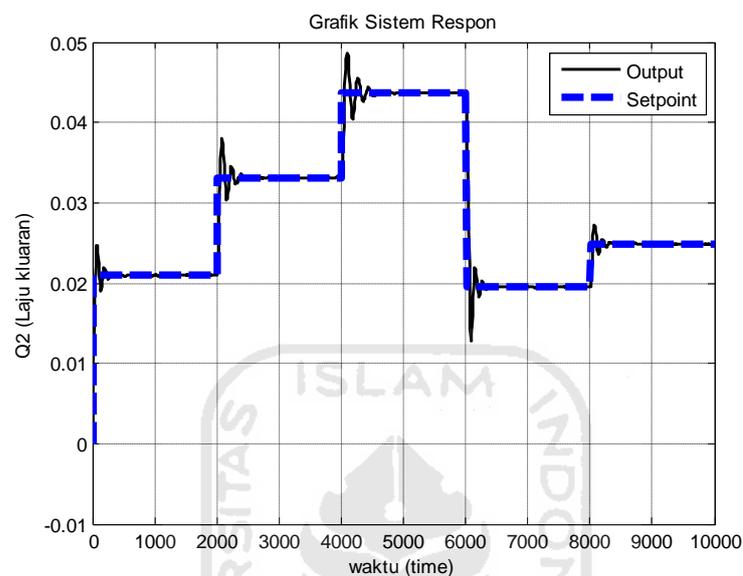
4.5 Simulasi Sistem Kendali Fuzzy dengan *Random Number* dan *Noise*

Pada percobaan ini sistem ini disimulasikan dengan *input* berupa blok *random number* dan *noise* atau gangguan pada *output* (laju keluaran) pada tangki air.

**Gambar 4.17** Rangkaian simulasi sistem dengan *random*

dan blok *noise*

Dari gambar 4.17 diatas setelah program dijalankan maka akan menghasilkan grafik sistem respon sebagaimana yang terlihat pada gambar 4.18 dibawah ini



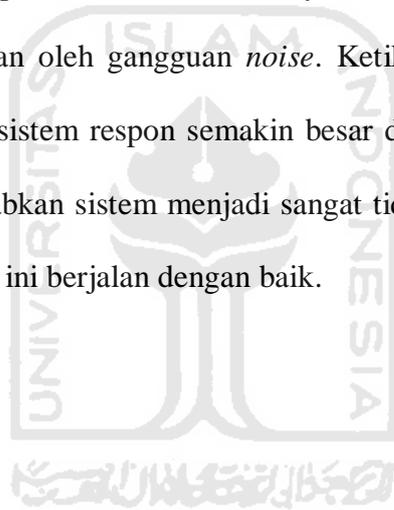
Gambar 4.18 Grafik sistem respon dengan *random number* dan blok *noise*

Dari data gambar grafik 4.18 diatas dapat dijelaskan bahwa *setpoint* yang disini adalah blok nilai *random* antara 0 sampai 0.05. Pada percobaan ini ditambah blok gangguan berupa *noise* dengan *noise power* sebesar 0.00000001.

Setelah dilakukan simulasi dapat dilihat pada saat grafik *input* atau *setpoint random* berada pada 0.02 nilai *output* atau kemampuan *output* untuk mengikuti nilai *setpoint* sudah cukup stabil begitu pula ketika nilai *setpoint random number* turun grafik *output* juga mampu mengikuti dengan baik.

