



TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN KONTROLER FUZZY ADAPTIF UNTUK PROSES
PEMBAKARAN PADA *STEAM BOILER DRUM***

Izaz Fakhhar Rokhmad
NRP. 07111540000101

Dosen Pembimbing
Ir Rusdhianto Effendi AK, MT
Eka Iskandar, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - EE 184801

***ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER DESIGN FOR
COMBUSTION PROCESS AT STEAM BOILER DRUM***

Izaz Fakhur Rokhmad
NRP. 07111540000101

Supervisor
Ir Rusdhianto Effendi AK, MT
Eka Iskandar, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**DESAIN KONTROLER FUZZY ADAPTIF FUZZY ADAPTIF UNTUK PROSES PEMBAKARAN PADA STEAM BOILER DRUM**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagaikarya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 21 Mei 2019



Izaz Fakhar Rokhmad
NRP 07111540000101

**DESAIN KONTROLER FUZZY ADAPTIF UNTUK
PROSES PEMBAKARAN PADA STEAM BOILER
DRUM
TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Ir. Rusdhianto Effendi AK, MT
NIP. 195704241985021001



Eka Iskandar, ST., MT.
NIP. 198005282008121001



DESAIN KONTROLER FUZZY ADAPTIF UNTUK PROSES PEMBAKARAN PADA *STEAM BOILER DRUM*

Izaz Fakhar Rokhmad
07111540000101

Pembimbing I : Ir. Rusdhianto Effendi AK, MT
Pembimbing II : Eka Iskandar ,ST, MT

ABSTRAK

Boiler adalah peralatan yang digunakan untuk mengubah energi dari bahan bakar menjadi energi mekanik berupa uap air. Saat melakukan proses pembakaran boiler membutuhkan tiga masukan yaitu bahan bakar, udara dan air. Ketiga masukan ini yang akan mengatur kerja dan keluaran dari boiler. Dengan melakukan control dari tiga elemen yang ada dapat diatur keluaran dari boiler sehingga dapat menghasilkan laju uap yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin. Penelitian dilakukan untuk melakukan desain kontroler fuzzy adaptif pada output tekanan dengan tujuan mendapatkan kontroler yang mampu menjaga output pada nilai nominal saat terjadi beban fluktuatif. Kontroler fuzzy merupakan kontroler yang menggunakan logika fuzzy sebagai dasar perancangan kontroler. Kontroler memiliki dua mode kerja yaitu model learning dan mode kontrol. Pada proses learning kontroler akan terus mengganti parameter untuk mencapai hasil yang diinginkan. Pada penelitian didapatkan kontroler fuzzy yang menggunakan learning rate 0.001 untuk menghasilkan kontroler yang mendapatkan output nominal saat beban fluktuatif.

Kata Kunci: Boiler, Fuzzy, Fuzzy Adaptif, *Neural Network*

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER DESIGN FOR COMBUSTION PROCESS AT STEAM BOILER DRUM

Izaz Fakhar Rokhmad

07111540000101

Supervisor I : Ir. Rusdhianto Effendi AK, MT

Supervisor II : Eka Iskandar ,ST, MT

ABSTRACT

Boilers are equipment used to convert energy from fuel to mechanical energy in the form of water vapor.. To carry out the combustion process, the boiler requires three inputs, namely fuel, air and water. These three inputs will regulate the work and output of the boiler. By controlling 3 elements, the output from the boiler can be adjusted so that it can produce the steam rate needed to drive the turbine. The research is done in an adaptive fuzzy controller design for output pressure with the aim of getting a controller that is able to maintain output at nominal value at fluctuating load . Fuzzy controller is a controller that uses fuzzy logic as the basis for designing controllers. The controller has two working modes namely learning model and control mode. In the learning process controller will continue to change parameters to achieve the desired results. In this research, fuzzy controllers obtained using 0.001 learning rate to produce controllers that get nominal output at fluctuating load.

Keyword : Boiler, Fuzzy, Fuzzy Adaptive, Neural Network

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.. Tugas akhir ini disusun bertujuan untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang berjudul **“DESAIN KONTROLER FUZZY ADAPTIF FUZZY UNTUK PROSES PEMBAKARAN PADA STEAM BOILER ”** atas selesainya penyusunan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga penulis Yuli trisuhartiwi dan Rokhmad untuk bantuan yang diberikan sehingga tugas ini dapat diselesaikan.
2. Bapak Dr. Ir Rusdhianto Effendi AK, MT dan Bapak Eka Iskandar, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing atas segala bimbingan ilmu, moral, dan spiritual dari awal hingga terselesaikannya tugas akhir,
3. Seluruh Staff/Karyawan/Dosen Departemen Teknik Elektro yang telah memberikan banyak ilmu dan menciptakan suasana belajar yang mendukung.
4. Teman- teman yang selalu mendukung saya secara ilmu, moral dan spiritual. Dan selalu mendukung dan memberi motivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan keilmuan di kemudian hari.

Surabaya, 21 Mei 2019

Penulis

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB 1.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Metodologi.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Struktur Boiler.....	5
2.1.1 Komponen Boiler.....	5
2.2 Permodelan Sistem.....	6
2.2.1 Permasalahan Kontrol Pada Boiller.....	7
2.2.2 Penurunan Persamaan Non Linear.....	7
2.3 Kontroler PID.....	10
2.3.1 Kontroler Propotional.....	10
2.3.2 <i>Kontroler Intergral</i>	10
2.3.3 Kontroler Propotional <i>Derivative</i>	10
2.3.4 Kontroler Propotional Integral <i>Derivative</i>	10
2.4 Controler Fuzzy.....	11
2.4.1 Fuzzifikasi.....	12
2.4.3 Proses Fuzzy.....	13
2.4.3 Defuzzifikasi.....	14
2.5 <i>Artificial Neural Network</i>	14
2.6 Kontroler Neuro Fuzzy Adaptif.....	15
BAB 3.....	17
PERMODELAN SISTEM DAN PERANCANGAN KONTROLER....	17
3.1 Permodelan Sistem.....	17
3.2 Model Matematika.....	17
3.3 Simulasi Sistem.....	20
3.4 Hasil Respon Sistem.....	21
3.5 Kontroler level air.....	25

3.6	Desain Kontroler Fuzzy Adaptif.....	25
3.7	Fuzzifikasi dan Normalisasi	26
3.7	Proses Fuzzy	27
3.7	Perancangan Sistem Keseluruhan	28
BAB 4		29
PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM.....		29
4.1	Proses Learning Kontroler	29
4.2	Respon Sistem	30
4.3	Pembandingan hasil learning.....	32
4.4	Penghatian Learning Rate.....	34
4.5	Penghatian Fungsi Keanggotaan.....	36
4.6	Pengujian Dengan Beban Fluktuatif	38
BAB V.....		43
KESIMPULAN DAN SARAN		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN.....		45
BIODATA PENULIS		53

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Skeama Boiler	6
Gambar 2. 2 Kontroler PID	11
Gambar 2. 3 Proses Kontroler Fuzzy	11
Gambar 2. 4 Contoh Fungsi Segitiga	12
Gambar 2. 5 Contoh Fungsi Trapezoid	13
Gambar 2. 6 Prosesing Element	15
Gambar 2. 7 Contoh Struktur ANN	16
Gambar 3. 1 Subsistem Untuk Model State Sistem Boiler	20
Gambar 3. 2 Subsistem Untuk Input sistem Boiler	20
Gambar 3. 3 Simulasi Sistem Boiler	22
Gambar 3. 4 Respon Tekanan	23
Gambar 3. 5 Respon Level Air	23
Gambar 3. 6 Respon Level Oksigen.....	24
Gambar 3. 7 Respon Level Laju Uap Keluar	24
Gambar 3. 8 Kontroler Fuzzy Adaptif	25
Gambar 3. 8 Diagram Proses Kontroler Fuzzy Adaptif	26
Gambar 3.10 Fungsi Keanggotaan segitiga	27
Gambar 3. 11 Sistem Keseluruhan	28
Gambar 4. 1 Contoh Sinyal Input Acak	30
Gambar 4. 2 Proses Learning Kontroler Fuzzy	30
Gambar 4. 3 Respon Sistem dan Model Refrensi	31
Gambar 4. 4 Nilai error	31
Gambar 4. 5 Respon Laju Uap Air.....	32
Gambar 4. 6 Contoh Input Sinyal Acak Sampling 100	33
Gambar 4. 7 Perbandingan Respon Saat Sampling 500	33
Gambar 4. 8 Perbandingan Respon Saat sampling 100.....	34
Gambar 4. 9 Error Kontroler Proses Learning Kedua.....	34
Gambar 4. 10 Respon Sistem dan Model Refrensi Learning Rate 0.01	35
Gambar 4. 11 Respon Sistem dan Model Refrensi Learning Rate 0.0001	35
.....	35
Gambar 4. 12 Error Kontroler Learning Rate 0.0001	36

Gambar 4. 13 Fungsi keanggotaan Trapesium	36
Gambar 4. 14 Respon Learning rate 0.001	37
Gambar 4. 15 Respon Learning rate 0.0001	37
Gambar 4. 16 Respon Sistem dan Model Refrensi Fungsi Trapesium	38
Gambar 4. 17 Respon Tekanan Saat Beban Fluktuatif	39
Gambar 4. 18 Respon Laju Uap Air Pada Beban Fluktuatif	39
Gambar 4. 19 Hasil Tekanan Saat Beban Fluktuatif	40
Gambar 4. 20 Hasil Laju Uap Air Saat Beban Fluktuatif	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Pada Boiler	7
Tabel 3. 1 Parameter Sistem Boiler.....	18
Tabel 4. 1 Data Error Pada Tekanan Sistem.....	39
Tabel 4. 2 Data Error Pada Laju Uap Sistem	39

-----Halaman ini sengaja dikosongkan---

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan perancangan dari proses pembakaran pada boiler steam drum. Penelitian dilakukan dengan melakukan simulasi menggunakan program Matlab untuk mendapatkan respon yang menyerupai proses pada *boiler steam drum*. Setelah melakukan proses simulasi dilakukan perancangan kontroler fuzzy adaptif untuk melakukan control pada boiler steam drum. Penggunaan kontroler fuzzy adaptif digunakan dengan harapan dapat melakukan kontrol pada model sistem boiler yang tidak linear. Model kontroler fuzzy adaptif ini memiliki kelebihan dimana kontroler dapat melakukan perubahan berdasarkan input yang tidak pasti sehingga dapat mendapatkan control optimal dengan variasi input yang acak

Tugas akhir ini dilakukan berdasarkan penelitian berjudul Gordon Pellegrinetti, Joseph Benstman “Non Linear Control Oriented Boiler Modeling A Benchmark Problem For Controller Design”. Penelitian ini melakukan permodelan dari proses pembakaran yang terjadi pada *Boiler Steam Drum*, dimana dilakukan permodelan pada tekanan, level oksigen, level air dan laju keluar uap air. Penelitian digunakan sebagai basis model dari perancangan kontroler fuzzy adaptif. Pada perancangan kontroler digunakan referensi dari penelitian Li Xin Wang “Stable Adaptive Fuzzy Control of Non Linear System”. Penelitian digunakan sebagai dasar untuk memahami struktur dasar dari kontroler fuzzy adaptif. Tugas akhir menggunakan model dari penelitian pertama untuk melakukan aplikasi dari perancangan kontroler fuzzy adaptif dari penelitian kedua.

