

**SIMULASI PENGENDALI SUHU BOILER PADA PLTU
MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY**

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia



Oleh :

Nama : INDRA JAYA

No. Mahasiswa : 99 524 121

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

2008

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

**SIMULASI PENGENDALI SUHU BOILER PADA PLTU
MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY**



Jogjakarta, 14 November 2007

Pembimbing 1,

(Ir. Budi Astuti, MT)

Pembimbing 2,

(Dwi Ana Ratna wati, ST)

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
SIMULASI PENGENDALI SUHU BOILER PADA PLTU MENGGUNAKAN
LOGIKA FUZZY**

Oleh :

Nama : Indra Jaya

No. Mahasiswa : 99 524 121

Telah dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat untuk

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 2 Januari 2008

Tim Penguji

Tito Yuwono, ST.MSc.

Ketua

Dwi Ana Ratna Wati, ST

Anggota I

Medilla Kusriyanto, ST

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia



(Tito Yuwono, ST.MSc.)

Persembahkanku

Dengan penuh rasa hormat dan bakti secara khusus, Tugas Akhir ini kupersembahkan persembahkan kepada almarhum ayahanda La Ode Idira. Ayah dan Pahlawan dalam hidupku. Di pusaranmu yang dingin selalu melahirkan ide-ide dan aku mencoba untuk menggalinya dan mengabdikannya untuk anak cucumu di masa depan. Ibunda Wa ode Haminah yang dengan penuh kesabaran membesarkan kami dalam kemiskinan materi tapi bukan dalam kekerdilan jiwa. Kakak-kakakku tercinta almarhum kak Herman, kak Idham, kak Rahman, kak Rahim, kak Syukur, dan kak Wati. Persaudaraan dan kebersamaan kita adalah yang terbaik.

Sherly yang telah menemani di masa-masa perjuangan dengan cinta dan kasih sayang.

MOTTO

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum kaum itu sendiri mengubah apa yang ada pada diri mereka

(QS. Ar-Ra'd [13]: 11)

Sukses tidak tergantung pada keadaan tapi pada keputusan yang kita ambil. Jangan pernah menyerah pada keadaan (Kak Herman)

Menerima suatu hal itu tidak mudah. Mudah tidak ada dalam hidup orang dewasa. Dalam hidup yang menyedihkan ini kita harus membuang beberapa hal (Indra)

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, Segala puji dari Allah SWT semesta Alam serta shalawat dan salam atas Nabi Muhammad SAW. Atas rahmat dan taufik-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**SIMULASI PENGENDALI SUHU BOILER PADA PLTU MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY**” dapat diselesaikan dengan baik meskipun tidak sempurna seperti yang di inginkan.

Adapun maksud dan tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah untuk melengkapi salah satu syarat dalam menempuh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Disamping itu untuk menambah pengetahuan terhadap ilmu yang telah dipelajari di bangku perkuliahan untuk dapat diterapkan di Masyarakat.

Selama melakukan Tugas Akhir dan dalam penyusunan laporan ini, tidak lepas dari berbagai macam hambatan dan gangguan. Namun berkat motivasi, informasi dan konsultasi dari berbagai pihak, semua masalah dapat diatasi. Untuk itu penyusun menyampaikan rasa hormat sebagai ungkapan terima kasih kepada:

1. Bapak Fathul Wahid selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

2. Bapak Tito Yuwono, ST, MSc selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Ir. Hj. Budi Astuti, MT., selaku Dosen Pembimbing I.
4. Ibu Dwi Ana Ratna Wati, ST. Selaku pembimbing II.
5. Dosen dan karyawan Fakultas Teknologi Industri UII, Ka.Lab dan laboran jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu yang sangat bermanfaat.
6. Buat kedua orang tuaku tercinta, Ayahanda La Ode Idira (Alm) dan Ibunda Wa Ode Haminah. Terima kasih atas kasih sayang yang diberikan, pengorbanan dan keikhlasan yang selalu mengalir setiap saat serta doa yang selalu mengiringi langkah kaki ini. Semoga Allah SWT membalas semuanya dan memberi satu tempat disisi-Nya.
7. Buat Kakak-kakaku tercinta, Kak herman(Alm) sekeluarga, Kak Idham sekeluarga, Kak Rahman sekeluarga, Kak Rahim sekeluarga, Kak Syukur sekeluarga, Kak Wati sekeluarga yang telah banyak membantu tidak hanya doa tapi juga berupa motifasi yang tiada henti serta fasilitas yang diberikan. Terimakasih kak.
8. Mas Iradat atas kesedian dan waktunya untuk memberikan bimbingan dan saran.
9. Anak-anak kost Hidayatullah (RICHIA) Ipan, Gaban,, Mas Wawan, Eko, Andy, Rony, Okta, Arif, Denny, Koko, terima kasih atas doanya dan spiritnya.

10. Buat temanku Kukun, Maruf, Hasan, (last samuray), ..maju terus.....! Seluruh mahasiswa jurusan Teknik Elektro UII.
11. Buat serly dan keluarga, terimakasih atas doa dan perhatiannya.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu hingga selesainya penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

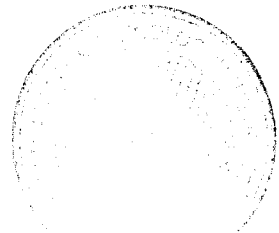
Penulis sangat menyadari, bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Baik dari segi isi, cara penyajian, serta teknik penulisan yang dipergunakan. Karenanya dengan segala kerendahan hati, penulis akan dengan senang hati untuk menerima dan mempertimbangkan segala bentuk saran dan kritik agar laporan ini dapat menjadi lebih baik, dan menuju kesempurnaan tentunya.

Besar harapan laporan ini dapat bermanfaat kepada penulis pada khususnya dan pembaca pada umumnya, Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb

Yogyakarta, Januari 2008

Indra jaya



DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan Pembimbing.....	ii
Lembar Pengesahan Penguji.....	iii
Halaman Persembahan.....	iv
Halaman Motto.....	v
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Tabel	xiv
ABSTRAKSI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodeologi penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI.....	6
2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	6
2.1.1. Bahan Bakar.....	7

2.1.2. Boiler.....	8
2.1.3. Kondensor.....	9
2.1.4. Turbin.....	9
2.2. Teknologi Sistem <i>Fuzzy</i>	10
2.2.1. Himpunan <i>Fuzzy</i>	12
2.2.2. Fuzzifikasi	13
2.2.3. Fungsi Implikasi	14
2.2.4. Defuzzifikasi	15
2.2.5. Metode Mamdani	16
2.3. Logika Fuzzy untuk Sistem Pengendalian Suhu pada PLTU	22
BAB III PERANCANGAN	23
3.1. Perancangan Sistem.....	23
3.2. Pengolahan I/O Sistem Kontrol Suhu Boiler (Plant).....	24
3.3. Perancangan <i>Fuzzy Logic Cotroller</i> (FLC).....	28
3.3.1. Keanggotaan Input	28
3.3.2. Keanggotaan Output	29
3.3.3. <i>Inferensi</i>	32
3.3.4. Defuzzifikasi	35
3.4. Perancangan GUI	35
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Hasil dan Analisis.....	37
4.1.1. Pengujian dengan Suhu 812°K	37

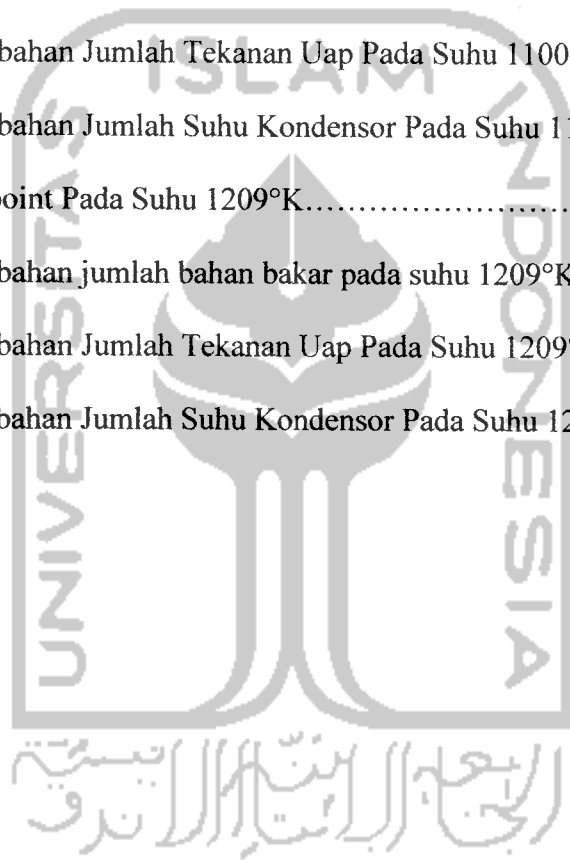
4.1.2. Pengujian dengan Suhu 1100°K.....	39
4.1.3. Pengujian dengan Suhu 1209°K	41
4.2. Pembahasan.....	43
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	44
5.1. Kesimpulan.....	44
5.2. Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Skema Pusat Listrik Tenaga Uap.....	6
Gambar 2.2. Proses Fuzzifikasi	13
Gambar 2.3. Fungsi Implikasi MIN.....	15
Gambar 2.4. Fungsi Implikasi DOT.....	15
Gambar 2.5. Proses Defuzzifikasi	16
Gambar 2.6. Komposisi Aturan	18
Gambar 2.7. Proses Defuzzifikasi.....	19
Gambar 3.1. Diagram blok.....	23
Gambar 3.2. Plant Suhu Boiler	24
Gambar 3.3. Fungsi Keanggotaan <i>Error</i>	28
Gambar 3.4. Fungsi Keanggotaan Selisih Bahan Bakar.....	29
Gambar 3.5. Fungsi Keanggotaan Selisih Tekanan Uap.....	30
Gambar 3.6. Fungsi Keanggotaan Selisih Suhu Kondensor.....	31
Gambar 3.7. <i>Rule Viewer</i> FLC Untuk Suhu Boiler.....	33
Gambar 3.8. <i>Surface Viewer Error</i> vs Suhu Kondensor.....	34
Gambar 3.9. <i>Surface Viewer Error</i> vs Tekanan Uap.....	34
Gambar 3.10. <i>Surface Viewer Error</i> vs Bahan Baka	34
Gambar 3.11. Tampilan GUI Untuk Suhu Boiler	36
Gambar 4.1. Set point Pada Suhu 812.9°K	38
Gambar 4.2. Perubahan Jumlah Bahan Bakar Pada Suhu 812.9°K	38

Gambar 4.3.	Perubahan Jumlah Tekanan Uap Pada Suhu 812.9°K	38
Gambar 4.4.	Perubahan Jumlah Suhu Kondensor Pada Suhu 812.9°K	39
Gambar 4.5.	Set point Pada Suhu 1100°K.....	39
Gambar 4.6.	Perubahan Jumlah Bahan Bakar Pada Suhu 1100°K.....	40
Gambar 4.7.	Perubahan Jumlah Tekanan Uap Pada Suhu 1100°K.....	40
Gambar 4.8.	Perubahan Jumlah Suhu Kondensor Pada Suhu 1100°K	40
Gambar 4.9.	Set point Pada Suhu 1209°K.....	41
Gambar 4.10.	Perubahan jumlah bahan bakar pada suhu 1209°K.....	41
Gambar 4.11.	Perubahan Jumlah Tekanan Uap Pada Suhu 1209°K.....	42
Gambar 4.12.	Perubahan Jumlah Suhu Kondensor Pada Suhu 1209°K	42



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Hasil Uji Data Plant.....	27
Table 3.2. Selisih Nilai Input Dan Output	27
Table 4.1. Hasil Percobaan Pada Pengendali Suhu Boiler	42



ABSTRAKSI

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan boiler untuk menghasilkan uap yang akan menggerakkan turbin. Suhu di dalam boiler tergantung dari jumlah bahan bakar, tekanan uap, suhu kondensor, dan besarnya energi yang dibutuhkan turbin. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem untuk dapat mengendalikan suhu boiler pada PLTU.