Pada simulasi ini juga ditambahkan blok *noise* atau gangguan pada *output* tangki yaitu dengan besar *noise power* sebesar 0.00000001. Dari grafik diatas terlihat sinyal *output* mengalami gangguan saat menuju *setpoint* yang *random* sehingga membuat sinyal tidak stabil. Hal ini disebabkan oleh adanya gangguan pada sistem yaitu *noise*, namun hal ini tidak terlalu berpengaruh karena sinyal *output* masih mampu mendekati ataupun menyamai nilai *setpoint* yang *random* baik pada saat nilai naik maupun saat nilai turun

Walaupun ada beberapa keadaan dimana sinyal *output* melebihi sedikit dari *setpoint* dan ini disebabkan oleh gangguan *noise*. Ketika nilai *noise* diperbesar maka gangguan terhadap sistem respon semakin besar dan jika gangguan sangat besar maka akan menyebabkan sistem menjadi sangat tidak stabil. Namun secara keseluruhan sistem respon ini berjalan dengan baik.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah dilakukan untuk mengatur sistem laju keluaran air maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Fuzzy logic control* yang digunakan sebagai pengendali laju keluaran pada sistem tangki air dapat bekerja dengan baik. Hal ini ditunjukkan dengan tidak terjadinya nilai *overshoot*. Perubahan aturan *fuzzy* yang dilakukan hanya sedikit lebih baik. Ini dibuktikan dengan nilai *settling time* yang berbeda. Pada percobaan pertama *settling time* yang dibutuhkan adalah sebesar 37.5371 dan pada percobaan kedua sedikit lebih cepat yaitu sebesar 37.4553 namun untuk *rise timenya* masing-masing sama yaitu sebesar 29.9680 dan 29.9069
2. Perubahan pada beberapa aturan *fuzzy* menyebabkan sistem respon mengalami sedikit perubahan tetapi secara keseluruhan sistem berjalan dengan baik.
3. Penambahan beberapa gangguan pada sistem seperti adanya kebocoran dan sumbatan menyebabkan sedikit adanya perubahan pada hasil *output* namun dengan adanya sistem kendali keadaan *output* dapat dikembalikan ke keadaan sesuai dengan *setpoint*.

4. Respon ketika *input* berupa nilai *random* dan adanya blok *noise* sebagai gangguan keadaan *output* mampu mengikuti *setpoint* baik sedang naik maupun sedang turun sekalipun adanya gangguan walaupun ada beberapa keadaan dimana sinyal *output* melebihi sedikit dari *setpoint* namun kerja sistem sudah cukup baik.

5.2 Saran

1. Parameter-parameter untuk logika *fuzzy* dalam sistem ini ditata dengan prosedur pengetahuan dan proses identifikasi bukan dari sistem nyata sehingga kemungkinan untuk salah jauh lebih besar. Untuk itu disarankan untuk lebih banyak dilakukan percobaan-percobaan sampai didapat parameter-parameter yang paling baik.
2. Perlunya aplikasi ini untuk dibuat dalam perangkat keras (hardware), agar diketahui sistem *fuzzy logic control* dapat bekerja dengan baik pada sistem yang sebenarnya.
3. Perlunya pengendalian dengan metode berbeda agar menghasilkan nilai *error* yang jauh lebih kecil lagi dan mengganti ukuran dimensi plant dengan ukuran yang lain untuk mengetahui hasil yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Alim kurnafian, Fahmi,2008.*Simulasi Kendali Sistem Tangki Air Menggunakan Pengendali PID dan Fuzzy*.Skripsi, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas islam Indonesia.
- Hendrawan, Nur, 2002. *Simulasi Pengendali Level Air Berbasis algoritma ANFIS*. Skripsi, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas islam Indonesia.
- Hendra, Jhon,2006.*Simulasi Jaringan Syaraf Tiruan berbasis Metode Backpropagation Sebagai Pengendali Level Air*. Skripsi, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas islam Indonesia.
- Okteri Nugraha, Adhitya, 2010. *Simulasi Pengendali Level Air Menggunakan Sistem Automasi Fuzzy dengan Algoritma Recursive Least Square*. Skripsi, tidak diterbitkan. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Elektro Universitas islam Indonesia.
- Ogata, Katsuhiko,1997.*Teknik Kontrol Automatik*, Jilid 1, Edisi Kedua, Jakarta:Erlangga.
- Kusumadewi, Sri,2002. *Analisis Dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box Matlab*.Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Wahyu, Thomas,2004. *Analisa Dan Desain sistem Kontrol dengan Matlab*.Yogyakarta: Andi.