Boiler adalah peralatan yang digunakan untuk mengubah energi dari bahan bakar menjadi energi mekanik berupa uap air. Penggunaan boiler sering digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) untuk menggerakkan turbin yang mengubah energi mekanik uap menjadi energi listrik. Pada struktur yang dimiliki boiler terdapat komponen steam drum yang merupakan peralatan yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara dari uap air yang dihasilkan boiler dan tempat pemisah air yang masuk dan uap yang dihasilkan.

Saat melakukan proses pembakaran boiler membutuhkan tiga masukan yaitu bahan bakar, udara dan air. Ketiga masukan ini yang akan

mengatur kerja dan keluaran dari boiler. Dengan melakukan kontrol dari tiga elemen yang ada dapat diatur keluaran dari boiler sehingga dapat menghasilkan laju uap yang dibutuhkan untuk menggerakkan turbin. Komponen yang akan dilakukan pengaturan adalah steam drum yang pada saat terjadi proses memiliki berbagai elemen yang dapat diukur berupa tekanan, level oksigen dan level ketinggian air. Ketiga komponen ini harus dapat dijaga pada level tertentu untuk memastikan boiler dapat melakukan proses pembakaran dengan baik.

Pada saat terjadi proses pembakaran pada boiler tekanan yang ada pada steam drum akan berpengaruh pada keluaran laju uap. Untuk mendapatkan pembangkitan listrik yang baik laju uap dari boiler diharapkan memiliki nilai yang stabil dan tidak terlalu melakukan perubahan agar dapat membangkitkan putaran pada turbin dengan baik. Sedangkan pada sistem steam drum dinamika dari tekanan akan mengalami perubahan yang diakibatkan oleh gangguan internal maupun eksternal. Dengan bentuk sistem boiler steam drum yang merupakan sistem yang non-linear terdapat kesulitan menjaga agar tekanan pada boiler steam drum berada pada batasan yang diperbolehkan.

Kontroler yang digunakan pada penelitian merupakan jenis kontroler fuzzy. Kontroler fuzzy merupakan kontroler yang menggunakan logika fuzzy sebagai dasar perancangan kontroler. Penggunaan kontroler fuzzy dapat digunakan pada sistem yang memiliki struktur yang rumit dengan harapan dapat mengatur dengan baik. Penggunaan control fuzzy telah banyak memiliki penelitian pada bidang boiler, turbin dan sistem industri lain. Terdapat berbagai jenis kontroler fuzzy yang dapat digunakan seperti Robust Fuzzy, Neural Network, dan Adaptive Neural Fuzzy Inference System (ANFIS). Pada penelitian digunakan metode Neural Network agar diharapkan kontroler dapat melakukan kontrol dengan baik pada keadaan dimana kondisi tekanan yang berubah. Simulasi dan perancangan perancangan dari kontroler dilakukan dengan menggunakan program Matlab Simulink untuk mempermudah proses.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada tugas akhir berupa:

1. Apakah bisa didapatkan model dari sistem boiler steam drum yang merepresentasikan sistem sesungguhnya
2. Apakah bias dilakukan perancangan dari controller fuzzy adaptif yang dapat melakukan kontrol dengan baik.

3. Bagaimana proses perancangan kontroler.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada penelitian:

1. Parameter dan persamaan model matematika yang didapatkan pada paper pihak ketiga.
2. Haanya dilakukan disain kotroler yang mengatur input laju bahan bakar untuk mengatur tekanan

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian berupa:

1. Mendapatkan simulasi dari sistem sistem boiler steam drum yang merepresentasikan sistem sesungguhnya
2. Mendapatkan perancangan dari kontroller fuzzy adaptif yang dapat melakukan kontrol tekanan dengan baik
3. Medapatkan kontroler yang berfungsi dengan baik setelah melakukan proses learning dari sistem

1.5 Metodologi

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap, diantaranya studi literature, perancangan sistem, analisa respon dan desain kontroler, pengujian dan analisis metode pngaturan, penarikan kesimpulan dan saran, serta penyusunan buku tugas akhir. Perancangan sistem dilakukan dengan medapatkan simulasi sistem untuk mendapatkan parameter waktu serta respon nominal dari sistem yang digunakan. Perancangan dari kontroler dilakukan dengan tujuan medapatkan kontroler yang dapat menjaga kondisi tekanan yang berubah pada boiler steam drum dengan keadaan simulasi dimana terdapat nilai acak pada tekanan boiler. Proses simulasi sistem dan perancangan kontroler dilakukan pada program Matlab Simulink.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini dapat dijelaskan dengan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan penelitian, metodologi, sistematika penulisan serta relevansi penelitian yang dilakukan

BAB 2 TIJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini dibahas tentang berbagai kajian pustaka dan dasar teori yang digunakan untuk melakukan proses simulasi system dan perancangan kontroler

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi proses dari proses simulasi dari system *boiler steam drum* yang bertujuan untuk mendapatkan system yang akan dikontrol serta parameter waktu dan respon nominal dimana sitem akan berkerja. Bab ini juga berisi metode dari perancangan kontroler fuzzy adaptif

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS KONTROLER

Bab ini membahas tentang hasil simulasi sistem dengan kontroler fuzzy adaptif dengan membandingkan hasil learning rate berbeda dengan keadaan bobot awal yang acak

BAB 5 KESIMPULAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian yang dilakukan, lalu dihubungkan dengan tujuan penelitian untuk dilihat relevansinya.

1.7 Relevansi

Setelah dilakukan simulasi sistem dan perancangan kontroler diharapkan penelitian ini dapat menjadi masukan Alternatif dari permasalahan pengaturan *Boiler Steam Drum* serta sebagai referensi untuk mahasiswa yang ingin melakukan penelitian pada bidang kontrol boiler steam drum serta jenis kontroler fuzzy adaptive.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi dasar teori dan tinjauan pustaka mengenai struktur boiler, permodelan boiler, logika fuzzy, dan kontroler fuzzy adaptif yang digunakan pada penelitian.

2.1 Struktur Boiler

Salah satu komponen utama dari sistem pembangkit listrik tenaga uap adalah boiler. Boiler berfungsi untuk memanaskan air hingga menjadi uap yang kemudian akan memutar turbin dan generator agar dapat menghasilkan listrik. Dalam pembangkit listrik, uap yang dihasilkan boiler harus berupa uap kering, yaitu uap bersuhu tinggi yang tidak mudah kembali ke bentuk asalnya sebagai titik-titik air jika mengalami penurunan suhu. Air murni memiliki titik didih 100°C pada tekanan 1 atm. Uap yang dihasilkan dari proses sederhana tersebut adalah uap air basah, artinya dapat dengan mudah dan cepat berubah kembali menjadi air jika temperatur di lingkungan mengalami penurunan. Dalam bentuk uap kering, uap tersebut tidak berubah kembali menjadi air sebelum sampai di condenser. Siklus Rankine adalah siklus termodinamika mengenai konversi energi panas menjadi energi kinetik pada tekanan dan temperatur tertentu. Dalam pembangkit, siklus ini di aplikasikan pada perubahan air menjadi uap lalu kembali lagi menjadi air.

2.1.1 Komponen Boiler

Boiler memiliki beberapa komponen yang digunakan untuk mengoptimasi pemanasan air

1. Ekonomizer

Berfungsi untuk memanaskan air sebelum masuk steam drum dengan memanfaatkan panas gas buang sebelum memasuki electrostatci precipilator sehingga bisa meningkatkan kerja dari boiler.

2. Steam drum

merupakan tempat penampungan uap air dan air semetara sebelum keluar dari boiler. Komponen ini bertujuan agar terdapat perpisahan antara air dan uap air sebelum masuk ke komponen boiler yang lain.

3. Boiler circulating pumps

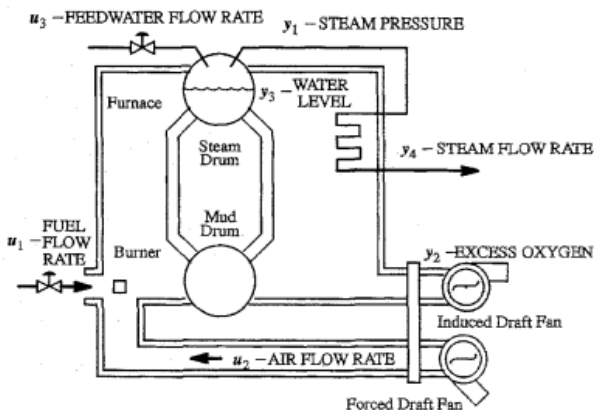
Bertujuan untuk mengatur sirkulasi air yang masuk menuju waterwall

4. Superheater

Untuk membuat air menjadi superheat steam sehingga mendapat efisiensi tinggi sebagai pemutar turbin

2.2 Permodelan Sistem

Pada penelitian model yang digunakan pada simulasi boiler steam drum didapatkan dari paper berjudul *non linear control Oriented Modeling A Bechmark Problem for Controller Design*. Pada permodelan digunakan unit pengukuran SI. pada paper diberikan ilustrasi umum dari boiler yang digunakan pada gambar 2.1 yang memberikan gambaran utama dari proses yang terjadi serta mendeskripsikan input output yang digunakan pada sistem boiler steam drum.



Gambar 2.1 Skema Boiler

Pada permodelan hal yang ingin dicapai adalah menjaga nilai dari output berupa tekanan, level tinggi air dan level oksigen pada nilai tertentu. Nilai pada output harus tetap terjaga meski terjadi berbagai gangguan seperti variasi uap air yang keluar, fluktuasi pada pemanasan bahan bakar, dan berbagai kebocoran dan faktor eksternal. Untuk memenuhi tujuan dari pengontrolan model yang dibuat harus memenuhi kriteria dimana dapat mengatur laju dari bahan bakar, air dan udara yang masuk. Sistem yang dimodelkan diharapkan dapat mengukur tekanan uap, tinggi level air, laju air dan bahan bakar yang sesungguhnya, level oksigen pada keluaran flue gas.

2.2.1 Permasalahan Kontrol Pada Boiler

Boiler yang dapat berfungsi dengan baik harus memenuhi beberapa kondisi yaitu

1. Tekanan uap air yang diinginkan harus dapat tetapa terjaga pada saat keluar dari outlet steam drum, tekanan ini harus tetap terjaga meskipun terdapat variasi dari permintaan jumlah uap air yang diperlukan.
2. Air pada steam drum haruslah tetap terjaga pada level yang diinginkan. Hal ini dilakukan untuk menjaga agar tidak terdapat peristiwa dimana komponen dari boiler mengalami kepanasan atau terjadi kebocoran air pada komponen lain.
3. Campuran dari udara dan bahan bakar pada ruang pembakaran harus memenuhi standart untuk keaamana, efesiensi dan perlidungan lingkungan. Untuk mencapai tujuan ini dilakukan dengan menjaga persentase oksigen yang dibutuhkan pada stack untuk melebihi persentase yang dibutuhkan untuk pembakaran stoichiometric. Pembakaran stoichiometric adalah pembakaran yang berifat dimana bahan bakar terbakar sepenuhnya sehingga persentase oksigen yang berlebih akan menjaga agar pada proses pembakaran tidak terdapat sisa polusi serperti karbon monoksida

Model yang digunakan dalam simulasi diharapkan terdapat tiga subsistem diatas.