Merancang pengendali suhu boiler dapat dilakukan dengan menggunakan logika *fuzzy* berbasis MATLAB. Input dari pengendali *fuzzy* ini adalah *error* dan output yang dihasilkan berupa selisih bahan bakar, tekanan uap, dan suhu kondensor. Pada pengendali *fuzzy* yang dirancang baik input maupun outputnya menggunakan tujuh himpunan keanggotaan dengan lima bentuk segitiga dan dua bentuk trapesium. Fungsi keanggotaan ini adalah BN, MN, SN, *Zerro*, SP, MP, serta BP.

Dari hasil penelitian yang dilakukan secara keseluruhan kinerja sistem cukup baik karena setiap pengujian masukan berupa setpoint mampu merespon perubahan yang terjadi dengan baik tanpa terdapat *overshoot* dengan rata-rata *settling time* yang diperlukan yaitu 6 detik dan *rise time* 4 detik.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi sebagai suatu arus panas dapat berasal dari pembakaran bahan bakar fosil, radiasi surya, atau reaksi nuklir. Pemanasan atau pendinginan ruangan dan berbagai proses industri mempergunakan energi dalam jumlah yang besar. Energi berupa panas dapat dikonversikan menjadi energi mekanikal yang menggerakkan sebuah piston atau memutar sebuah generator, sehingga menjadi "kerja". Pusat-pusat tenaga listrik mengubah energi panas menjadi energi mekanikal dan energi listrik melalui suatu siklus konversi energi. Kerja atau energi yang bermanfaat, yang diperoleh dari suatu arus energi akan tergantung dari jumlah panas, pola suhu dan suhu lingkungan atau suhu penerima panas yang tersedia.

Berdasarkan hal di atas pada penelitian ini akan dibuat pengendali suhu boiler pada PLTU, yang dimaksudkan untuk dapat mengatur jumlah bahan bakar, tekanan uap, suhu kondensor sehingga penggunaan energi dapat dikendalikan.

Sistem pengendalian ini menggunakan logika *fuzzy* karena keunggulannya dibandingkan pengendali klasik, terutama untuk plant yang kompleks dan sulit dicari model matematika serta untuk tujuan pengendalian yang unik (khusus). Pada kendali logika *fuzzy*, masukan, keluaran, dan tanggapan sistem dinyatakan dengan istilah yang digunakan oleh keahlian manusia, sehingga model matematika yang rumit dari sistem yang dikendalikan tidak perlu diketahui.

Cukup hanya mengetahui hubungan yang pasti antara masukan dan keluaran dapat dibuat aturan untuk mendapatkan variabel pengendali.

Di dalam pengaplikasiannya penelitian ini menggunakan simulasi untuk melihat hasil kinerja dari sistem pengendali. Simulasi adalah suatu metodologi untuk melaksanakan percobaan dengan menggunakan model dari suatu sistem nyata. Sedangkan ide dasarnya adalah menggunakan beberapa perangkat untuk meniru sistem nyata guna mempelajari dan memahami sifat-sifat tingkah laku dan karakter operasinya. Oleh karena itu simulasi berkenaan dengan percobaan untuk menaksir tingkah laku dari sistem nyata untuk maksud perancangan sistem. Tingkah laku tersebut boleh berupa fisik atau matematik yang menggambarkan sifat-sifat dari sistem yang sesungguhnya.

Simulasi pengendali suhu ini dibuat dengan menggunakan salah satu perangkat lunak (software) berupa MATLAB 7.1, sedangkan tempat yang digunakan dalam pengambilan data simulasi ini adalah PT. SURALAYA, PLTU unit 4 dan 5 di Serang Banten.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan di atas maka dapat diambil suatu rumusan masalah yaitu: Bagaimana merancang penengendali suhu boiler pada PLTU dengan logika *fuzzy*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah membuat simulasi pengendali suhu pada PLTU yang menggunakan kendali *fuzzy* berbasis MATLAB dengan masukan berupa suhu

boiler dan keluarannya berupa tekanan uap, jumlah bahan bakar, dan suhu kondensor.

1.4. Batasan Masalah

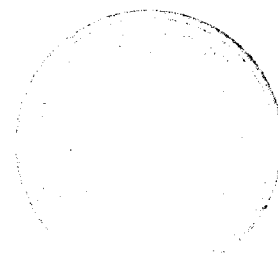
Pada penelitian ini agar tidak meluas ke permasalahan lain dan lebih terarah sebagaimana tujuan, penulis membatasi penelitian agar memperoleh suatu solusi yang diinginkan. Batasan masalah tersebut adalah :

- a Salah satu tempat yang diambil sebagai contoh dalam penelitian adalah PT. SURALAYA, PLTU unit 4 dan 5 di Serang, Banten.
- b Dalam penelitian ini besaran-besaran lain yang berpengaruh dalam PLTU ini dianggap konstan.
- c Input yang digunakan pada *fuzzy* yaitu bahan bakar, suhu kondensor, dan tekanan uap, keluarannya berupa jumlah suhu boiler pada PLTU.
- d Pada penelitian ini, pengendali suhu hanya difokuskan pada suhu boiler pada PLTU.
- e Hardware dari hasil perancangan menggunakan perangkat lunak MATLAB 7.1.

1.5. Metodeologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

- a. Studi literatur yang dipergunakan untuk teori logika *fuzzy*
- b Pembuatan program simulasi dengan menggunakan MATLAB programing.
- c Pengamatan terhadap hasil data yang didapatkan dan kemudian melakukan analisis terhadap data tersebut.



1.6. Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan dalam memahami laporan tugas akhir ini dikemukakan sistematika penulisan agar menjadi satu kesatuan yang runtun. Adapun sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang diambilnya permasalahan yang terjadi pada objek yang diambil, rumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan yang dikehendaki dalam pemecaan masalah, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini memuat teori-teori yang berhubungan dengan penelitian dan juga berisi dasar teori yang berhubungan dengan fungsi atau piranti yang akan digunakan.

BAB III PERANCANGAN SISITEM

Bagian ini menjelaskan metode-metode perancangan yang digunakan, perancangan dari simulasi yang akan dibuat dan berisi lebih terperinci tentang apa yang akan disampaikan pada tugas akhir ini.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

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

BAB II
LANDASAN TEORI

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu pusat tenaga listrik yang menggunakan uap sebagai medium kerja. Gambar 2.1 memperlihatkan skema dari Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang terdiri atas komponen-komponen penting yaitu: boiler, turbin uap, dan kondesor.

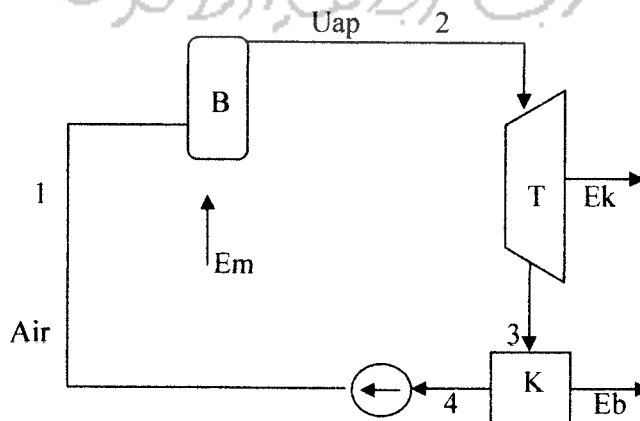
Jumlah energi masuk sebagai bahan bakar melalui boiler adalah E_m , sedangkan energi efektif yang tersedia pada poros turbin adalah energi kerja (E_k). Energi yang terbuang melalui kondensator adalah sebesar E_b . Dengan menganggap semua kerugian lainnya termasuk E_b , maka dapat dikatakan bahwa :

$$E_m = E_k + E_b \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

Sedangkan untuk efisiensi kerja dapat ditulis:

$$\eta = \frac{E_k}{E_m} = \frac{E_m - E_b}{E_m} \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

[Abdul Kadir, 1996 "Pembangkit Tenaga Listrik" UI-Press]



Gambar 2.1. Skema Pusat Listrik Tenaga Uap

Keterangan:

B : Boiler

T : Turbin

K : Kondensor

P : Pompa

Pada penelitian ini masalah yang dianggap cukup penting untuk menghasilkan suhu yang diinginkan pada boiler adalah jumlah bahan bakar, tekanan uap, dan suhu kondensor.

2.1.1 Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan adalah batu bara. Batu bara mengalami beberapa proses pengolahan sebelum siap untuk dibakar di dalam *burner*. Batu bara pertama kali akan diolah di dalam *cusher* (penggiling batu bara) sehingga dihasilkan bubuk batu bara. Kemudian bubuk batu bara tersebut di kirim ke *fuel feeder* (tempat penyimpanan batu bara sementara).

Untuk mengatur jumlah batu bara yang masuk ke dalam *burner* digunakan alat yang disebut *pulverizer*, yang prinsip kerjanya semacam karburator. Proses pembakaran terjadi pada *burner* dan sisa pembakaran berupa abu batu bara akan dialirkan ke *ash storage*, sisa pembakaran yang berupa gas dikirim ke *stack* dan mengalami proses kimia untuk membuang SO₃. Besarnya energi yang dilepaskan setelah mengalami proses pembakaran dituliskan dalam rumus :

$$\Delta Q = mB \cdot H_f \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

ΔQ = energi yang dihasilkan (kal)

m_B = massa bahan bakar (kg)

H_f = nilai kalor bahan bakar (kal/kg)

2.1.2 Boiler

Boiler merupakan suatu alat dengan prinsip kerja seperti ketel, yang digunakan sebagai tempat pemanasan air (*feedwater*) menjadi uap kerja (*steam*). Di dalam boiler terdapat *burner* yang merupakan tempat pembakaran batu bara sebagai bahan bakar utama yang digunakan sehingga mampu menghasilkan energi panas berupa api. Api hasil pembakaran batu bara tersebut digunakan untuk memanaskan air yang dialirkan melalui pipa-pipa. Pemanasan air terjadi pada dinding-dinding pipa. Hal ini dimaksudkan supaya terjadi transfer panas yang sempurna karena bidang sentuhannya lebih luas.

Uap yang terbentuk kemudian dikumpulkan di dalam suatu tempat yang dinamakan *steam drum*, kemudian uap akan dipisahkan dari kandungan air dan menjadi uap murni dan mengurangi kandungan benda padat dari uap. Pemisahan uap dan air ini dimaksudkan untuk mencegah korosi pada pipa-pipa dan *steam drum* serta untuk memperoleh uap yang benar-benar murni sehingga akan meningkatkan energi yang lebih besar. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan:

$$\Delta Q_{\text{boiler}} = m \cdot C \cdot (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

H : entalpi (kal/kg)

m : massa air (kg)

T_1 : suhu kondensor ($^{\circ}\text{K}$)

T_2 : suhu boiler ($^{\circ}\text{K}$)

C : kapasitas kalor spesifik air = $4184\text{J/kg} = 100\text{ kal/kg}$

2.1.3 Kondensor

Fungsi utama kondensor pembangkit adalah mengubah uap air yang terjadi dalam turbin ke kondisi kondensasi. Uap yang memasuki kondensor didinginkan oleh air pendingin yang menghasilkan air yang dialirkan ke dalam boiler. Di dalam prosesnya uap melepas kalor dan air pendingin menyerap kalor. Besarnya suhu kondensor dapat kita ketahui melalui persamaan (2.4) di atas dan persamaan pada sistem turbin.

2.1.4 Turbin

Turbin adalah peralatan yang mengubah energi mekanis yang dikandung oleh fluida menjadi energi mekanis putaran. Sistem ini termasuk unit stasiun pusat yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik pada kecepatan sinkron 3000 Rpm dan mempunyai kapasitas daya dari 16 – 1500 MW.

Turbin penggerak mekanis digunakan untuk menggerakkan draftfan yang besar, pompa-pompa, kompresor dan mesin-mesin berputar lainnya. Sistem ini umumnya beroperasi pada kecepatan 900 – 10000 putaran permenit dan mempunyai range kapasitas antara 0,5 – 10 MW.