Ross, T. J,2004. *Fuzzy Logic With Engineering Aplication*, Second Edition.Wiley

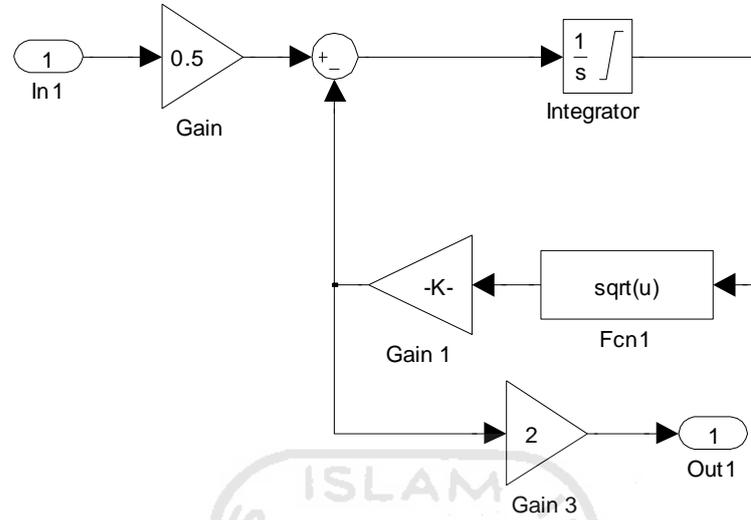
John &Sons, Ltd.