2.2.2 Penurunan Persamaan Non Linear

Untuk melakukan penurunan dari persamaan nonlinear digunakan berbagai simbol yang terdapat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Parameter Pada Boiler

Simbol	Keterangan
\dot{x}_1	Tekanan pada steam drum
\dot{x}_2	Persentase level oksigen
\dot{x}_3	Masa jenis air
\dot{x}_4	Variable eksogenous
qf	Laju bahan bakar sesungguhnya
qa	Laju udara sesungguhnya
qfw	Laju air sesungguhnya
qs	Laju uap air
FAR	Ratio massa air dan udara

$AIRO$	Ratio massa udara dan oksigen
$TAIR$	Time konstan
CP_x	Konstata parameter
y_1	Tekanan Pada Steam Drum
y_2	Level Oksigen
y_3	Level Tinggi Air
y_4	Laju uap Keluar

Pada penurunan persamaan boiler digunakan parameter dengan symbol CP_x yang merupakan parameter yang digunakan pada boiler nilai x akan berubah menunjukkan nilai parameter konstantan yang berbeda. Nilai parameter didapatkan berdasarkan pengujian yang dilakukan pada paper.

Nilai dari qf, qa, qfw merupakan hasil dari perkailan dari input u_1, u_2, u_3 yang dikalikan suatu konstanta. u_1, u_2, u_3 merupakan input berupa laju bahan bakar udara dan air. Perkalian dengan konstanta bertujuan untuk mendapatkan nilai sebenarnya saat memasuki sistem. Untuk persamaan tekanan pada *steam drum*, didapatkan

$$\dot{x}_1 = CP_1 \dot{x}_4 \dot{x}_1^{CP_9} + CP_2 u_2 - CP_3 x_3 + CP_4 \quad (2.1)$$

Dari persamaan didapat bahwa besar nilai tekannan bergantung pada variable eksogenus, input laju bahan bakar dan input laju air.

Pada penurunan level oksigen dikembangkan dengan menentukan level *steady state* dari oksigen secara teoritis berdasarkan laju udara dan bahan bakar. Persamaan didasarkan dengan asumsi setelah terjadi pembakaran sempurna sisa level oksigen O_2 yang ada dinyatakan dengan

$$O_2 = \frac{100(qa - qf * FAR)}{(qa + qf) * AIRO} \quad (2.2)$$

dengan menambahkan time koston makan persamaan diferensial kontinyu didapatkan berupa

$$\dot{x}_2 = \left[\frac{100(qa - qf * FAR)}{(qa + qf) * AIRO} - \dot{x}_2 \right] * 1 / TAIR \quad (2.3)$$

Untuk nilai dari \dot{x}_4 dapat disarkan dari nilai qs diamana. Pada permodelan ini nilai dari beban dapat dikatakan tidak ada sehingga untuk model gangguan beban didapatkan bedasrkan laju keluar uap air. \dot{x}_4 merupakan variable eksogenus yang dapat dikatakan sebagai beban oleh

karena itu penurunan dari persamaan \dot{x}_4 haruslah berdasarkan nilai laju keluar uap air. Untuk persamaan dari laju uap air didapat:

$$qs = (\dot{x}_4 CP_5 - CP_5)x_1 \quad (2.3)$$

dari persamaan 2.3 didapatkan persamaan hubungan state x_4 dan input u_1 adalah

$$x_4 = CP_6 u_1 + CP_7 \quad (2.5)$$

Maka persamaan \dot{x}_4 dapat dinyatakan dalam:

$$\dot{x}_4 = -(\dot{x}_4 - CP_6 u_1 - CP_7) * 1/T_{AIR} \quad (2.6)$$

Dari persamaan 2.6 didapatkan output yang diukur berupa $y_1 = x_1$ mendeskripsikan tekanan dalam (PSI) $y_2 = x_2$ sebagai level oksigen dalam persen y_3 sebagai level air dan $y_4 = qs$ sebagai laju uap air keluar. Maka persamaan State sistem dapat dinyatakan dalam

$$\dot{x}_1(t) = c_{11}x_4(t)x_{11}^{\frac{9}{8}}(t) + c_{12}u(t - \tau_1) - c_{13}u_3(t - \tau_3), \quad (2.7)$$

$$\dot{x}_2(t) = c_{21}x_2(t) + [c_{22}u_2(t - \tau_2) - c_{23}u_1(t - \tau_1) - c_{24}u_1(t - \tau_1)x_2(t)]/[c_{25}u_2(t - \tau_2) - c_{26}u_1(t - \tau_1)] \quad (2.8)$$

$$\dot{x}_3(t) = -c_{31}x_1(t) - c_{32}x_4(t)x_1(t) + c_{33}u_3(t - \tau_3) \quad (2.9)$$

$$\dot{x}_4(t) = -c_{41}x_4(t) - c_{42}x_4(t)x_1(t) + c_{43} \quad (2.10)$$

$$y_1(t) = c_{51}x_1(t - \tau_4) \quad (2.11)$$

$$y_2(t) = c_{61}x_2(t - \tau_5) \quad (2.12)$$

$$y_3(t) = c_{70}x_1(t - \tau_6) + c_{71}x_3(t - \tau_6) + c_{72}x_4(t - \tau_6)x_1(t - \tau_6) + c_{73}u_3(t - \tau_3 - \tau_2) + c_{74}u_1(t - \tau_1 - \tau_6) + \frac{[c_{75}x_1(t - \tau_6) + c_{76}][1 - c_{77}x_3(t - \tau_6)]}{x_3(t - 10)[x_1(t - \tau_6) + c_{78}]} + c_{79} \quad (2.13)$$

$$y_4 = [c_{81}x_4(t - \tau_7) + c_{82}]x_1(t - \tau_1) \quad (2.14)$$

2.3 Kontroler PID

Pada proses perancangan kontroler dibutuhkan kontroler PID untuk mengontrol elemen input yang tidak diatur menggunakan kontroler fuzzy adaptif. Pada penelitian ini kontroler PID digunakan untuk mengatur input air dan output level air.

2.3.1 Kontroler Propotional

Untuk kontroler dengan kontrol propotional memiliki hubungan antara output dari kontroler $u(t)$ dan sinyal error $e(t)$ dengan persamaan

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.15)$$

dimana adalah nilai gain propotional. Propotional kontroler pada dasarnya merupakan ampliflier dengan gain yang dapat diatur

2.3.2 Kontroler Integral

Kontroler Integral (PI) adalah kontroler yang memiliki sinyal control integral, dengan nilai output kontroler $u(t)$ berubah bedasarkan dari integrasi dari sinyal error $e(t)$. Kontroler memiliki persamaan

$$u(t) = K_1 \int_0^t e(t) dt \quad (2.16)$$

dimana K_1 adalah kosntan yang dapat diatur. Fungsi transfer berupa

$$U(s) = \frac{K_1}{s} E(s) \quad (2.17)$$

2.3.3 Kontroler Propotional Derivative

Kontroler memilki persamaan

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.18)$$

dimana T_d merupakan waktu derivative. Memiliki fungsi transfer

$$U(s) = K_p (1 + T_d s) E(s) \quad (2.19)$$

2.3.4 Kontroler Propotional Integral Derivative

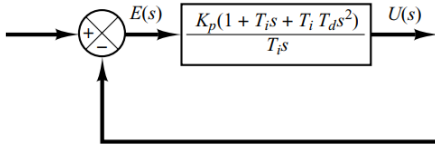
Kontroler menggabungkan komponen dari kontroler propotional,integral dan derivative. Kontroler ini memiliki keuntungan dari tiap anggota kontroler. Kontroler memiliki persamaan

$$u(t) = K_p e(t) + u(t) = K_1 \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.20)$$

dengan fungsi transfer

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d \right) \quad (2.21)$$

dengan K_p, T_i, T_d merupakan gain proporsional, waktu integral dan waktu derivative. bentuk blok diagram ditunjukkan pada gambar 2.2



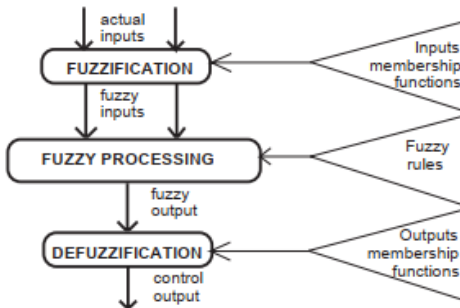
Gambar 2.2 Kontroler PID

2.4 Controller Fuzzy

Secara umum kontroler Fuzzy pada saat melakukan proses kontrol mengalami 3 operasi yaitu:

1. Fuzzifikasi : proses dimana input diubah menjadi input fuzzy
2. Proses Fuzzi : memproses input fuzzy sesuai dengan rule set yang telah ditentukan dan menghasilkan output fuzzy
3. Defuzzifikasi: proses dimana nilai fuzzy diubah menjadi nilai

Contoh proses kerja kontroler fuzzy secara umum dapat dilihat pada



gambar 2.3 Proses Kontroler Fuzzy

2.4.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi merupakan proses dimana input akan dirubah menjadi bentuk himpunan fuzzy melalui pemetaan fungsi keanggotaan (*membership function*). Terdapat banyak jenis fungsi keanggotaan tetapi yang umum digunakan pada penelitian adalah jenis segitiga dan jenis trapezoid. Persamaan fungsi keanggotaan untuk bentuk *triangular* adalah sebagai berikut:

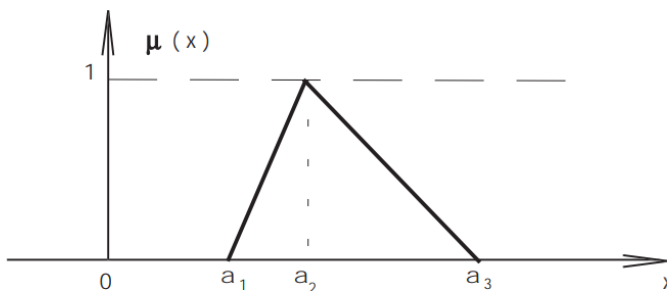
$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & a < x \leq b \\ \frac{x-b}{c-b}, & b < x \leq c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.22)$$

Gambar 2.4 adalah bentuk fungsi keanggotaan jenis segitiga

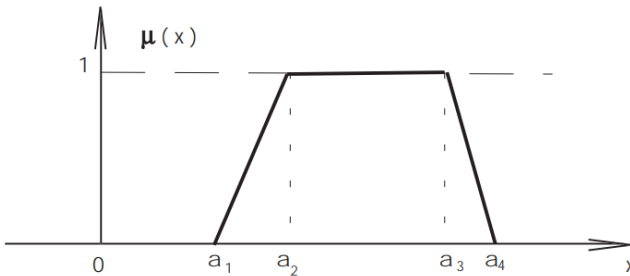
Sedangkan untuk fungsi keanggotaan bentuk *trapezoidal* adalah sebagai berikut:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & (x < a) \text{ or } (x > d) \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (2.23)$$

Gambar 2.5 adalah bentuk fungsi keanggotaan jenis Trapesium



Gambar 2.4 Contoh Fungsi Segitiga



Gambar 2.5 Contoh Fungsi Trapesium

2.4.2 Proses Fuzzy

Pada proses fuzzy dibutuhkan *Fuzzy Rule*. *Fuzzy rule* terdapat berbagai jenis yang dapat digunakan. Contoh dari Fuzzy rule adalah :

1. Format IF-THEN

Format IF-THEN merupakan format penyajian yang paling umum, dimana IF mengandung anteseden yang didapat dari data, dan THEN mengandung konklusi yang diinginkan. Berikut adalah contoh penggunaannya:

- IF error is N and change in error is N then output is NB
- IF error is N and change in error is Z then output is NM
- dsb

2. Format Relasi

Format Relasi ditampilkan dalam bentuk table, dimana baris pertama mengandung nama dari variable yang digunakan. Kolom paling kanan adalah output, dan kolom di bagian kiri adalah input, dan tiap baris menyatakan satu rule.