Dalam penelitian ini efisiensi mesin dianggap 63% efisiensi suatu mesin carnot yang beroperasi antara kedua suhu yang sama, sehingga besarnya usaha yang dihasilkan dirumuskan dengan :

$$P = \Delta Q \cdot 0.63 \cdot (1 - T_1/T_2) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\Delta W = p \Delta V \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

P : Daya yang dihasilkan (Watt)

ΔQ : Energi yang dihasilkan (kal)

T₁ : Suhu kondensor (°K)

T₂ : Suhu boiler (°K)

p : tekanan uap (N/m²)

ΔV : perubahan volume (m³)

ΔW : usaha yang dilakukan pada turbin

2.2 Teknologi Sistem Fuzzy

Dalam perjalanan perkembangan suatu generasi teknologi menurut Albert T.Zebua dan Wahidin Wahab akan menjadi lebih mantap dan menjadi berdaya guna tinggi, membutuhkan adanya pengembangan dasar pengetahuan dan dilakukannya berbagai macam riset atau penelitian yang bersifat eksperimental. Penelitian atau riset ini akan memberikan jawaban terhadap pertanyaan mendasar seperti: teori-teori apa saja yang secara praktis masih relevan untuk kemudian dikembangkan atau teori mana saja yang sama sekali tidak bisa digunakan lagi.

Teori yang bermanfaat adalah teori yang dianggap mampu menggabungkan pengendali *fuzzy* dengan sistim kendali konvensional atau algoritma kendali modern seperti jaringan neural, algoritma genetic dan lain sebagainya.

Pada generasi pertama teknologi *fuzzy*, terdapat beberapa kendala yang ditemui untuk mengembangkan penerapannya pada industri-industri atau sistem kendali yang telah ada. Saat ini logika *fuzzy* telah berhasil menerobos kendala-

kendala yang dulu pernah ditemui dan segera menjadi basis teknologi tinggi. Penerapan teori logika ini dianggap mampu menciptakan revolusi dalam teknologi. Sebagai contoh, mulai tahun 90-an para manufaktur industri yang bergerak dibidang *Distributed Control System* (DCSs), *Programmable Controlers* (PLCs) dan *Microcontrollers* (MCUs) telah menyatukan sistem logika *fuzzy* pada barang produksi mereka dan memiliki prospek ekonomi yang baik. Sebuah perusahaan mikroprosesor terkemuka, Motorola, dalam sebuah jurnal teknologi, pernah menyatakan “bahwa logika *fuzzy* pada masa-masa mendatang akan memainkan peranan penting pada sistem kendali digital”. Pada masa yang bersamaan, pertumbuhan yang luar biasa terjadi pada industri perangkat lunak yang menawarkan penggunaan logika *fuzzy* dan penerapannya pada setiap aspek kehidupan sehari-hari.

Ada dua alasan utama yang mendasari pengembangan teknologi berbasis sistem *fuzzy*:

1. Menjadi *State-of-the-art* dalam sistem kendali berteknologi tinggi. Jika diamati pengalaman pada negara-negara berteknologi tinggi, khususnya di negara Jepang, pengendali *fuzzy* sudah sejak lama dan luas digunakan di industri-industri dan alat-alat elektronika. Daya gunanya dianggap melebihi teknik kendali yang pernah ada. Pengendali *fuzzy* terkenal karena keandalannya, mudah diperbaiki dan yang lebih penting lagi pengendalian *fuzzy* memberikan pengendalian yang sangat baik dibandingkan teknik lain, yang biasanya membutuhkan usaha dan dana yang besar.

2. Dalam prespektif yang lebih luas, pengendali *fuzzy* ternyata sangat bermanfaat pada aplikasi-aplikasi sistem identifikasi dan pengendalian *illstructured*, dimana linearitas dan invariansi waktu tidak bias ditentukan dengan pasti, karakteristik proses mempunyai faktor *lag*, dan dipengaruhi oleh derau acak. Bentuk sistem seperti ini jika dipandang sistem konvensional sangat sulit untuk dimodelkan.

2.2.1 Himpunan fuzzy

Himpunan *fuzzy* didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sedemikian sehingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval $[0, 1]$. Nilai keanggotaannya menunjukkan bahwa suatu item dalam semesta pembicaraan tidak hanya berada pada 0 atau 1.

Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis $\mu_A[x]$, memiliki 2 kemungkinan, yaitu:

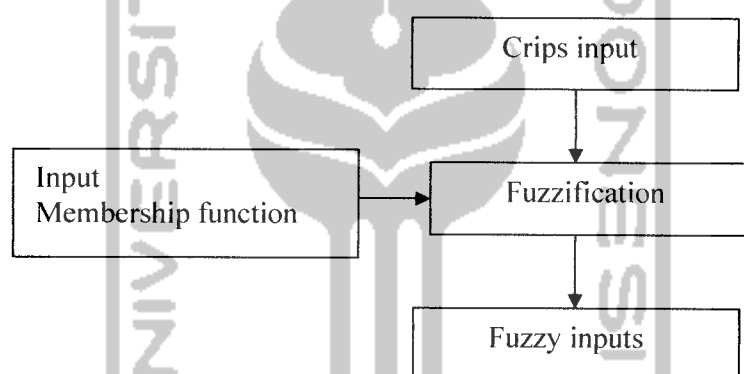
1. Satu (1), yang berarti bahwa satu item menjadi anggota dalam suatu himpunan.
2. Nol (0), yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan.

Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu :

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami, seperti : MUDA, PAROBAYA, TUA.
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti : 40, 25, 50, dsb.

2.2.2 Fuzzifikasi

Proses ini berfungsi untuk merubah suatu besaran analog menjadi *fuzzy* input. Secara diagram blok dapat dilihat pada gambar 2.2. Prosesnya suatu besaran analog dimasukan sebagai input (*crisp* input), lalu input tersebut dimasukan pada batas *scope/domain* sehingga input tersebut dapat dinyatakan dengan label (dingin, panas, cepat, dll). Dari fungsi keanggotaan kita bisa mengetahui berapa *degree of membership function*nya.



Gambar 2.2. Proses fuzzifikasi

Jika fungsi keanggotaannya banyak maka sistem akan menjadi sensitif. Dalam artian jika inputnya berubah sedikit saja maka sistem akan cepat merespon dan menghasilkan suatu output lain. Output dari proses fuzzifikasi ini adalah sebuah nilai input *fuzzy* atau yang biasanya dinamakan *fuzzy* input.

Ada 2 cara untuk mendefinisikan keanggotaan himpunan *fuzzy*, yaitu numeris dan fungsional. Definisi secara numeris mengekspresikan derajat fungsi keanggotaan dari suatu himpunan *fuzzy* sebagai suatu vektor dengan dimensi yang tergantung pada ukuran diskritisasi, misalnya: jumlah elemen-elemen diskret

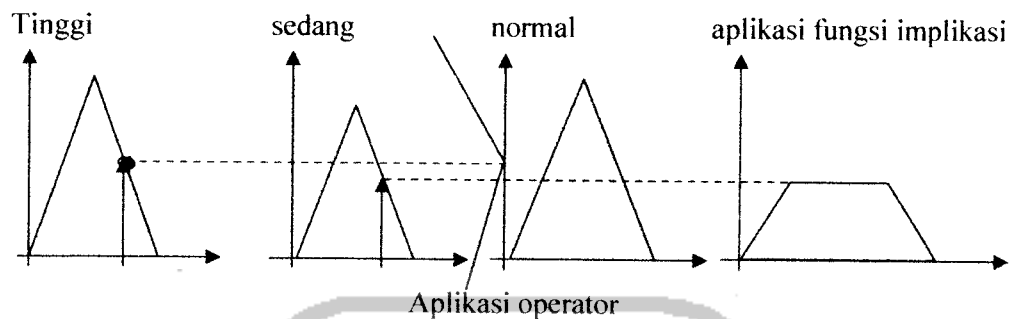
dalam semesta pembicaraan. Sedangkan definisi fungsional mendefinisikan fungsi keanggotaan dari himpunan *fuzzy* secara analisis dari hasil perhitungan. Fungsi keanggotaan secara fungsional pada umumnya dibagi 3, yaitu: fungsi S, fungsi π , dan fungsi T.

- Fungsi S merupakan kurva PERTUMBUHAN dan PENYUSUTAN yang berhubungan dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara tak linear.
- Fungsi π merupakan gabungan dari kurva PERTUMBUHAN dan PENYUSUTAN yang berbentuk lonceng.
- Fungsi T merupakan kurva berbentuk trapesium dengan kenaikan dan penurunan permukaan secara linear.

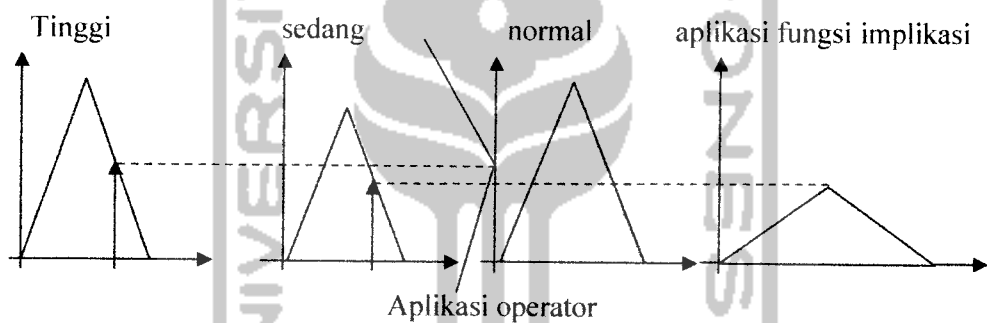
2.2.3 Fungsi implikasi

Bentuk umum dari aturan yang digunakan dalam fungsi implikasi adalah IF (X1 is A1) • (X2 is A2) • ... • (Xn is An) Then y is B. Dengan x variabel-variabel masukan dan y variabel keluaran. A1, A2, dan B adalah himpunan *fuzzy* dan • adalah operator *fuzzy*. Secara umum, ada dua fungsi implikasi yang dapat digunakan :

- a) Min (minimum), fungsi ini akan memotong keluaran himpunan *fuzzy*, ditunjukkan oleh gambar 2.3 dibawah.
- b) Dot (product) yang ditunjukkan oleh gambar 2.4 dibawah, fungsi ini akan menskala keluaran himpunan *fuzzy*.



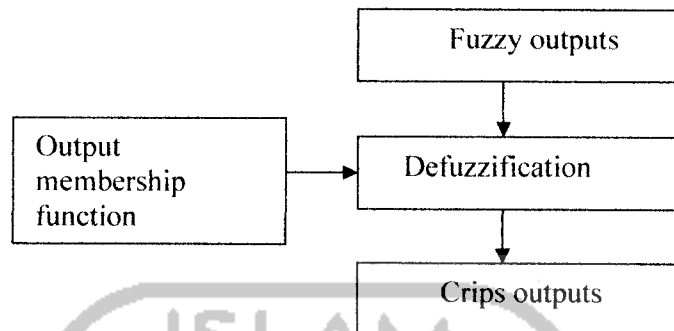
Gambar 2.3 Fungsi implikasi MIN



Gambar 2.4 Fungsi implikasi DOT

2.2.4 Defuzzifikasi

Proses ini berfungsi untuk menentukan suatu nilai *crisp output*. Prosesnya adalah suatu nilai *fuzzy output* yang berasal dari *rule evaluation* diambil kemudian dimasukan ke dalam suatu *membership function output*. Besar nilai *fuzzy output* dinyatakan sebagai degree of membership function output. Nilai-nilai tersebut dimasukan ke dalam suatu rumus yang dinamakan *Center of Gravity (COG)* untuk mendapatkan hasil akhir yang disebut *crisp output*. *Crisp output* adalah suatu nilai analog yang dibutuhkan untuk mengelola data pada sistem yang telah dirancang.



Gambar 2.5. Proses defuzzifikasi

Masukan untuk proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari proses komposisi aturan-aturan *fuzzy*. Dan jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam interval tertentu, maka harus dapat diambil nilai tegasnya (*crisp*) tertentu sebagai keluaran.

2.2.5 Metode Mamdani

Metode mamdani disebut juga dengan metode Max-Min. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk mendapatkan output, diperlukan 4 tahapan:

1. Pembentukan himpunan fuzzy

Variabel input maupun variabel output dibagi menjadi satu atau lebih himpunan fuzzy.