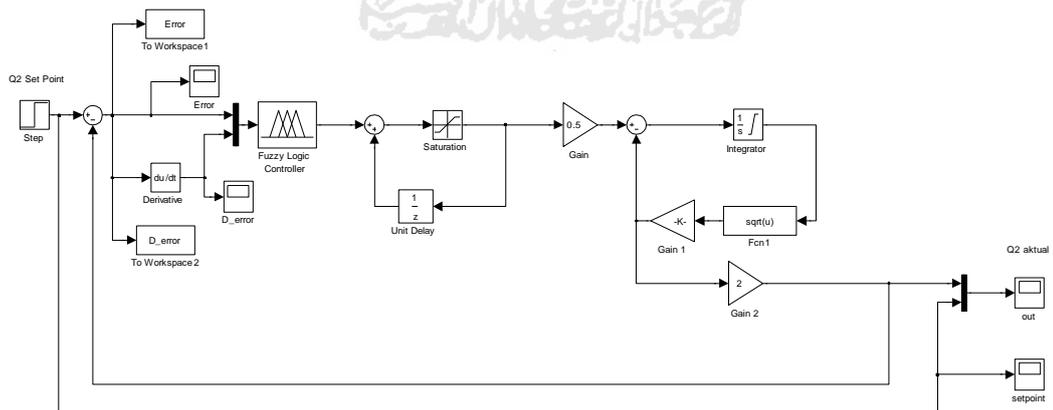
LAMPIRAN



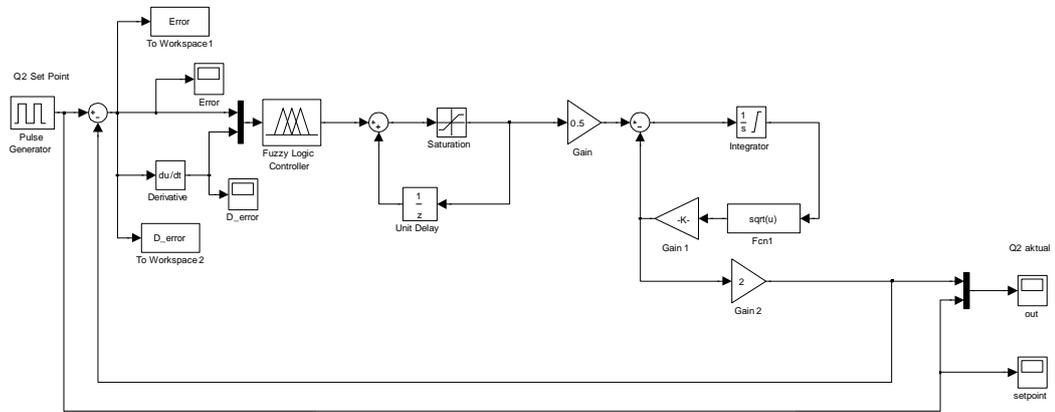
GAMBAR RANGKAIAN SIMULASI PENGAMBILAN DATA



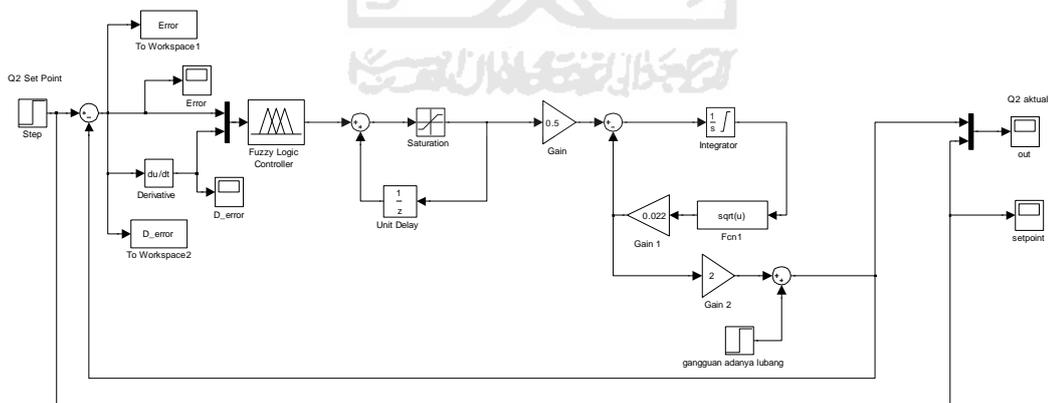
GAMBAR RANGKAIAN SIMULASI DENGAN INPUT STEP



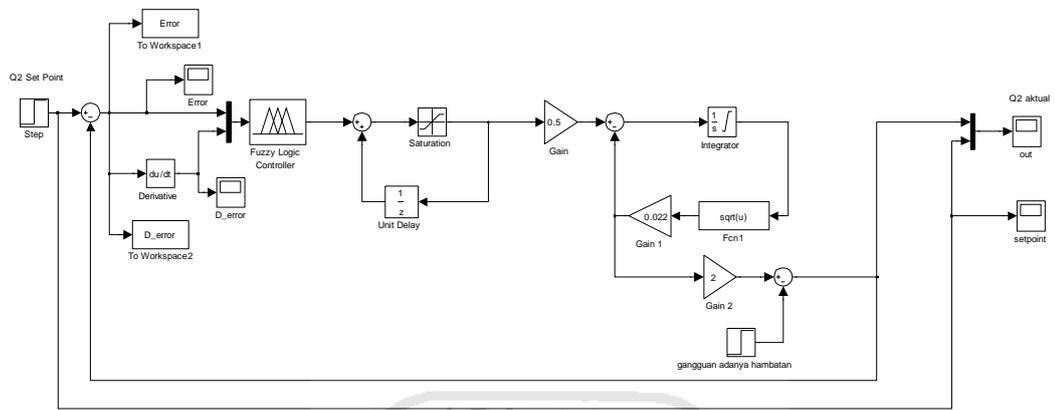
GAMBAR RANGKAIAN SIMULASI DENGAN *INPUT PULSE*



GAMBAR RANGKAIAN SIMULASI DENGAN GANGGUAN BERUPA KEBOCORAN PADA PIPA KELUARAN



**GAMBAR RANGKAIAN SIMULASI DENGAN GANGGUAN BERUPA
SUMBATAN PADA PIPA KELUARAN**



GAMBAR RANGKAIAN SIMULASI DENGAN *RANDOM* DAN *NOISE*