2.4.3 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses mengubah variable input fuzzy menjadi output bilangan normal yang dapat digunakan sebagai sinyal kontrol. Terdapat berbagai jenis metode defuzzifikasi yaitu

1. Centre of Gravity

Metode ini adalah metode defuzzifikasi yang paling sering digunakan. Metode ini jika digunakan pada sistem diskrit dengan sinyal output yang memiliki *membership degrees* $\{\frac{u_1}{\mu(u_1)}, \dots, \frac{u_k}{\mu(u_k)}\}$

memiliki persamaan

$$u = \frac{\sum_i u_i \mu(u_i)}{\sum_i \mu(u_i)} \quad (2.24)$$

2. Centre of largest area

Metode ini digunakan pada kasus dimana fungsi U tidak berbentuk convex, Sebagai contoh terdiri dari 2 subset fuzzy yang tidak berhimpitan. Sehingga menentukan hasil defuzzifikasi berdasarkan dari subset yang memiliki anggota terbanyak

2.5 Artificial Neural Network

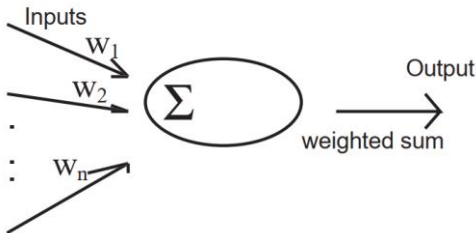
Artificial Neural Network (ANN) memiliki beberapa definisi yang dapat digunakan seperti:

1. Bentuk baru untuk perhitungan yang terinspirasi berdasarkan model biologis
2. Model matematika yang terdiri dari banyak element proses yang disusun dalam bentuk layer
3. Metode perhitungan yang terdiri dari elemen proses yang sederhana dan terhubung erat, dimana memproses informasi dengan merespon state dinamik ke onput eksternal

ANN terdiri dari banyak *Prosesing Element* (PE) yang memiliki fungsi secara umum sebagai

1. Melakukan evaluasi sinyal input, menentukan bobot dari setiap sinyal input
2. Menghitung total dari kombinasi sinyal input dan membandingkan hasil total dengan nilai *threshold*
3. Berdasarkan dengan hasil menentukan nilai dari output

Setiap (PE) memiliki banyak input dan satu output. Input memiliki nilai bobot $W_1 \dots W_n$ yang akan masuk kedalam (PE) Gambar 2.6 menampilkan ilustrasi dari (PE) yang memiliki input dari $W_1 \dots W_n$



Gambar 2.6 Prosesing Element

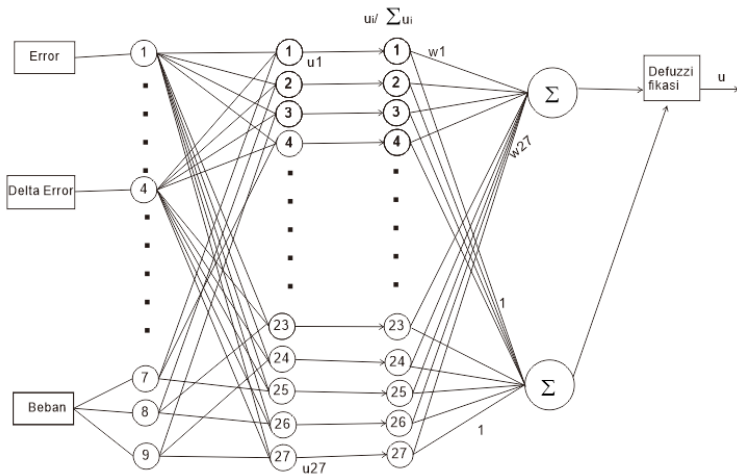
Berdasarkan kasus gambar 2.5 dapat didapat persamaan

$$y = W_1x_1 + W_2x_2 + \dots W_nx_n \quad (2.25)$$

Artificial Neural Network (ANN) terdiri dari layer yang memiliki fungsi tertentu. Struktur dari ANN akan terdiri (PE) yang terhubung satu dengan lain. Input dapat terhubung dengan banyak nodes dengan berbagai bobot yang akhirnya menghasilkan berbagai output. Gambar 2.7 menggambarkan contoh dari struktur (ANN)

2.7 Kontroler Neuro-Fuzzi Adaptif

Pada model kontroler neuro fuzzy adaptif sistem akan memutuskan aksi koontrol berdasarkan *neural network* yang memiliki interface fuzzi, kontroler memiliki dua kondisi kondisi *learning* dan kondisi kondisi kontrol. Pada proses learning evaluasi dari peforma bergantung pada hasil umpan balik. Pada kondisi kontrol kontroler hanya melakukan kontrol fuzzi tanpa melakukan pengaturan parameter



Gambar 2.7 Contoh Struktur ANN

BAB 3

PERMODELAN SITEM DAN PERANCANGAN KONTROLER

3.1 Permodelan Sistem

Permodelan sistem dilakukan dengan menggunakan basis model matematika yang didapatkan dari paper yang telah dilakukan pembahasan pada bab tinjauan pustaka. Perancangan sistem pertama akan dilakukan pada program matlab Simulink dengan tujuan mendapatkan respon nominal dimana sistem akan bekerja dan mendapatkan waktu simulasi yang dibutuhkan untuk mencapai steady state dari sistem.

Langkah yang harus dilakukan setelah perancangan sistem adalah perancangan kontroler fuzzy adaptif. Pada penelitian ini sistem memiliki 3 input yang mengatur proses kerja sistem. Input yang digunakan adalah laju bahan bakar, udara dan air. Untuk input laju air digunakan kontroler PID untuk mengatur output level tinggi air pada *boiler steam drum*. Untuk input udara digunakan sinyal input yang sama dikarenakan untuk proses pembakaran laju bahan bakar yang masuk selalu berbanding lurus dengan laju udara yang masuk dikarenakan proses pembakaran membutuhkan udara. Penggunaan sumber sinyal kontrol yang sama digunakan untuk mempermudah desain kontroler dan untuk membedakan sinyal kontrol akan digunakan konstanta yang nilainya akan diambil dari input nominal yang ada.

Input laju bahan bakar akan digunakan untuk mengatur output tekanan pada *boiler steam drum*. Jenis kontroler yang digunakan adalah kontroler fuzzy adaptive model *neural network mamdani*. Kontroler beroperasi dengan 4 input yang dibagi menjadi waktu, error, error model dan load feedback dari model. Waktu digunakan sebagai pengaturan waktu untuk *initial condition*, sisa input yaitu error, model error dan load feedback akan yang akan menjadi input yang mengalami fuzzifikasi.

3.2 Model Matematika

Bedasarkan persamaan yang telah didapat dari paper yang telah dibahas pada bab daftar pustaka dapat dibuat persamaan yang akan dimodelkan pada program Matlab Simulink.

Untuk melakukan permodelan dengan persamaan yang telah ada digunakan parameter yang berada pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Parameter Sistem Boiler

$c_{11} = -0.00478$	$c_{31} = 0.00533176$
$c_{12} = 0.280$	$c_{32} = 0.0251950$
$c_{13} = 0.01348$	$c_{33} = 0.7317058$
$c_{14} = 0.02493$	$c_{41} = 0.04$
$c_{21} = 0.1540357$	$c_{42} = 0.029988$
$c_{22} = 103.5462$	$c_{43} = 0.018088$
$c_{23} = 107.4835$	$c_{51} = 14.214$
$c_{24} = 1.95150$	$c_{61} = 1.00$
$c_{25} = 29.04$	$c_{81} = 0.85663$
$c_{26} = 1.824$	$c_{82} = -0.18128$
$c_{70} = -0.1048569$	$c_{74} = 1.2720$
$c_{71} = 0.15479$	$c_{75} = -32421.7805$
$c_{72} = 0.4954961$	$c_{76} = -99556.24778$
$c_{73} = -0.20797$	$c_{77} = 0.0011850$
$c_{78} = -1704.50476$	$c_{79} = 103.7351$
$\tau_1 = 2$	$\tau_3 = 3$
$\tau_2 = 2$	$\tau_4 = 3$
$\tau_6 = 10$	$\tau_5 = 4$
$\tau_7 = 2$	

Nilai parameter didapatkan dari paper yang telah dibahas pada tinjauan pustaka. Parameter yang ada berisi konstan dan parameter waktu. Parameter akan digunakan pada persamaan non linear yang dapat dinyatakan dengan

$$\dot{x}_1(t) = -0.00478x_4(t)x_{11}^9(t) + 0.28u_1(t-2) - 0.0134u_3(t-3) \quad (3.1)$$

$$\dot{x}_2(t) = -0.1540357x_2(t) + [103.4562u_2(t-2) - 107.4835u_1(t-2) - 1.9515u_1(t-2)x_2(t)]/[29.04u_2(t-2) - 1.824u_1(t-2)] \quad (3.2)$$

$$\dot{x}_3(t) = -0.00533176x_1(t) - 0.025195x_4(t)x_1(t) + 0.731705u_3(t-3) \quad (3.3)$$

$$\dot{x}_4(t) = -0.04x_4(t) - 0.0029988x_4(t)x_1(t) + 0.018088 \quad (3.4)$$

$$y_1(t) = 14.214x_1(t-3) \quad (3.5)$$

$$y_2(t) = x_2((t-4)) \quad (3.6)$$

$$y_3(t) = -0.1048569x_1(t-10) + 0.15479x_3(t-10) + 0.4954961x_4(t-10)x_1(t-10) - 0.20797u_3(t-3-2) + 1.2772u_1(t-2-10) + \frac{[-32421.7805x_1(t-10) - 99556.24773][1 - 0.001185x_3(t-10)]}{x_3(t-10)[x_1(t-10) - 1704.50476]} + 103.7351 \quad (3.7)$$

$$y_4 = [0.8566x_4(t-2) - 0.18128]x_1(t-2) \quad (3.8)$$

State yang digunakan adalah $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{x}_3, \dot{x}_4$ yang memiliki nilai masing-masing dari tekanan pada drum kgf/cm^2 , nilai dari level oksigen yang berlebih (persen), massa jenis dari cairan kg/s dan variable exogenous dari beban. Sedangkan untuk output yang diukur berupa y_1, y_2, y_3, y_4 yang merupakan pengukuran dari tekanan pada drum kg/s , nilai dari level oxygen berlebih (persen), level air pada drum dan laju dari uap. Untuk input yang mengatur dari sistem terdapat 3 input yaitu u_1, u_2, u_3 yang merupakan laju dari bahan bakar, udara dan air, nilai dari input berkisar antara 0 hingga 1 dengan input nominal yang didapat bernilai $u_0 = [0.32270 \ 0.395503 \ 0.37404]^T$. State yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Penjelasan variabel