2. Aplikasi fungsi implikasi (aturan)

Fungsi implikasi yang digunakan adalah MIN

3. Komposisi aturan

Inferensi diperoleh dari kumpulan dan korelasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi sistem fuzzy, yaitu: *max*, *additive*, dan probabilistik OR (probor)

a. Metode *max* (maximum)

Solusi himpunan *fuzzy* yang ditunjukkan oleh gambar 2.6, diperoleh dengan mengambil nilai maksimum aturan, dan digunakan untuk memodifikasi daerah dan mengaplikasikannya ke keluaran dengan operator OR (Union). Secara umum dapat dituliskan :

$$\mu_{sf}[x_i] = \max (\mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \dots\dots\dots(2.7)$$

dengan:

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

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

b. Metode *additive* (Sum)

Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan melakukan penyesuaian nilai keanggotaan yang tinggi terhadap semua keluaran daerah *fuzzy*.

$$\mu_{sf}[x_i] = \min (1, \mu_{sf}[x_i], \mu_{kf}[x_i]) \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

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

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

c. Metode probabilistik OR (PROBOR)

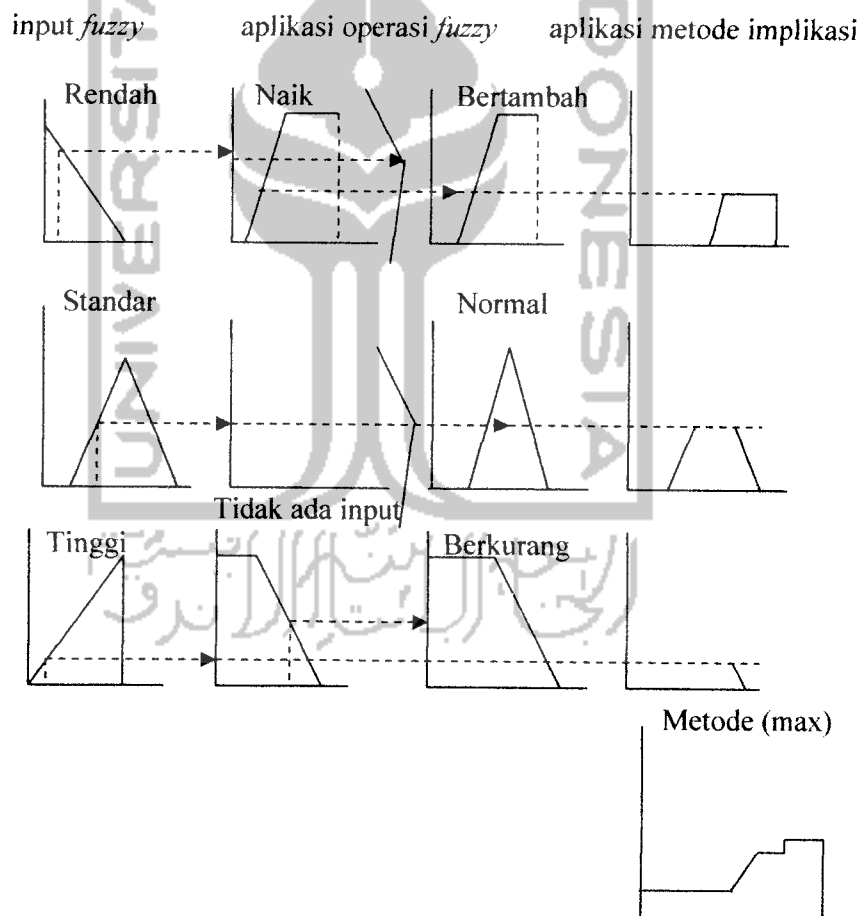
Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan perkalian semua keluaran daerah *fuzzy*.

$$\mu_{sf}[x_i] = (\mu_{sf}[x_i] + \mu_{kf}[x_i]) - (\mu_{sf}[x_i] * \mu_{kf}[x_i]) \dots (2.9)$$

dengan:

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

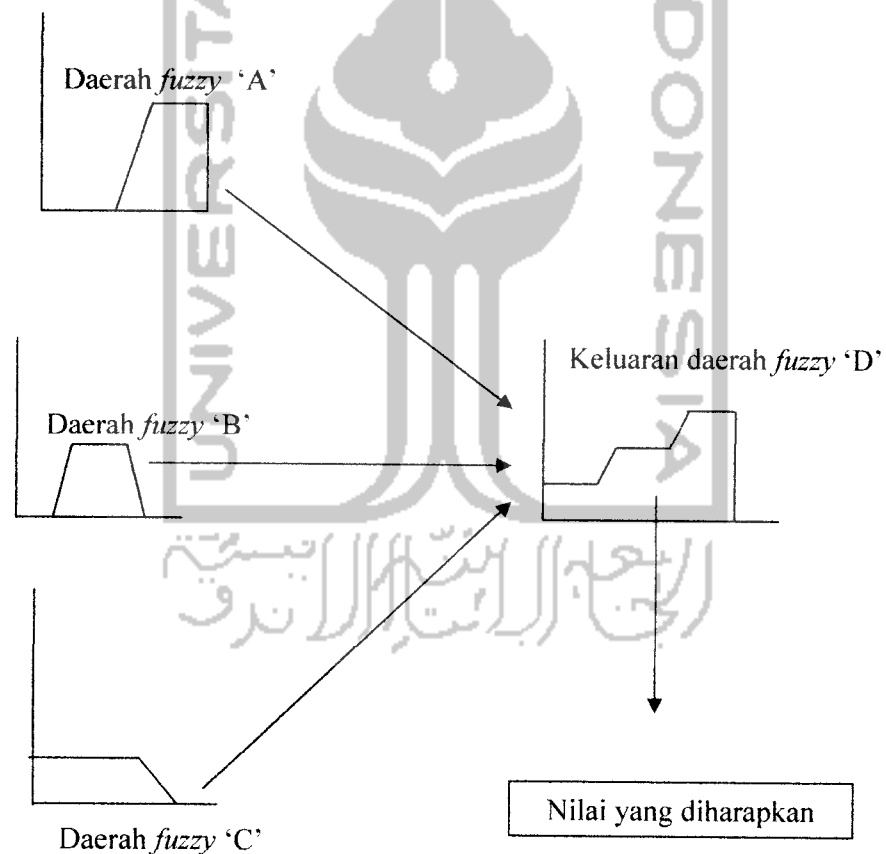
$\mu_{kf}[x_i]$ = nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke- *i*



Gambar 2.6 Komposisi aturan

4. Penegasan (defuzzifikasi)

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. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai output seperti terlihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Proses defuzzifikasi

Ada beberapa metode defuzzy yang bisa dipakai pada komposisi aturan

Mamdani, antara lain:

1. Metode *centroid*

Solusi diperoleh dengan cara mengambil titik pusat pada daerah *fuzzy*.

Secara umum dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Untuk variabel kontinyu: } Z^* = \frac{\int z\mu(z)dz}{\int \mu(z)dz} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Untuk variabel diskret: } Z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j\mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \dots\dots\dots(2.11)$$

keterangan:

Z^* = Nilai defuzifikasi

$\mu(z)$ = derajat keanggotaan daerah komposisi *fuzzy*

$\mu(z_j)$ = derajat keanggotaan daerah komposisi *fuzzy* ke-j

2. Metode *bisector*

Solusi diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan sebagai berikut:

dengan:

$$Z = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \mu A(di) \dots\dots\dots(2.12)$$

Z = nilai defuzzifikasi

μA = derajat keanggotaan daerah komposisi *fuzzy* ke-l

3. Metode *mean of maximum* (MOM)

Solusi diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Secara umum dituliskan sebagai berikut:

$$Z = \text{mean} \{d_i \mid \mu(d_i) = \text{maximum } \mu_A\} \dots \dots (2.13)$$

dengan:

Z = nilai defuzzifikasi

$\mu(d_i)$ = derajat keanggotaan maximum daerah komposisi *fuzzy*

4. Metode *Smallest of Maximum* (SOM)

Solusi diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Secara umum dituliskan sebagai berikut:

$$x = \min \{d_i \mid \mu(d_i) = \text{maximum } \mu_A\} \dots \dots (2.14)$$

dengan:

z = nilai defuzzifikasi

$\mu(d_i)$ = derajat keanggotaan maksimum daerah komposisi *fuzzy*

5. Metode *Largest of Maximum* (LOM)

Solusi diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Secara umum dituliskan sebagai berikut:

$$X = \max \{d_i \mid \mu(d_i) = \text{maximum } \mu_A\} \dots \dots (2.15)$$

dengan:

z = nilai defuzzifikasi

μ_A = derajat keanggotaan maksimum daerah komposisi *fuzzy*

2.3. Logika *Fuzzy* Untuk Sistem Pengendalian Suhu pada PLTU

Beberapa istilah yang digunakan pada pengendali suhu, antara lain big negatif, medium negatif, small negative, zero, big positif, medium positif, dan small positif. Jelas istilah tersebut dapat menimbulkan kemenduan (*ambiguity*) dalam pengertiannya. Logika *fuzzy* dapat mengubah kemenduan tersebut kedalam model matematis sehingga dapat diproses lebih lanjut untuk dapat diterapkan dalam sebuah sistem kendali. Menggunakan teori himpunan *fuzzy* logika bahasa dapat diwakili oleh sebuah daerah yang mempunyai jangkauan tertentu yang menunjukkan derajat keanggotaannya. Derajat keanggotaan tersebut mempunyai nilai bergradasi sehingga mengurangi lonjakan pada sistem.

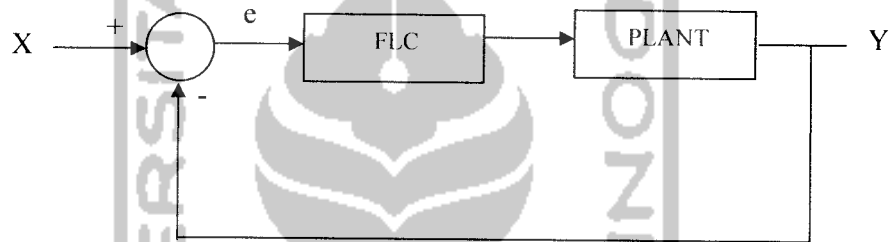
Sistem pengendalian *fuzzy* dirancang mempunyai satu masukan dan tiga keluaran. Masukan adalah *error*, masukan ini oleh logika *fuzzy* diubah menjadi bentuk fungsi keanggotaan dapat diatur sesuai dengan distribusi data yang di dapat. Keluarannya berupa selisih bahan bakar, tekanan uap, dan suhu kondensor.

Pada tugas akhir ini untuk mengetahui jumlah bahan bakar, besarnya tekanan uap, suhu kondensor, dan jumlah suhu pada pembakaran di boiler dilakukan pengambilan data di PT. SURALAYA, PLTU unit 4 dan 5 di Serang, Banten. Adapun faktor-faktor lain yang mempengaruhi dianggap konstan.

BAB III PERANCANGAN

3.1. Perancangan Sistem

Pada penelitian sistem kontrol pengendali suhu boiler ini menggunakan softwer Matlab 7.01. Secara umum perancangan sistem digambarkan melalui diagram pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram blok

Keterangan :

- X = Suhu referensi
- e = *Error* (Suhu referensi – Suhu aktual)
- FLC = *Fuzzy Logic Controler*
- Y = Suhu aktual

X merupakan suhu referensi yang menjadi input dari sistem ini. Jika hasil suhu yang diinginkan telah sama dengan suhu referensi maka set point nol. Artinya kontroler tidak lagi memberikan sinyal aktuasi pada plant karena target akhir perintah telah diperoleh. Makin kecil *error* terhitung maka makin kecil pula sinyal pengemudian kontroler terhadap plant sampai akhirnya mencapai kondisi tenang (*steady state*).