\dot{x}_1	Tekanan pada steam drum (kgf/cm^2)
\dot{x}_2	Persentase level oksigen (persent)
\dot{x}_3	Masa jenis air (kg/m^3)
\dot{x}_4	Variable eksogenous

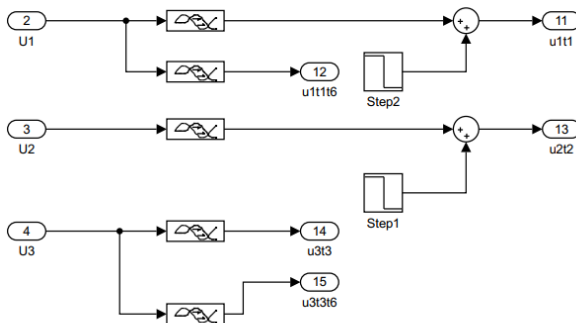
u_1	Laju Bahan Bakar
u_2	Laju Udara
u_3	Laju air
y_1	Tekanan pada steam drum (<i>PSI</i>)
y_2	Persentase level oksigen (present)
y_3	Level air
y_4	Laju uap keluar (kg/s)

3.2 Simulasi Sistem

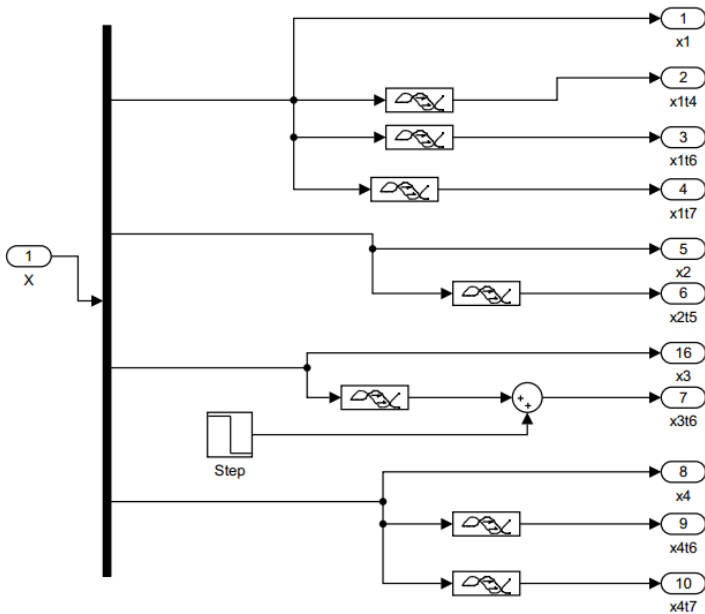
Dilakukan simulasi pada program Matlab Simulink dengan menggunakan persamaan 3.1 hingga 3.8 untuk mendapatkan nilai dari output nominal yang hasilnya didapatkan dengan permodelan sistem pada gambar 3.3 , gambar 3.2 dan gambar 3.1 sebagai subsistem

Pada bagian subsitem pada gambar 3.1 terdapat penambahan fungsi step untuk melakukan kompensasi pada state yang mengalami kondisi tidak terdefinisi pada saat kondisi awal simulasi. Hal ini juga terjadi pada bagian input dimana diperlukan input step untuk melakukan kompensasi.

Alasan terjadinya kondisi tidak terdefinisi ini adalah ada pada persamaan 3.2 dan 3.7 dimana akan muncul kondisi 0/0 saat kondisi awal dimana state dan input masih memiliki nilai 0



Gambar 3.1 Subsistem Untuk Input Sistem Boiler



Gambar 3.2 Subsistem Untuk Model State Sistem Boiler

Subsistem input juga diberi input step untuk menghilangkan keadaan tidak terdefinisi dan Untuk sistem keseluruhan digunakan input konstan yang dapat diubah

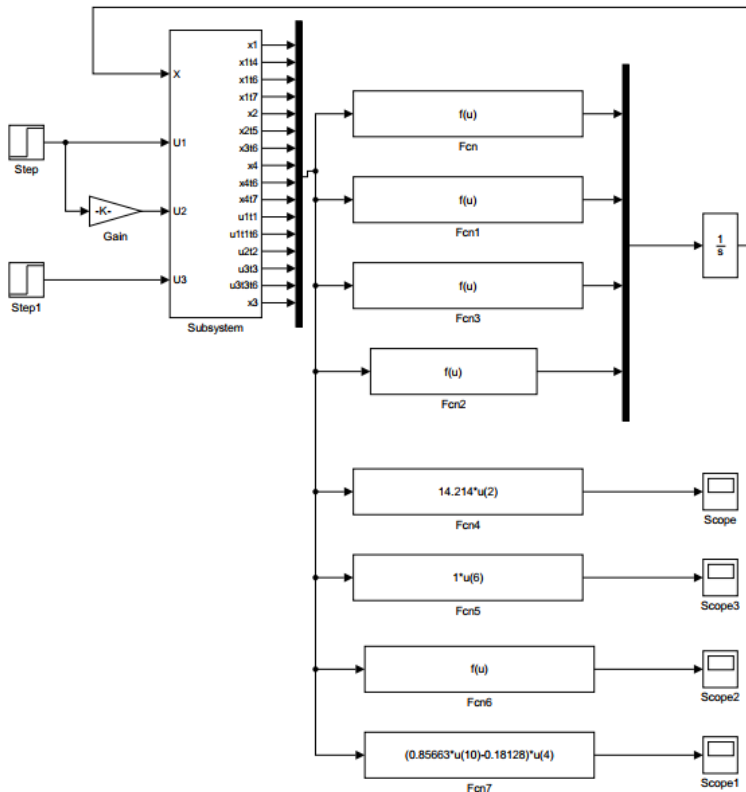
Untuk memudahkan proses desain proses kontrol sumber sinyal kontrol dari input laju udara berasal dari input laju bahan bakar dimana dikalikan dengan rasio input nominal.

3.3 Hasil Respon Sistem

Setelah dilakukan perancangan sistem dilakukan uji coba dengan memberikan input unit step hasil yang didapat dari output tekanan, level oksigen, level tinggi air dan laju uap air dapat terlihat pada gambar 3.4 hingga gambar 3.7

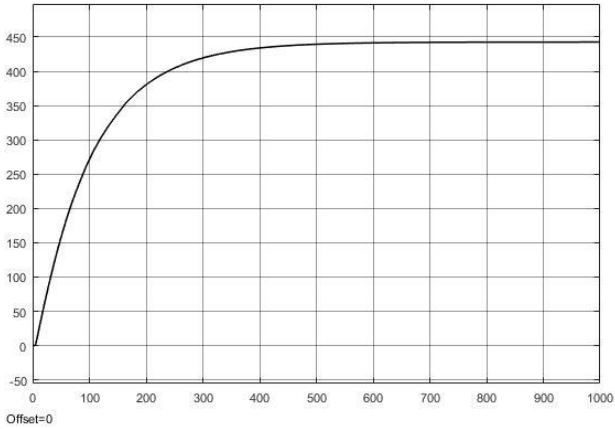
Bedasarkan data yang dapat didapatkan paper untuk permodelan diketahui bahwa boiler memiliki state output sebagai berikut

$$y_0 = [320 \ 25 \ 0 \ 9.3053]^T$$

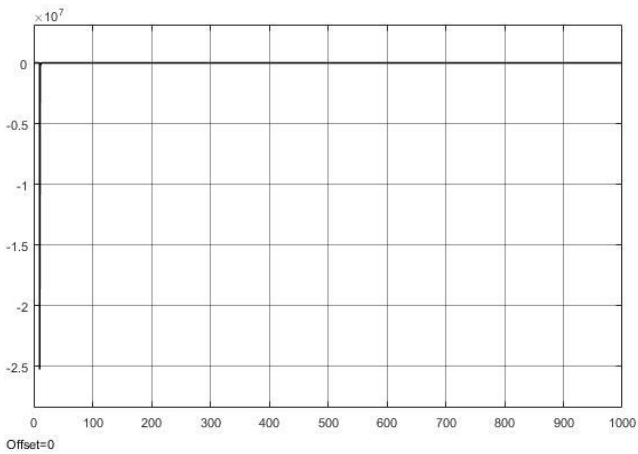


Gambar 3.3 Simulasi Sitem Boiler

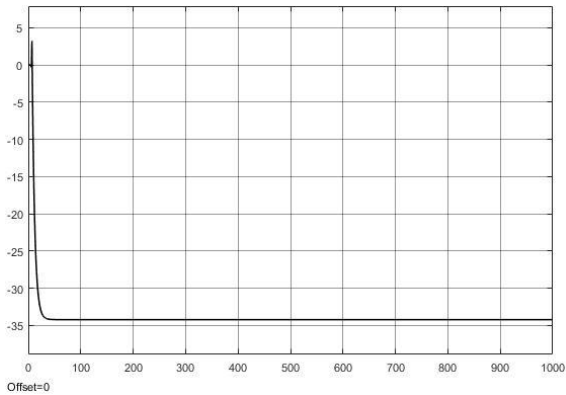
Kemudian dilakukan pengecekan dengan menggunakan input nominal dari sistem yang telah ada untuk membandingkan sistem yang telah dibuat. Sedangkan hasil dari simulasi sistem tanpa kontroler menghasilkan respon pada gambar 3.4, 3.5, 3.6, dan 3.7 yang merupakan respon dari tekanan, level oksigen, level air, laju uap air



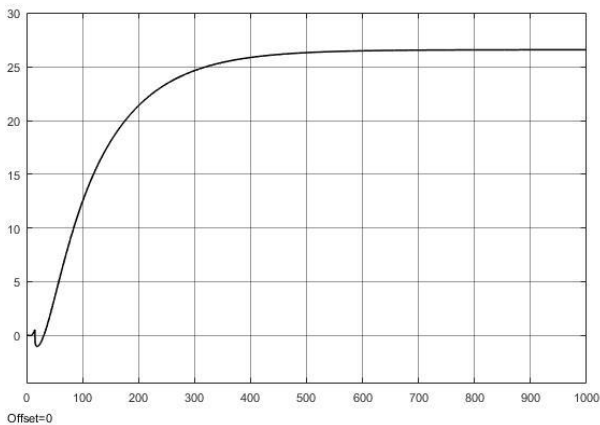
Gambar 3.4 Respon Tekanan



Gambar 3.5 Respon Level Air



Gambar 3.6 Respon Level oksigen



Gambar 3.7 Respon Laju Uap Keluar

Dari simulasi dengan waktu 1000 detik maka didapat output bernilai

$$y = [442.6 \quad -34.297 \quad -19.98 \quad 26.59]^T$$

Pada penelitian output yang diatur merupakan nilai dari tekanan dan level air pada boiler steam drum. Berdasarkan cara kerja boiler nilai oksigen tidak boleh negatif untuk menghindari pembakaran yang tidak

sempurna dan nilai dari level air harus terjaga pada level berkisar 0 untuk menghindari kerusakan