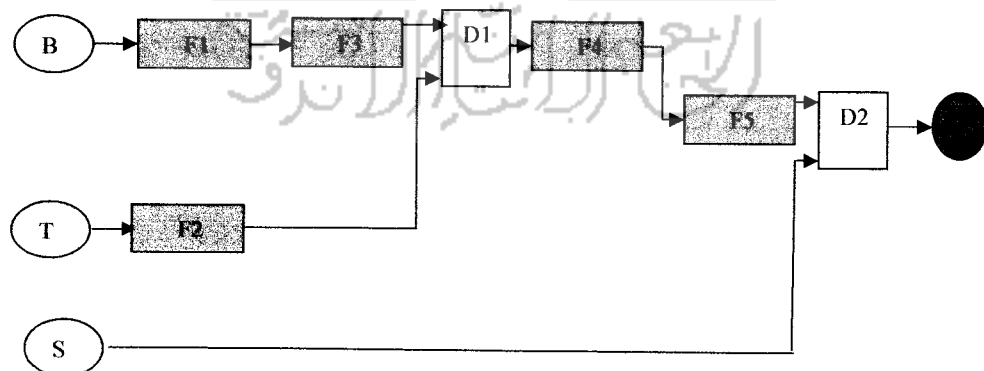
Fuzzy kontrol berfungsi sebagai pengendali yang bersifat konvergen jika dalam rentang waktu pengontrolan nilai *error* menuju nol, dan keadaan dikatakan stabil jika setelah konvergen kontroler mampu menjaga agar *error* selalu nol.

Keluaran dari *fuzzy* kontrol akan diintegrasikan untuk mendapatkan nilai masukan input untuk kemudian diolah di plant. Output yang dihasilkan adalah kondisi suhu yang diinginkan.

Penampil yang terdapat pada sistem kontrol suhu berupa *scope*. *Scope* akan menunjukkan grafik nilai bahan bakar, tekanan uap, suhu kondensor, set point, serta perbandingan suhu aktual dan referensi.

3.2. Pengolahan I/O Sistem Kontrol Suhu Boiler (Plant)

Pada plant, hal pertama yang dilakukan adalah membuat persamaan matematis untuk mengolah hasil dari keluaran *fuzzy*. Dalam plant ini terdapat tiga buah input yaitu jumlah bahan bakar, tekanan uap, dan suhu kondensor. Keluaran dari plant ini adalah suhu boiler. Perancangan plant digambarkan melalui gambar 3.2.



gambar 3.2 Plant suhu boiler

Keterangan :

- R = Bahan bakar

- T = Tekanan uap
- S = Suhu kondensor
- F1 = Fungsi 1
- F2 = Fungsi 2
- F3 = Fungsi 3
- F4 = Fungsi 4
- F5 = Fungsi 5
- D1 = Dot 1
- D2 = Dot 2
- Y = Suhu boiler aktual

Nilai dari input di atas didasarkan pada informasi di PLTU Suralaya. Dari data-data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai fungsi dalam plant.

Hasil pengolahan tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut ini :

$$\text{Jumlah bahan bakar} = 175 \text{ ton/jam} = 175 \cdot 10^3 \text{ kg} / 3600 \text{ s} = 48,6 \text{ kg/s}$$

$$\text{Nilai kalor batu bara} = 5000 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K} = 5 \cdot 10^6 \text{ kal/kg}$$

dari persamaan (2.3) kalor yang diperlukan :

$$(\Delta Q) = m_B \cdot H_f = 48,6 \cdot (5 \cdot 10^6) = 243 \cdot 10^6 \text{ kal/s}^\circ\text{K}$$

Diketahui suhu boiler = 813°K,

dan suhu kondensor = 313°K

dari persamaan (2.4) diperoleh massa air yang dalam penelitian ini nilainya kita anggap konstan.

Usaha yang dilakukan pada boiler = kalor yang diperlukan

$$m C \Delta T = m_B \cdot H_f$$

$$243 \cdot 10^6 \text{ kal/s}^\circ\text{K} = m \cdot 100 \text{ kal/kg} \cdot (813-313)^\circ\text{K}$$

$$M = 243 \cdot 10^6 / 100 \cdot 500 = 48,6 \cdot 10^2 \text{ kg/s}$$

dari persamaan(2.3) dan (2.4), usaha yang terjadi pada turbin.

$$\begin{aligned} \Delta W &= \Delta Q \cdot 0,63 \cdot (1 - T_1/T_2) \\ &= (243 \cdot 10^6) \cdot 0,63 \cdot (1 - 313/813) \\ &= 94,15 \cdot 10^6 \text{ kal/s} \end{aligned}$$

Berdasarkan data PLTU Suralaya nilai $p = 176 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$, maka

$$\begin{aligned} \Delta W &= p \cdot \Delta V, \Delta V = \Delta W/p \\ &= 94,15 \cdot 10^6 / 176 \cdot 10^4 \\ &= 53,49 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

nilai perubahan volume pada percobaan ini kita anggap konstan.

Berdasarkan persamaan di atas dan input masukan maka nilai suhu boiler (T_2) di

dalam plant dirumuskan dengan :

$$T_2 = \frac{T_1}{1 - \frac{53,49 p}{0,63 m B \cdot 5 \cdot 10^6}} \dots\dots(3.1)$$

Fungsi 1, input dari bahan bakar = $0,63 \cdot mB \cdot 5 \cdot 10^6$

Fungsi 2, input dari tekanan uap = $53,49 \cdot 10^4 \cdot p$

Fungsi 3, $1/F_1 = \frac{1}{0,63 \cdot mB \cdot 5 \cdot 10^6}$

Dot 1, $F_3 \cdot F_2 = \frac{53,49 \cdot 10^4 p}{0,63 \cdot mB \cdot 5 \cdot 10^6}$

Fungsi 4, $1 - \text{Dot 1} = 1 - \frac{53,49 \cdot 10^4 p}{0,63 \cdot mB \cdot 5 \cdot 10^6}$

Fungsi 5, $1/F_4 = \frac{1}{1 - \frac{53,49 \cdot 10^4 p}{0,63 \cdot mB \cdot 5 \cdot 10^6}}$

$$\text{Dot 2, Input SK . F5} = \frac{T_1}{1 - \frac{53,49 \cdot 10^4 p}{0,63 \cdot mB \cdot 5 \cdot 10^6}}$$

Dari plant yang telah dibuat selanjutnya dilakukan pengambilan data untuk memberi batasan nilai input dan output. Hasil dari besarnya perubahan nilai input dan output akan digunakan pada kontrol *fuzzy*. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Hasil uji data plant

BB	P	T1	T2
48,6	176	313	813
54,6	199,4	344,3	906,4
63,6	222,7	384,6	1012
67	244,6	422,5	1112
72,9	266,2	459,7	1209

Tabel 3.2 Selisih nilai input dan output

BB	P	T1	T2
0	0	0	0
6	23,4	31,3	93,5
12,4	46,7	71,6	199,1
18,4	68,6	109,5	299,1
24,3	90,2	146,7	397,1

Keterangan :

- BB = Bahan bakar
- P = Tekanan uap
- T1 = Suhu kondensor

- T2 = Suhu boiler

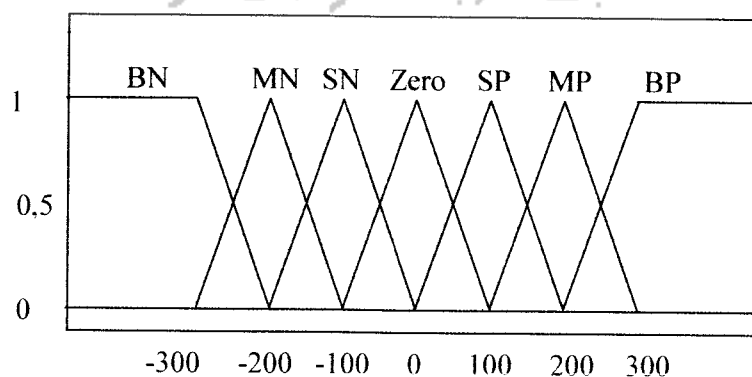
3.3. Perancangan *Fuzzy Logic Controller* (FLC)

Fungsi keanggotaan diperoleh dengan cara menggunakan cara *trial* dan *error*. Keanggotaan himpunan *fuzzy* pada rancangan ini dinyatakan dalam definisi fungsional, yaitu dengan cara analisis untuk menentukan derajat keanggotaan untuk setiap elemen pada semesta pembicaraan.

3.3.1. Keanggotaan input

Fuzzy kontrol memiliki satu input dan tiga output. Input dari *fuzzy* kontrol ini adalah “*error set point*”(selisih suhu aktual dan suhu referensi) sedangkan outputnya adalah “selisih bahan bakar, selisih tekanan uap, dan selisih suhu kondensor”.

Fungsi keanggotaan yang digunakan untuk input adalah tujuh buah himpunan keanggotaan dengan lima bentuk segitiga dan dua buah bentuk trapesium. Fungsi keanggotaannya adalah BN, MN, SN, Zero, SP, MP, BP, memiliki *interval height* antara 0 – 1 dan *interval support* antara (397,1)-(-397,1) seperti terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. Fungsi keanggotaan *Error* (set point)

Keterangan :

BN = Himpunan keanggotaan *big negatif*

MN = Himpunan keanggotaan *negative medium*

SN = Himpunan keanggotaan *negative small*

Zerro = Himpunan keanggotaan *zero*

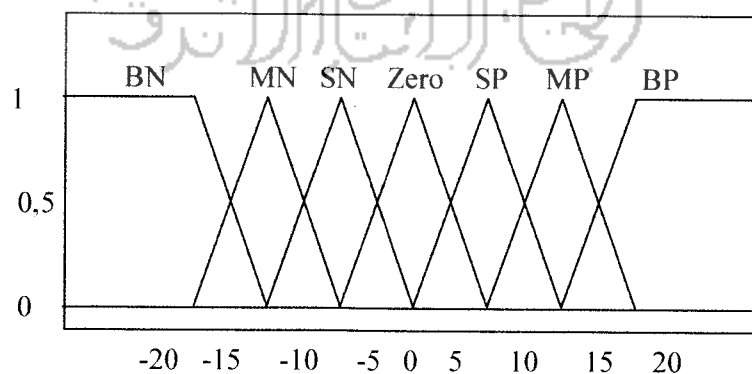
SP = Himpunan keanggotaan *small positif*

MP = Himpunan keanggotaan *medium positif*

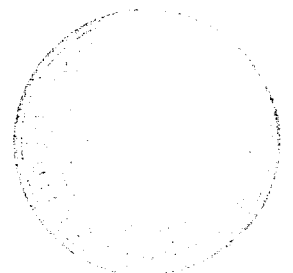
BP = Himpunan keanggotaan *big positif*

3.3.2 Keanggotaan output

Fungsi keanggotaan yang digunakan untuk ketiga output pada himpunan *fuzzy* ini adalah tujuh buah himpunan keanggotaan dengan lima bentuk segitiga dan dua bentuk trapesium. Untuk output selisih jumlah bahan bakar fungsi keanggotaannya BN, MN, SN, Zero, SP, MP, dan BP memiliki *interval height* antara 0 – 1 dan *interval support* antara $(-24,3) - (24,3)$. Seperti terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Fungsi keanggotaan selisih bahan bakar



Keterangan :

BN = Himpunan keanggotaan *big negatif*

MN = Himpunan keanggotaan *negative medium*

SN = Himpunan keanggotaan *negative small*

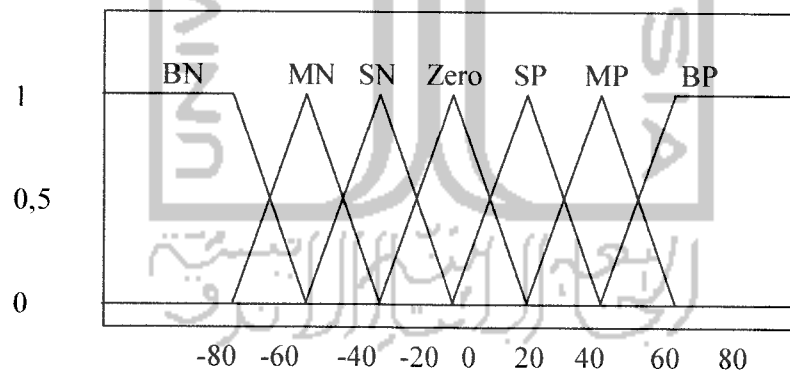
Zerro = Himpunan keanggotaan *zero*

SP = Himpunan keanggotaan *small positif*

MP = Himpunan keanggotaan *medium positif*

BP = Himpunan keanggotaan *big positif*

Untuk output selisih tekanan uap memiliki fungsi keanggotaan dan *interval height* yang sama dengan selisih bahan bakar sedangkan *interval supportnya* antara $(-90,2) - (90,2)$ seperti terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Fungsi keanggotaan selisih tekanan uap

Keterangan :

BN = Himpunan keanggotaan *big negatif*

MN = Himpunan keanggotaan *negative medium*

SN = Himpunan keanggotaan *negative small*

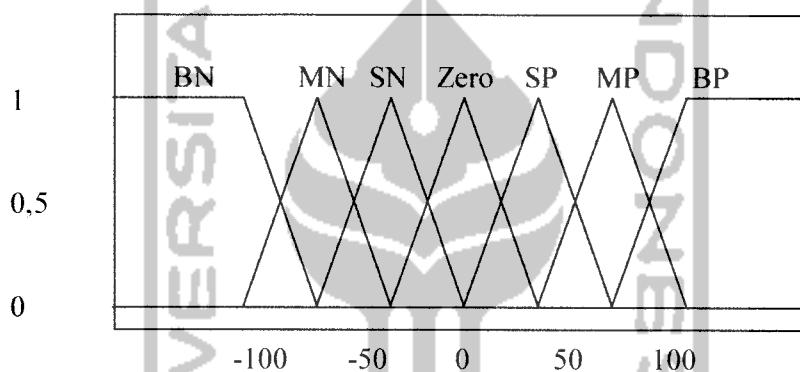
Zerro = Himpunan keanggotaan *zero*

SP = Himpunan keanggotaan *small positif*

MP = Himpunan keanggotaan *medium positif*

BP = Himpunan keanggotaan *big positif*

Untuk output selisih suhu kondensator memiliki fungsi keanggotaan dan *interval height* yang sama dengan selisih bahan bakar sedangkan *interval supportnya* antara $(-146,7) - (146,7)$ seperti terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Fungsi keanggotaan selisih suhu kondensator

Keterangan :

BN = Himpunan keanggotaan *big negatif*

MN = Himpunan keanggotaan *negative medium*

SN = Himpunan keanggotaan *negative small*

Zero = Himpunan keanggotaan *zero*

SP = Himpunan keanggotaan *small positif*

MP = Himpunan keanggotaan *medium positif*

BP = Himpunan keanggotaan *big positif*

3.3.3 Inferensi

Aturan-aturan logika *fuzzy* yang akan dipergunakan sangat tergantung pada sistem yang dikendalikan. Tidak ada rumusan pasti dalam menentukan aturan-aturan fuzzy dan fungsi keanggotaan masukan dan keluaran.

Secara umum sebuah aturan *fuzzy* diekspresikan dalam bentuk *if-then* merupakan dasar dari sebuah relasi *fuzzy* atau dikenal juga dengan implikasi *fuzzy*. Pada sistem kontrol ini juga berbasis pada aturan *if-then* yang dapat menunjukkan aturan dan hubungan antara input *error* (set point) dan output selisih jumlah bahan bakar, selisih jumlah tekanan uap, selisih jumlah suhu kondensor. Pada perancangan ini metode yang digunakan adalah metode Mamdani (Max-Min). Untuk menulis aturan perlu diperhatikan hal-hal berikut :

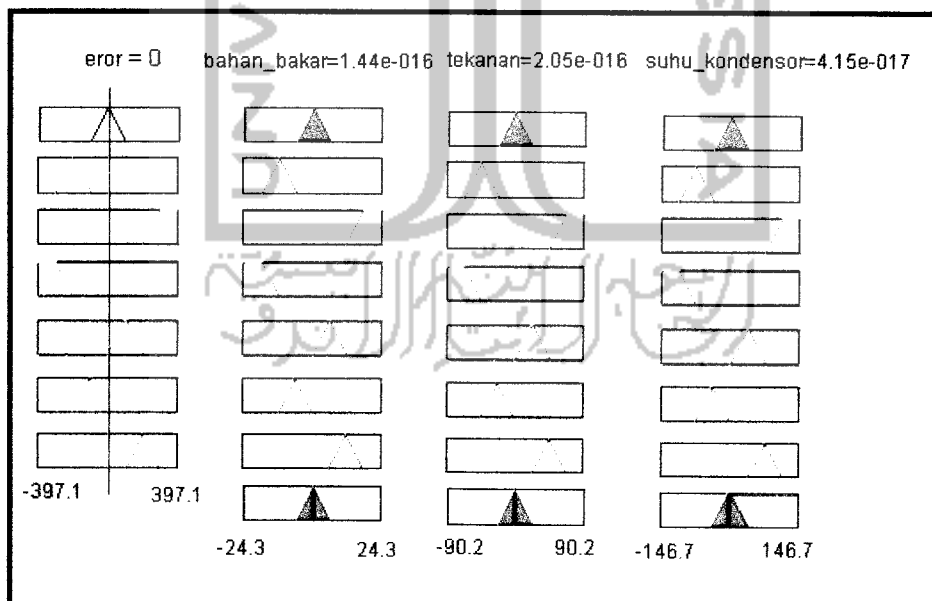
- a. Kelompokkan semua aturan yang memiliki solusi pada variabel yang sama
- b. Urutkan aturan sehingga mudah dibaca.

Sebuah basis informasi *fuzzy* terdiri dari sekelompok aturan-aturan, aturan-aturan tersebut merealisasikan antar himpunan-himpunan *fuzzy* dari variabel-variabel *fuzzy* yang dimiliki oleh simulasi pengendali suhu ini. Realisasi antar himpunan-himpunan *fuzzy* dari variabel-variabel *fuzzy* adalah sebagai berikut :

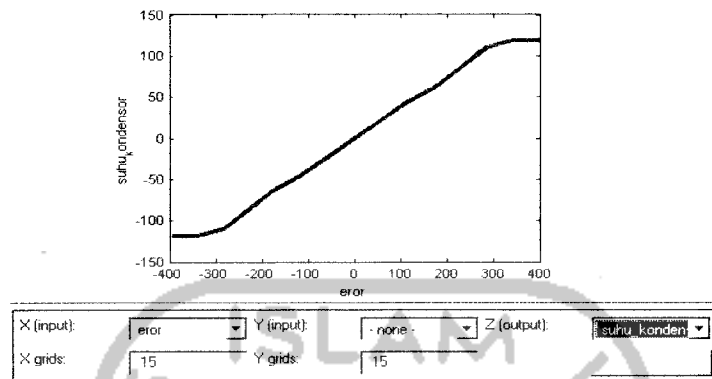
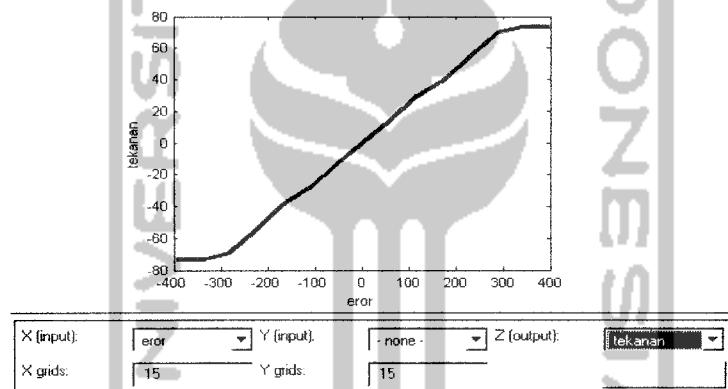
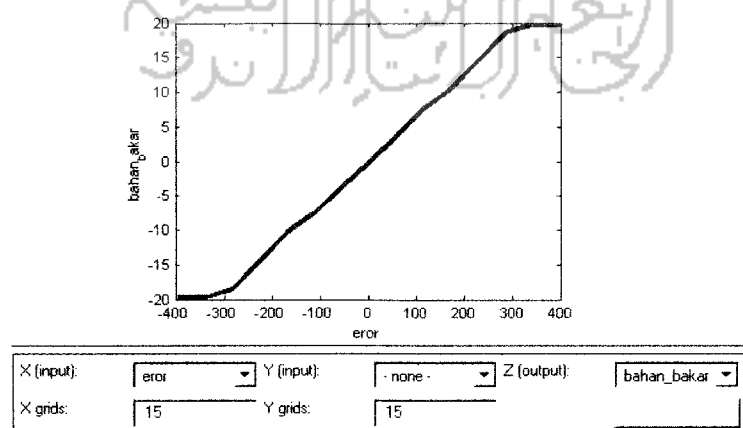
1. IF eror *zero* then selisih bahan bakar *zero* AND selisih tekanan uap *zero* AND selisih suhu kondensor *zero*.
2. IF eror NB then selisih bahan bakar NB AND selisih tekanan uap NB AND selisih suhu kondensor NB.
3. IF eror NM then selisih bahan bakar NM AND selisih tekanan uap NM AND selisih suhu kondensor NM.

4. IF eror NS then selisih bahan bakar NS AND selisih tekanan uap NS AND selisih suhu kondensor NS.
5. IF eror SP then selisih bahan bakar SP AND selisih tekanan uap SP AND selisih suhu kondensor SP.
6. IF eror MP then selisih bahan bakar MP AND selisih tekanan uap MP AND selisih suhu kondensor MP.
7. IF eror BP then selisih bahan bakar BP AND selisih tekanan uap BP AND selisih suhu kondensor BP.

Rule viewer fuzzy kontrol suhu boiler dapat dilihat pada gambar 3.7 dan *surface* pada gambar 3.8, 3.9, dan 3.10 dibawah ini.



Gambar 3.7. *Rule viewer* FLC untuk suhu boiler

Gambar 3.8. *Surface viewer error vs suhu kondensor*Gambar 3.9. *Surface viewer error vs tekanan uap*Gambar 3.10. *Surface viewer error vs bahan bakar*

Pada ketiga gambar *surface* diatas menunjukkan keluaran input berbanding lurus dengan keluaran output.

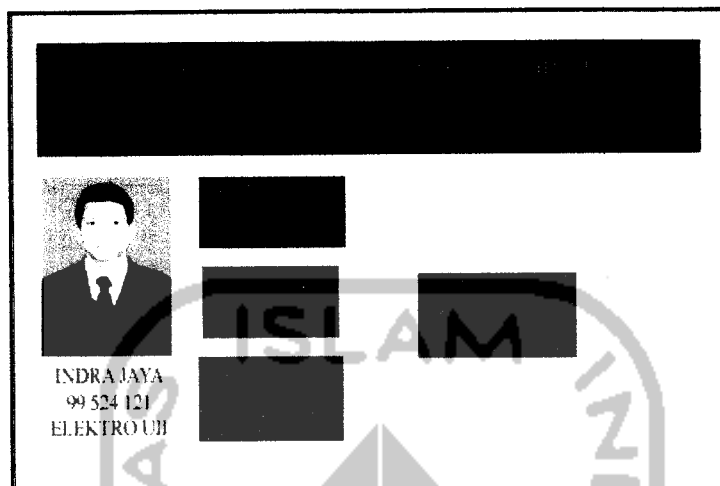
3.3.4 Defuzzifikasi

Metode yang digunakan pada proses ini adalah metode *centroid* (komposisi *moment*). Dengan nilai defuzzifikasi (z) tersebut dicari nilai keanggotaannya pada masing-masing himpunan keluaran *fuzzy*. Dan dari masing-masing nilai keanggotaan himpunan keluaran *fuzzy*, diambil nilai yang paling besar dan himpunan keluaran *fuzzy* tersebutlah yang menjadi keputusan pengendali suhu boiler.

Output *Fuzzy* kontrol berupa selisih bahan bakar, selisih tekanan uap, dan selisih suhu kondensor berfungsi untuk mengurangi osilasi akibat eror yang dihasilkan antara suhu inferensi dan suhu aktual.

3.4 Perancangan GUI

Gui memberikan hasil yang baik, sederhana dan memudahkan untuk melihat hasil keluaran dari sistem. GUI ini merupakan inti dari simulasi pengendali suhu boiler . Pada GUI ini, nilai input yang dimasukkan akan diproses dengan sistem *fuzzy* yang ada. Hasil dari proses ini akan ditampilkan berupa jumlah suhu yang diperlukan. Untuk menampilkan data-data input dan output menggunakan fasilitas menu yang telah disediakan oleh GUI, yaitu *figure*, *icontrol*, *uimenu*, dan *axes*. *Navigator* gui untuk sistem ini dapat dilihat pada gambar 3.11.