3.4 Kontroler Level Air

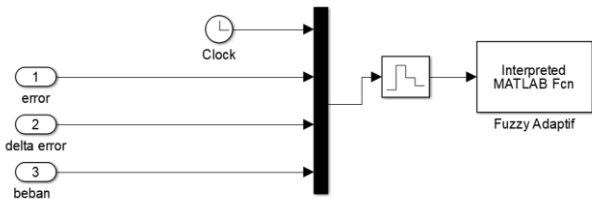
Pada penelitian dilakukan pemasangan kontroler PID pada level air untuk menjaga kondisi level. Pada persamaan sistem didapatkan bahwa output dari level air terpengaruh oleh input laju bahan bakar dan laju air. Untuk mendapatkan hasil PID yang sangat akurat diperlukan kontrol pada laju bahan bakar sebelum pengontrolan pada laju air sehingga desain kontroler dilakukan dengan tujuan sebagai kelengkapan pada desain sistem. Untuk itu digunakan kontroler PID sebagai dengan model bedasarkan persamaan 2.13 dengan nilai

$$PID = 0.00025 + 987 * 10^{-9} \frac{1}{s} \quad (3.9)$$

Dengan kontroler didapatkan nilai dari level air sebesar -0.2575

3.5 Desain Kontroler Fuzzy Adaptif

Proses perancangan kontroler akan dilakukan pada output tekanan menggunakan sinyal kontrol pada input laju bahan bakar dengan menggunakan kontroler fuzzy adaptif bertipe neural network model mamdani. Proses perancangan yang pertama merupakan penentuan sinyal input untuk kontrol. Kontroler fuzzy memiliki desain awal dengan 4 input yaitu waktu, error, error model, dan *feedback* dari beban berupa laju uap yang berasal dari y_4 . Gambar 3.6 adalah struktur awal dari kontroler.



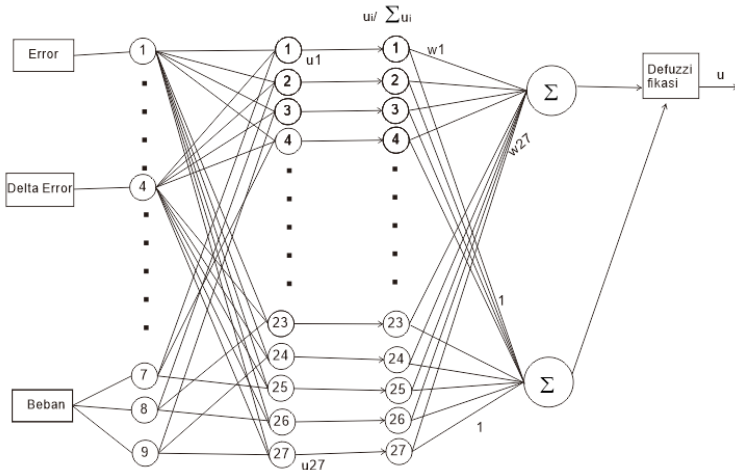
Gambar 3.8 Kontroler Fuzzy Adaptif

Clock digunakan untuk menjadi variable waktu yang digunakan untuk membantu proses learning, error merupakan selisih antara sinyal input dengan output sistem, error model adalah selisih antara model dengan output sistem, dan beban adalah nilai dari output laju uap air.

Diberi blok zero order hold untuk konversi menjadi model diskrit agar kontroler tidak memerlukan integrasi untuk bekerja.

Kontroler didesain untuk memiliki 2 mode dimana ada mode learning dan model kontrol, pada mode learning diberikan input berupa sinyal random, input ini berguna agar kontroler terus melakukan pembaruan beban sesuai dengan *learning rate* dan formula yang ditentukan

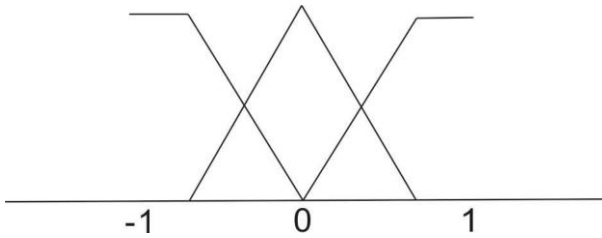
Proses dari cara kerja kontroler fuzzy dapat diuraikan sebagai proses fuzzifikasi, normalisasi, fuzzy mamdani, normalisasi hasil fuzzy dan penambahan bobot. Secara sederhana proses dapat dilihat pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Diagram Proses Kontroler Fuzzy Adaptif

3.5 Fuzzifikasi dan Normalisasi

Kontroler akan mendapatkan tiga input yang mengalami fuzzifikasi yaitu error, delta error dan beban. Pada kasus ini delta error merupakan nilai error sebelum nilai error diperbarui nilai ini digunakan untuk mengetahui perubahan error. Pemetaan menggunakan fungsi keanggotaan dengan model segitiga pada gambar 3.10. pemetaan pada ketiga input menggunakan model yang sama



Gambar 3.10 Fungsi Keangotaan Segitiga

Sebelum terjadi pemetaan pada fungsi keangotaan dilakukan normalisasi dari input. Untuk error nilai dari input akan dibagi dengan nilai error maksimum, proses yang sama terjadi pada error dengan perbedaan pada bagian dengan delta error maksimum. Untuk normalisasi beban digunakan persamaan

$$ldf = \frac{ld - ldn}{dld} \quad (3.10)$$

Dengan ldf sebagai beban hasil normalisasi, ld adalah beban dari sistem ldn adalah beban nominal dan dld adalah delta beban maksimum. dari proses fuzzifikasi akan dihasilkan 27 output yang akan digunakan pada Proses *fuzzy rule mamdani*

3.6 Proses Fuzzy

Merupakan proses dilakukannya proses mamdani dimana setiap hasil akan ditambahkan untuk mendapatkan nilai minimum. Hasil dari output akan melalui defuzzifikasi dimana dirubah menjadi sinyal kontrol yang normal. Proses normalisasi dilakukan dengan membagi nilai output dengan total nilai output. proses selanjutnya adalah perkalian output dengan bobot yang menghasilkan output dengan persamaan

$$u = \sum u_i w_i \quad (3.11)$$

Dimana u adalah keluaran sinyal kontrol, u_i adalah hasil normalisasi dengan $i = [1 \dots 27]$ berdasarkan jumlah output w adalah bobot dari tiap output

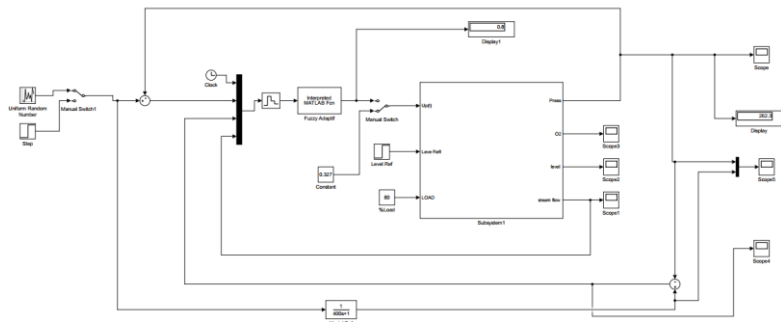
Untuk menambahkan proses adaptif perlu dilakukan proses pembaruan bobot dimana dilakukan pembaruan bobot dengan persamaan

$$w_{ki} = w_i + \alpha * em * u$$

Dengan W_{kn} sebagai bobot baru, α adalah *learning rate* dan em adalah error model.

3.7 Perancangan Sistem Keseluruhan

Setelah dilakukan perancangan sistem fuzzy dilakukan implementasi pada sistem simulasi. Untuk proses *learning* digunakan input berupa sinyal acak terbatas untuk menghasilkan input acak yang dapat terus merubah nilai bobot. Kemudian ditambahkan input persentase nilai beban yang dapat diatur dengan nilai nominal pada 80%. Kemudian ditambahkan scope yang membandingkan hasil model dan hasil sistem yang ada untuk memantau proses learning. Pada mode kontrol digunakan input berupa unit step untuk melakukan pengecekan. Model sistem keseluruhan dapat dilihat pada gambar 3.8



Gambar 3.11 Sistem Keseluruhan

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pada bab ini dilakukan pengujian pada kontroler fuzzy adaptif dengan tujuan menghasilkan kontroler yang mampu menjaga tekanan *boiler steam drum* pada nilai tekanan nominal sebesar 320 (PSI). kontroler ini juga mempengaruhi nilai dari output pada level oksigen dan laju keluar uap air tetapi kedua output ini memiliki kondisi dimana tidak mengalami kontrol secara langsung sehingga tujuan yang ingin dicapai mendapatkan output stabil pada batas yang ditentukan. setelah mendapatkan kontroler yang bekerja dengan baik dilakukan perbandingan dengan kontroler yang melakukan learning lebih lama dengan fluktuasi input yang lebih tinggi

4.1 Proses Learning Kontroler

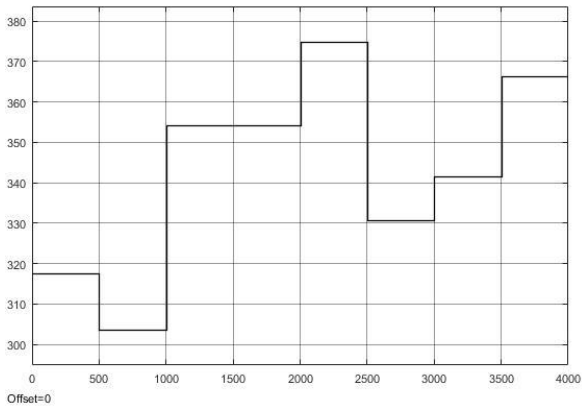
Proses learning adalah proses dimana kontroler akan terus mengganti nilai beban berdasarkan kondisi error. Pada kondisi ini kontroler akan diberi sebuah input nilai acak yang sehingga kontroler akan melakukan pembaruan dengan kondisi dimana sinyal kontrol yang masuk mengalami fluktuasi yang tinggi. Hasil dari kontroler diharapkan dapat mengatur sistem pada kondisi sinyal yang berubah-ubah.

Untuk melakukan proses diperlukan penentuan parameter untuk input yang digunakan pada error dan delta error digunakan maksimum error sebesar 120. Untuk beban telah dilakukan disain untuk mengkonversi bentuk sinyal input menjadi persentase.

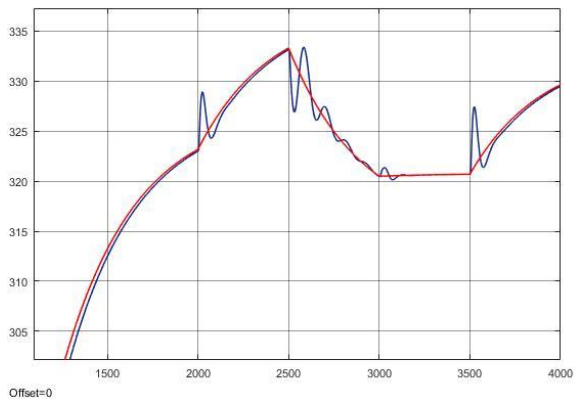
Pada sistem digunakan pada kondisi dimana beban pada 80% nilai maksimum dengan error maksimum sebesar 20%. Perubahan ini mengakibatkan nilai dari output nominal berubah menjadi 11,63125 (kg/s).