Gambar 3.11. Tampilan gui untuk pengendali suhu boiler

Keterangan :

1. **Input :** Memanggil masukan *step* untuk memasukan nilai yang diinginkan sebagai input berupa nilai suhu boiler yang diinginkan dengan batasan nilai 812,9 – 1209.
2. **Start :** Menjalankan simulasi pada simulink.
3. **Output :** Menampilkan grafik kinerja sistem terhadap input yang diberikan. Dalam hal ini akan diperlihatkan grafik suhu referensi dan suhu aktual (X VS Y), grafik perubahan nilai bahan bakar (A), perubahan nilai tekanan uap(B), perubahan nilai suhu kondensor(C), serta grafik perubahan nilai set point (D)
4. **Close :** Menutup GUI.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil dan Analisa

Sistem kendali logika *fuzzy* dengan penalaran sistem keanggotaan diharapkan mampu menunjukan kerja dari pengendalian *fuzzy*. Pengendali dirancang untuk memperoleh tanggapan sistim plant seperti yang dikehendaki untuk berbagai nilai set point pada rentang tertentu.

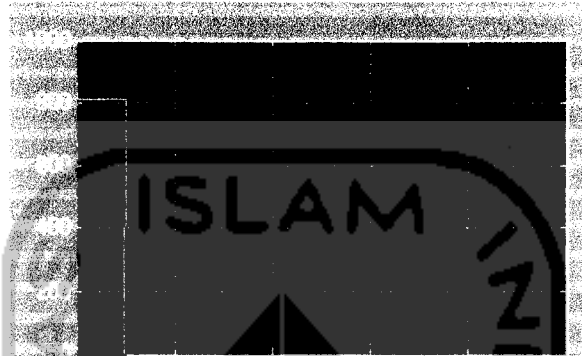
Dalam penelitian ini akan diuji tanggapan sistem yang dikendalikan dengan menggunakan logika *fuzzy* dengan perubahan set point.

Pengujian dilakukan untuk mengamati tanggapan sistem terhadap nilai set point yang diberikan. Pengujian dilakukan untuk menemukan besar *error*, waktu bangun (*rise time*), nilai maximal (*overshoot*), *setting time*, dan keadaan *stady state* motor. Pada Pengujian ini pula kita dapat melihat grafik perubahan bahan bakar, tekanan uap, dan suhu kondensor.

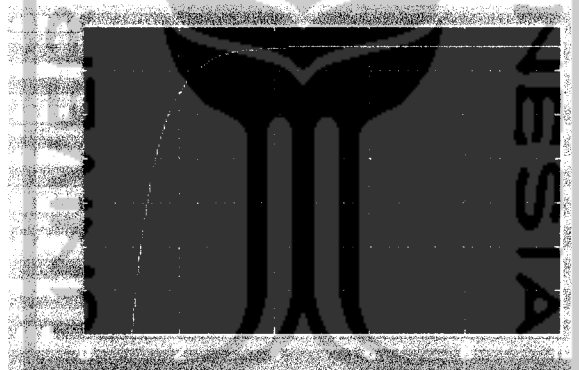
4.1.1 Pengujian dengan suhu $812,9^0$

Dari grafik pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa pada setpoint $812,9^0$ menunjukkan *stady state* suhu boiler pada suhu $812,9^0$. Pada kondisi ini sistim langsung berada pada kondisi *stady state* tidak terdapat *error* dan *overshoot*. Untuk grafik bahan bakar terjadi kenaikan (pertambahan) begitu pula pada

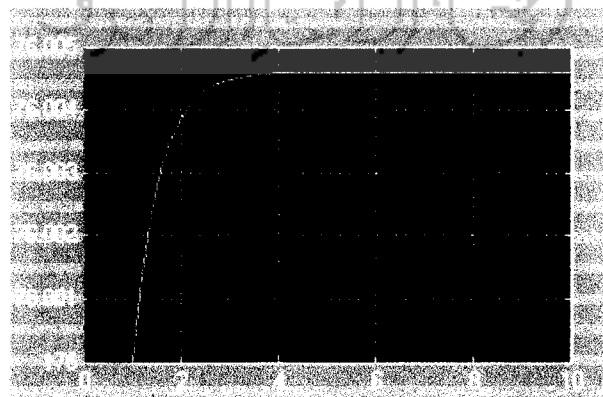
tekanan uap dan suhu kondensor dapat kita lihat pada grafik 4.2, grafik 4.3, dan grafik 4.4.



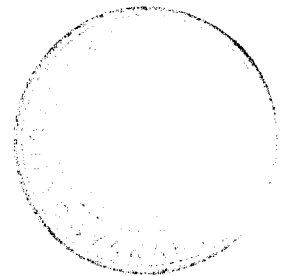
Gambar 4.1 Set point pada suhu $812,9^{\circ}$

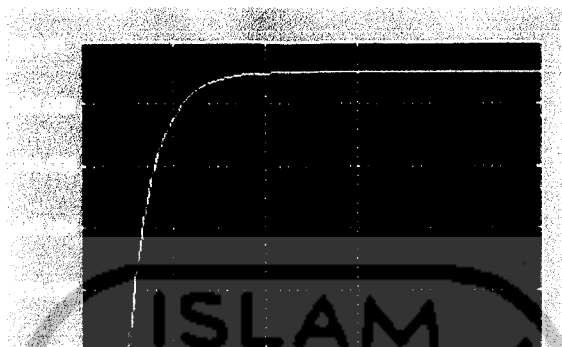


Gambar 4.2. Perubahan jumlah bahan bakar pada suhu $812,9^{\circ}$



Gambar 4.3. Perubahan jumlah tekanan uap pada suhu $812,9^{\circ}$

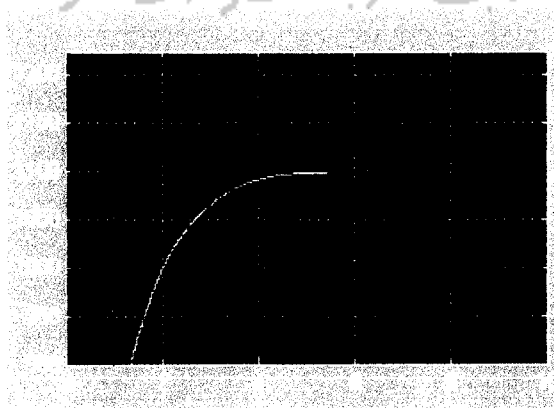




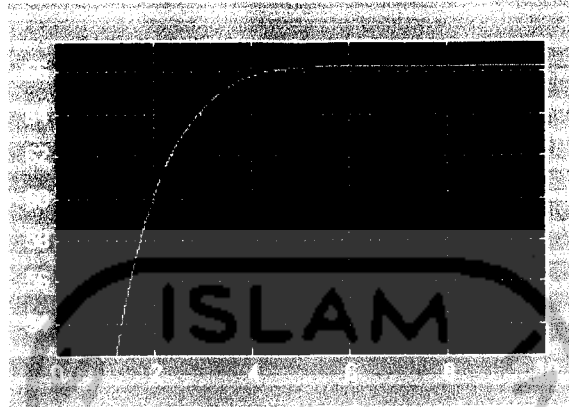
Gambar 4.4. Perubahan jumlah suhu kondensor pada suhu $812,9^{\circ}$

4.1.2. Pengujian dengan suhu 1100°

Dari grafik pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa pada setpoint 1100° menunjukkan *stady state* suhu boiler pada suhu 1100° , *seting time* yang diperlukan yaitu 6 detik, tidak terdapat *error* dengan *rise time* 4 detik dan tidak terjadi *overshoot*. Untuk grafik bahan bakar terjadi penambahan dari kondisi awal sebesar 48.6 kg/s menjadi 66,31 kg/s, untuk tekanan uap perubahan terjadi dari 176 menjadi 242.1, begitu pula terjadi penambahan suhu pada kondensor dari 313°K menjadi 417°K . Hal ini ditunjukkan oleh grafik 4.6, 4.7, dan 4.8.



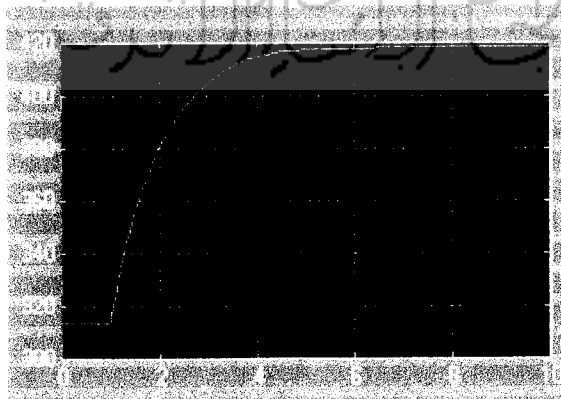
Gambar 4.5 Setpoint pada suhu 1100°



Gambar 4.6. Perubahan jumlah bahan bakar pada suhu 1100°



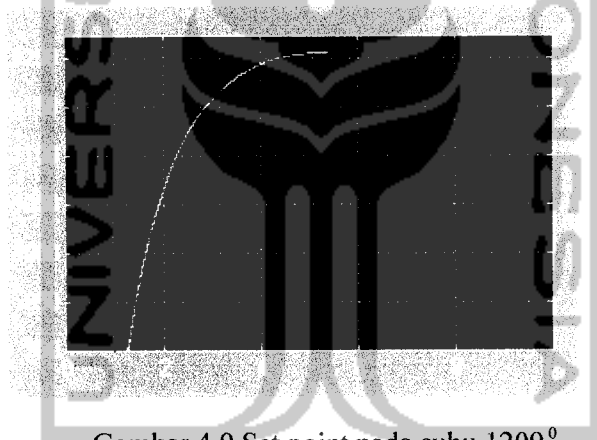
Gambar 4.7. Perubahan jumlah tekanan uap pada suhu 1100°



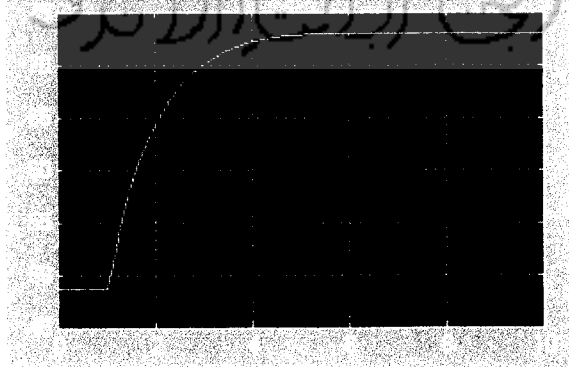
Gambar 4.8. Perubahan jumlah suhu konensor pada suhu 1100°

4.1.3 Pengujian dengan suhu 1209°

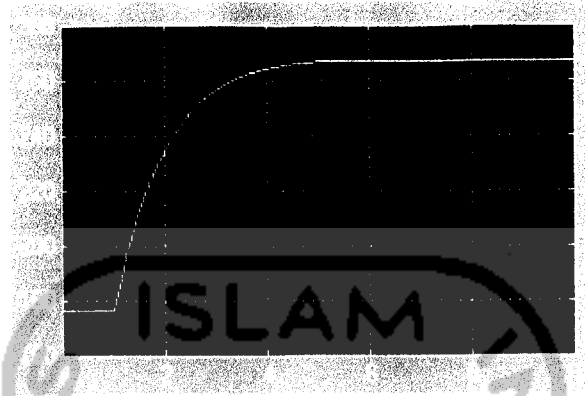
Dari grafik pada gambar 4.9 dapat dilihat bahwa pada setpoint 1209° menunjukkan *steady state* suhu boiler pada suhu 1209° , *seting time* yang diperlukan yaitu 6 detik, tidak terdapat *error* dengan *rise time* 4 detik dan tidak terjadi *overshoot*. Untuk grafik bahan bakar terjadi penambahan dari kondisi awal sebesar 48.6 kg/s menjadi 73,01 kg/s, untuk tekanan uap perubahan terjadi dari 176 menjadi 367,1, begitu pula terjadi penambahan suhu pada kondensor dari 313°K menjadi $457,9^{\circ}\text{K}$. Hal ini dapat terlihat pada grafik 4.10, 4.11, dan 4.12



Gambar 4.9 Set point pada suhu 1209°



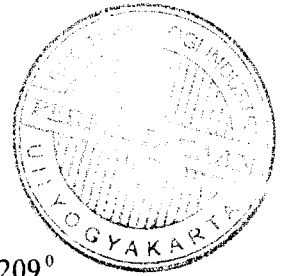
Gambar 4.10. Perubahan jumlah bahan bakar pada suhu 1209°



Gambar 4.11. Perubahan jumlah tekanan uap pada suhu 1209°



Gambar 4.12. Perubahan jumlah suhu kondensor pada suhu 1209°



Tabel 4.1. Hasil percobaan pada pengendali suhu boiler

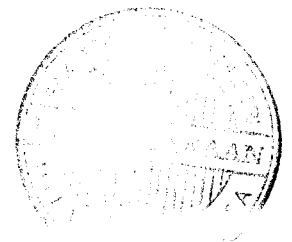
Percobaan	Suhu referensi (K)	Bahan bakar (kg/s)	Tekanan uap (N/m ²)	Suhu Kondensor (K)	Suhu aktual (K)
1	812.9°	48.6	176	313°	812.9°
2	1100°	66.31	242.1	417°	1100°
3	1209°	73.01	367.1	457.9°	1209°

4.2. Pembahasan.

Sistem kendali logika *fuzzy* dalam perancangan ini mudah untuk dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan sistem yang diinginkan. Kendala yang dialami adalah penentuan persamaan matematis yang ada dalam plant, sedikit kesalahan akan mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.