Input yang digunakan merupakan sinyal acak dengan batas minimum 300 dan maksimum 380. Model ini digunakan dengan anggapan tekanan pada boiler dapat memiliki batas. Contoh dari sinyal input acak diberikan pada gambar 4.1 dengan model sinyal diberikan memiliki sampling time 500. Proses berikutnya adalah penentuan learning rate yaitu kecepatan dimana kontroler memperbarui parameter beban.

Learning rate yang digunakan bernilai 0.001 dan 0.01 untuk dilakukan perbandingan dengan proses learning dapat dilihat pada gambar 4.2



Gambar 4.1 Contoh Sinyal Input Acak

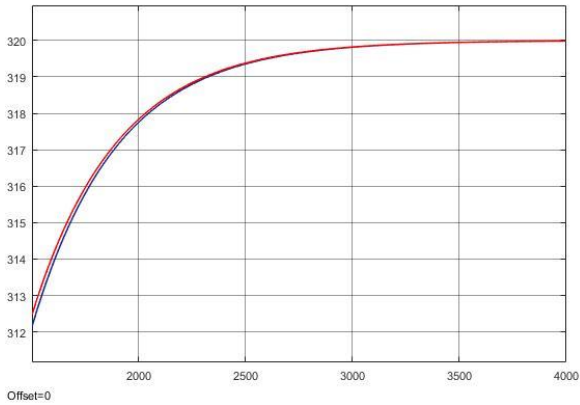


Gambar 4.2 Proses Learning Kontroler Fuzzy

4.2 Respon sistem

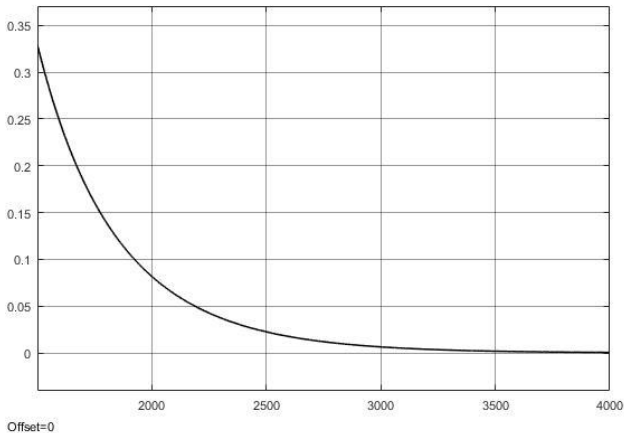
Untuk respon ditampilkan hasil perbandingan tekanan pada sistem dan pada model referensi. Pengecekan dilakukan dengan input unit step setelah kontroler melakukan learning dengan input acak yang telah dispesifikasi.

Respon dari sistem diperoleh pada gambar 4.3 yang merupakan perbandingan respon sistem dengan model referensi .



Gambar 4.3 Respon Sistem dan Model Referensi

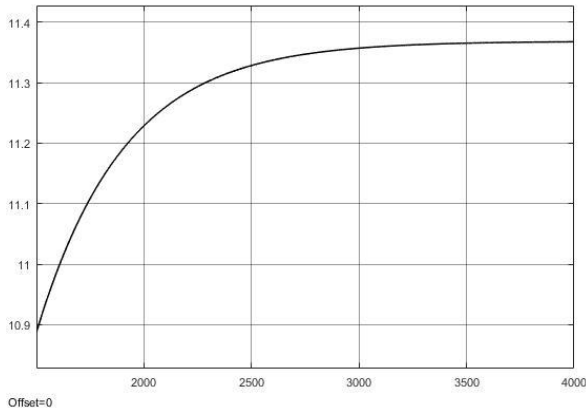
Warna merah merupakan respon model dan warna hitam respon sistem. Selanjutnya dilakukan pengecekan error dari sistem pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Nilai Error

Bedasarkan gambar terlihat jika kontroler yang digunakan telah mampu menghasilkan respon yang memenuhi spesifikasi output nominal pada nilai 320. Dengan model referensi yang telah menyerupai model

sistem. Selanjutnya dilakukan pengecekan pada nilai output beban yang diperoleh pada gambar 4.5



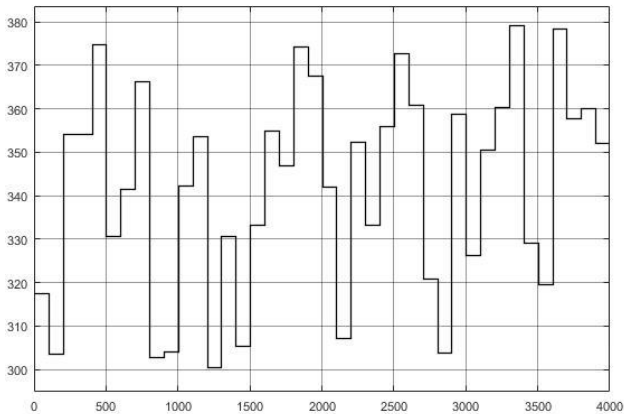
Gambar 4.5 Respon Laju Uap Air

Hasil respon laju keluar uap air menunjukkan mencapai kestabilan pada nilai 11.37 kg/s yang cocok dekat dengan nilai nominal pada 80% beban. Untuk nilai level oksigen berada pada nilai 8.7 %. Hasil dari error yang didapatkan terlihat bahwa kontroler dapat menghasilkan error dimana yang mencapai 0 tetapi masih memiliki initial error pada nilai 0.32.

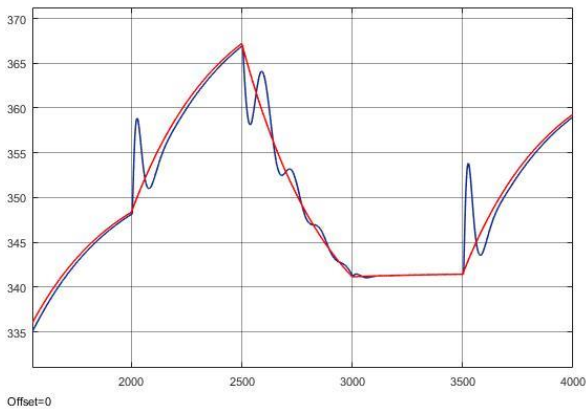
4.3 Perbandingan Hasil Learning

Hasil dari kontroler yang berhasil merupakan kontroler yang menggunakan learning rate 0.001 dengan input acak

dengan sampling 500. Sedangkan untuk proses learning yang kedua dilakukan dengan input acak yang memilih sampling 100 dengan contoh pada gambar 4.5. Dilakukan perbandingan respon model dan sistem pada saat perbedaan sampling. Dengan gambar 4.5 merupakan respons saat sampling 500 dan gambar 4.6 saat sampling 100.



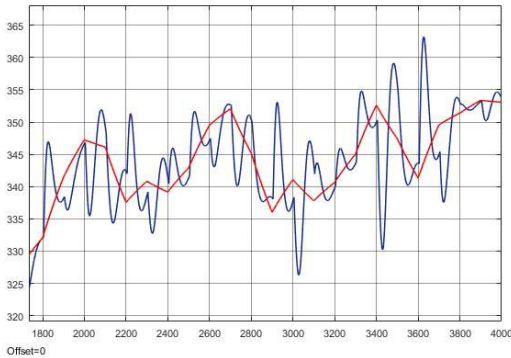
Gambar 4.6 Contoh Input Sinyal Acak Sampling 100



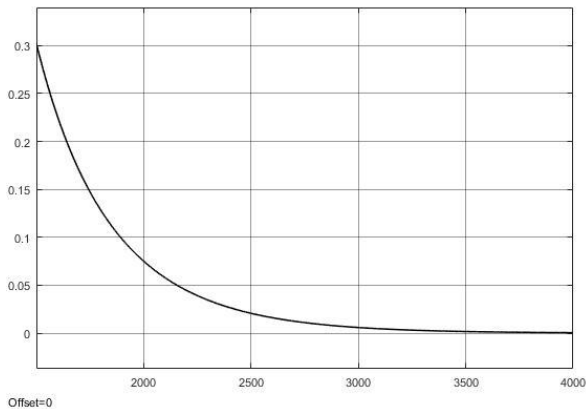
Gambar 4.7 Perbandingan Respon Saat Sampling 500

Dari grafik terlihat jika pada sampling time yang tinggi model hanya dapat mengikuti tren dari respon sistem dan tidak dapat menghitung respon yang terlalu fluktuatif. Setelah itu dilakukan pengecekan error yang setelah proses learning kedua terdapat pada

gambar 4.8. Hasil error tidak mengalami perubahan yang terlalu signifikan dimana hanya terjadi penurunan initial error sebesar 0.02



Gambar 4.8 Perbandingan Respon Saat Sampling 100



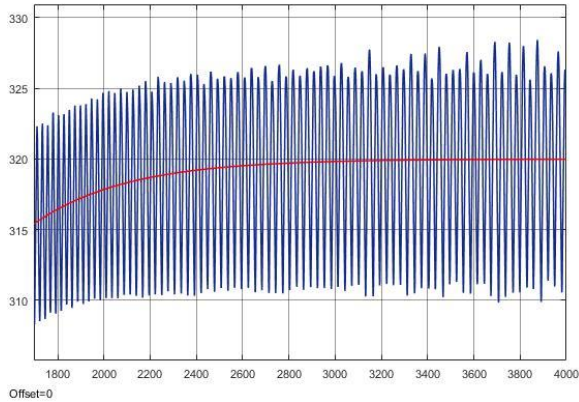
Gambar 4.9 Error Kontroler Proses Learning Kedua

4.4 Penggantian Learning Rate

Untuk melakukan perbandingan nilai yang dirubah hanyalah nilai *learning rate*. Parameter lain akan mengikuti nilai dari percobaan pertama. Nilai parameter learning rate yang digunakan bernilai lebih

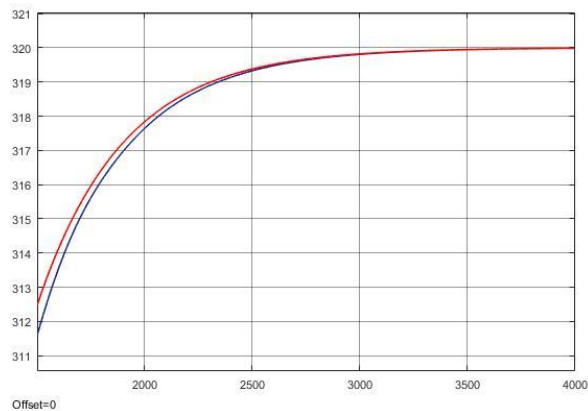
besar dengan nilai 0.01. dengan melakukan perbandingan nilai output dan error model.