Untuk proses penentuan fungsi keanggotaan (*membership function*) dilakukan dengan proses pencarian nilai selisih minimum dan selisih maksimum dari input plant. Penggunaan tipe trapezium (*trampf*) dan segitiga (*trimpf*) pada perancangan fungsi keanggotaan *fuzzy* didasari oleh kebutuhan terhadap nilai yang diperlukan dan keinginan dari perancang itu sendiri. Pada umumnya hasil keluaran dari berbagai tipe fungsi keanggotaan logika *fuzzy* ini bernilai sama.

Secara keseluruhan kinerja sistem cukup baik karena setiap pengujian masukan berupa setpoint mampu merespon perubahan yang terjadi dengan baik. Kekurangan sistem ini adalah tidak mampu merespon suhu diatas nilai maksimum yang telah ditetapkan.



BAB V

PENUTUP

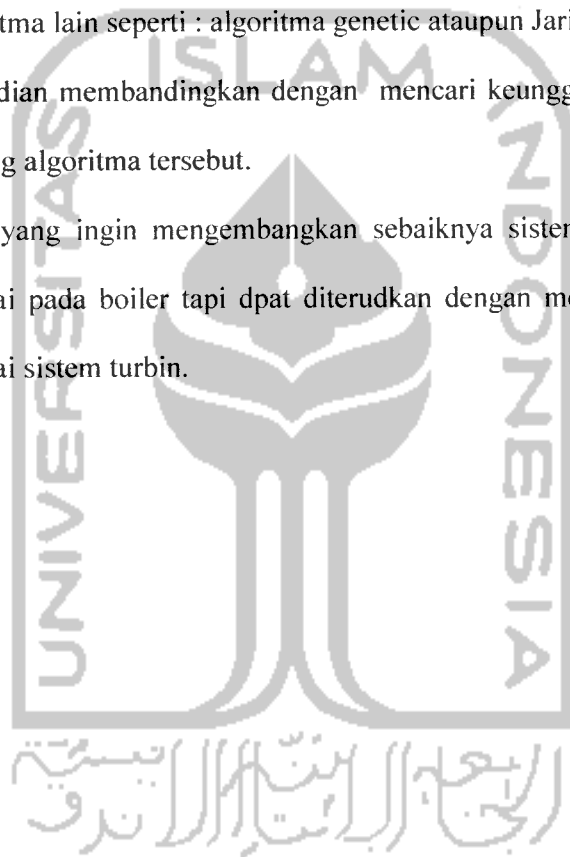
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil perancangan dan pengujian dengan beberapa set point dari suhu boiler dengan menggunakan kendali logika *fuzzy* maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

1. Fungsi keanggotaan *fuzzy* sangat mempengaruhi presisi keluaran yang dihasilkan. Semakin banyak fungsi keanggotaannya maka presisi terhadap hasil keluaran yang diinginkan akan semakin baik.
2. Untuk menghasilkan suhu boiler sebesar 1209°K maka jumlah bahan bakar yang dibutuhkan adalah sebesar $73,01\text{ kg/s}$, tekanan uap yang dihasilkan $367,1 \cdot 10^4\text{ N/m}^2$, dan suhu kondensor yang diperlukan sebesar $457,9^{\circ}\text{K}$.
3. Secara keseluruhan kinerja kendali *fuzzy* cukup baik karena setiap pengujian masukan berupa setpoint mampu merespon perubahan yang terjadi dengan baik. tanpa terdapat *overshoot* dengan rata-rata *settling time* yang diperlukan yaitu 6 detik dan *rise time* 4 detik.

5.2. Saran

1. Agar lebih interaktif bagi yang ingin membandingkan sebaiknya software yang telah ada sekarang ditambah lagi dengan beberapa algoritma lain seperti : algoritma genetic ataupun Jaringan Saraf Tiruan kemudian membandingkan dengan mencari keunggulan dari masing-masing algoritma tersebut.
2. Bagi yang ingin mengembangkan sebaiknya sistem ini tidak hanya sampai pada boiler tapi dapat diteruskan dengan mengembangkannya sampai sistem turbin.

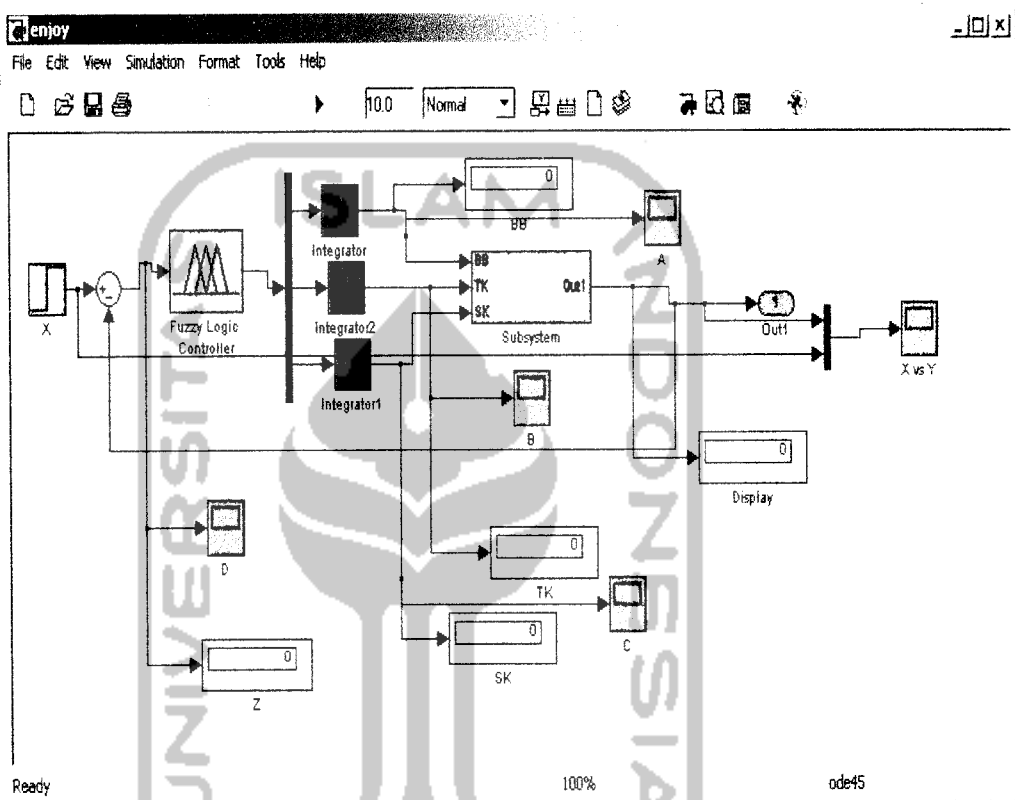




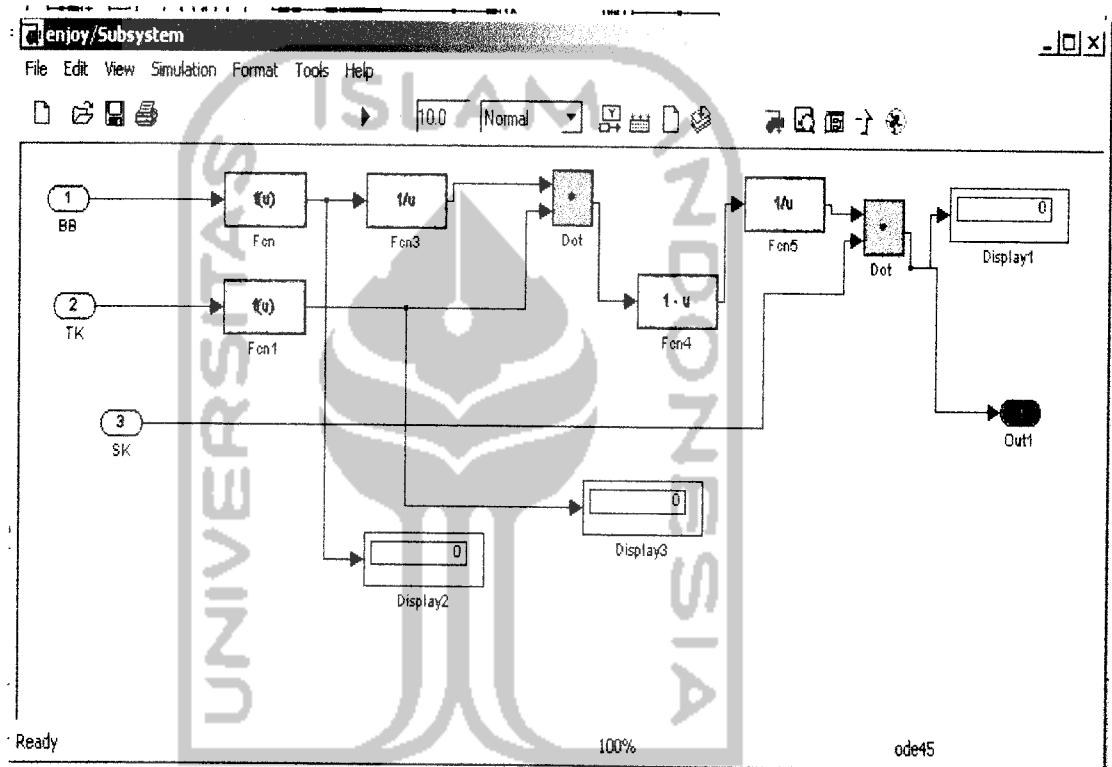
coba3

INDRA JAYA
99 524121
ELEKTRO UII

جامعة الإسلام اندونيسيا



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
الجامعة الإسلامية
الربيعية
الاستاذة
الاندرق



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
 ALAUDDIN RASHDID
 MAKASSAR

DAFTAR PUSTAKA

[Http : //www. google. com](http://www.google.com) “*PLTU*”

Kadir, Abdul. 1996. “*Pembangkit Tenaga Listrik*”, UI-Press, Jakarta.

Ksumadewi, Sri. 2002. “*Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox MATLAB*”, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Kusumadewi, Sri & Purnomo, Hari. 2004. “*Logika Fuzzy*”, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Pitowarno, Endra. 2006. “*Robotika*”, Andi, Yogyakarta.

Pudjanarsa, Astu & Purnomo, Hari. 2004. “*Mesin Konversi Energi*”, Andi, Yogyakarta.

Sugiharto, Aris. 2006. “*MATLAB*”, Andi, Yogyakarta.

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
الرَّبِيعَةُ الْاِسْتِغْرَاقِيَّةُ