Terlihat dari gambar 4.8 sistem mengalami osilasi sehingga tidak dapat digunakan sebagai sinyal kontrol



Gambar 4.10 Respon Sistem dan Model Refrensi Learning Rate 0.01

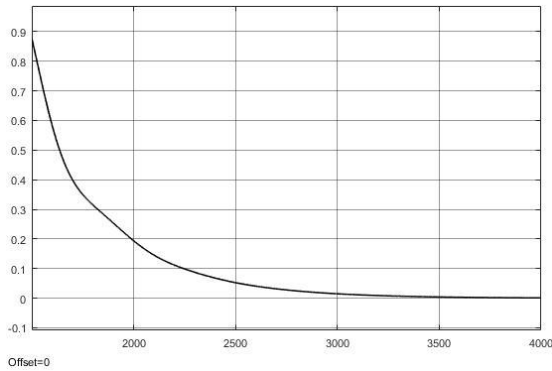
Untuk percobaan berikutnya dilakukan dengan menggunakan *learning rate* 0.0001 dan parameter lain yang sama berdasarkan proses



Gambar 4.11 Respon sistem dan Model Refrensi Learning Rate 0.0001

learning yang pertama. Hasil percobaan pada gambar 4.11 menghasilkan model yang cukup mirip dengan sistem dan nilai output yang sesuai dengan output nominal pada tekanan maupun laju uap air

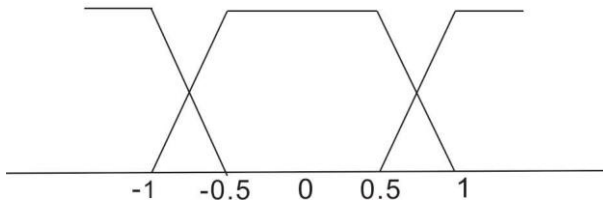
Dilakukan pengecekan error pada model dan didapatkan pada gambar 4.12 dimana didapatkan jika kontroler memiliki error awal yang lebih tinggi dari kontroler pada percobaan pertama



Gambar 4.12 Error Kontroler Learning Rate 0.0001

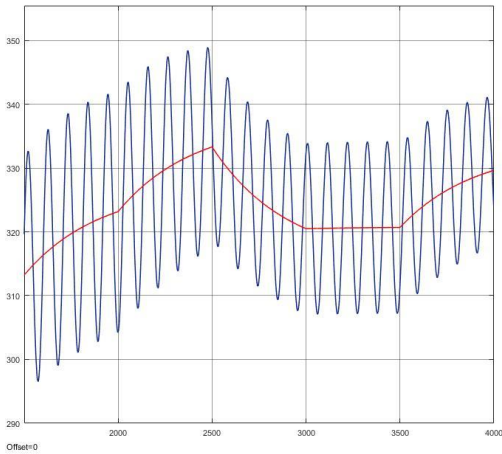
4.5 Penggantian Fungsi Keanggotaan

Pada percobaan berikutnya dilakukan dengan melakukan penggantian pada fungsi keanggotaan dimana digunakan model fungsi keanggotaan berbentuk trapesium yang dapat dilihat pada gambar 4.11



Gambar 4.13 Fungsi keanggotaan Trapesium

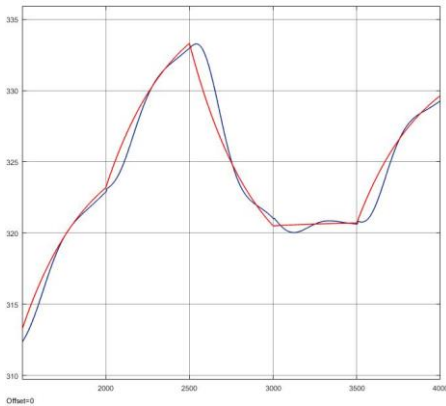
Penggatian ini dilakukan dengan harapan mendapatkan hasil kontrol yang lebih optimal. Percobaan pertama dilakukan dengan parameter dengan learning rate 0.001 saat input acak dengan sampling 500. Dengan hasil yang didapatkan pada gambar 4.14



Gambar 4.14 Respon Learning rate 0.001

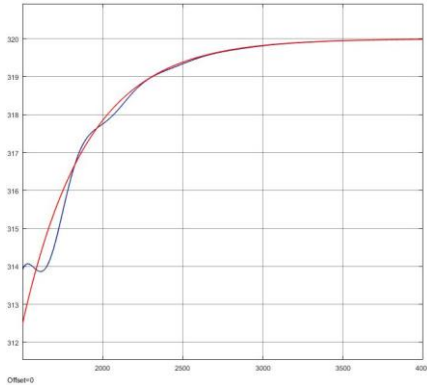
Dari respon terlihat bahwa terjadi osilasi pada sistem yang dapat dikatakan pada model fungsi keangotaan berbentuk trapezium sistem tidak dapat mengalami perubahan yang terlalu banyak pada beban

Untuk pengujian berikutnya dilakukan dengan learning rate 0.0001 dengan hasil pada gambar 4.15



Gambar 4.15 Respon Learning rate 0.0001

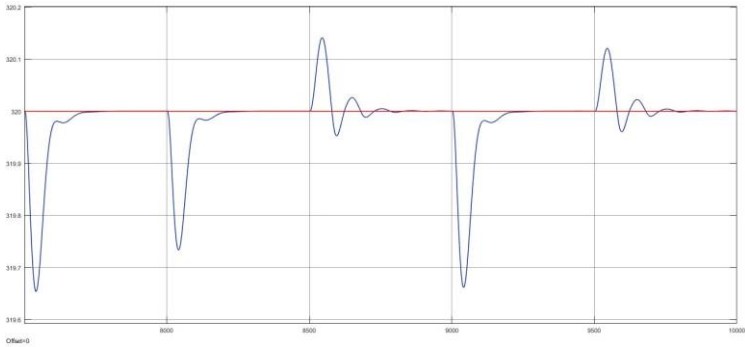
Hasil dari ini cukup mirip dengan hasil learning rate pada model fungsi keanggotaan segitiga. Dengan hasil respon pada steady state pada gambar 4.14 yang menunjukkan kontroler mampu mencapai nilai nominal 320 atm



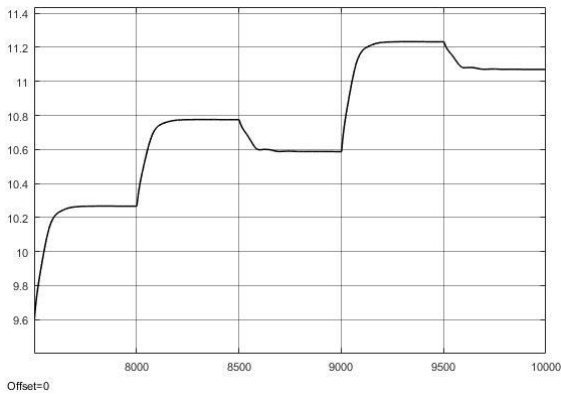
Gambar 4.16 Respon Sistem dan Model Fungsi Trapesium

4.6 Pengujian Dengan Beban Fluktuatif

Pengujian berikutnya dilakukan dengan menggunakan beban yang mengalami fluktuasi dimana persentase bobot akan berubah pada kisaran kurang lebih 10% dengan sampling rate 500 detik yang untuk memastikan keandalan dari kontroler fuzzy adaptif. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kontroler dengan learning rate 0.001. Pada saat sistem memiliki beban stabil didapatkan laju nilai dari tekanan dan laju keluar uap air bernilai 320 atm dan 11.36. Hasil dari respon keluaran sistem dapat dilihat pada gambar 4.17 dan 4.18.



Gambar 4.17 Respon Tekanan Saat Beban Fluktuatif



Gambar 4.18 Respon Laju Uap Air Pada Beban Fluktuatif

Untuk mendapatkan hasil nilai yang lebih akurat data hasil respon sistem dimasukkan pada table 4.1 dan 4.2 untuk mendapatkan persentase error dari sistem .

Tabel 4.1 Data Error Pada Tekanan Sistem

Waktu	Perubahan Beban %	Output (atm)	Error output(%)
7500	5.825	319.65	0.1
8000	3.13	319.74	0.08
8500	4.1	320.14	0.04

9000	1	319.66	0.1
9500	1.5	320.12	0.03

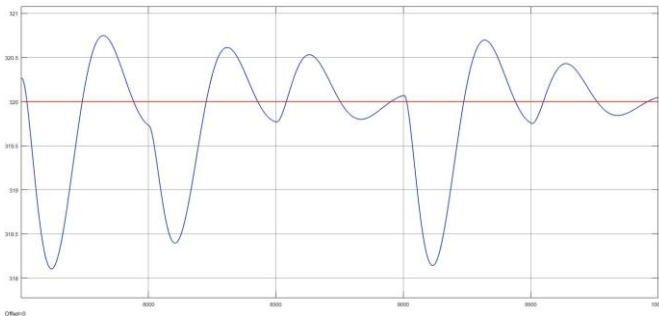
Tabel 4.2 Data Error Pada Laju Uap Sistem

Waktu	Perubahan Beban %	Output (kg/s)	Error output(%)
7500	5.825	9.8	14
8000	3.13	10.58	6
8500	4.1	10.6	6
9000	1	11.22	1
9500	1.5	11.08	2

Dari hasil simulasi didapatkan jika pada saat sistem mengalami perubahan beban terjadi fluktuasi pada hasil respon tekanan dimana nilai tekanan berubah dan mendapatkan error yang bernilai pada table 4.1. meskipun mengalami perubahan sistem dapat kembali mencapai nilai output nominal 320 atm setelah kurang lebih pada saat melewati 300 detik. Hasil error dari respon tekanan berada pada kisaran dibawah 0.1% sehingga bisa dikatakan cukup bagus untuk menjaga tekanan.

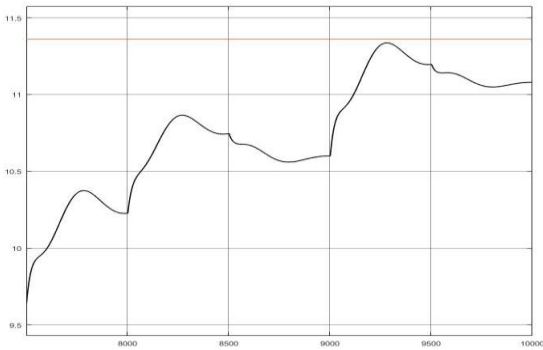
Hasil dari keluaran laju uap air mengalami perubahan yang cukup besar dengan nilai error yang cukup tinggi yang dapat disebabkan oleh input 2 yaitu laju oksigen yang tidak diatur secara langsung. Dari grafik juga dapat terlihat jika keluaran laju uap air belum mencapai nilai nominal pada saat bernilai 11.36 kg/s

Selanjutnya dilakukan percobaan beban fluktuatif dengan fungsi keanggotaan trapesium dengan menggunakan nilai parameter yang sama dan didapatkan hasil respon pada tekanan dan laju uap pada gambar 4.19 dan 4.20



Gambar 4.19 Hasil Tekanan Saat Beban Fluktuatif

Bedasarkan model yang didapatkan terlihat jika sistem lebih fluktuatif dibanding dengan kontroler fuzzy sebelumnya dimana pada model ini respon dari tekanan uap tidak dapat stabil pada nilai nominal. Sedangkan pada hasil beban laju uap air yang keluar tidak juga tidak dapat mengalami kestabilan pada nilai tertentu hal dapat diartikan pada kontroler dengan model fungsi keanggotaan trapesium lebih mudah terpegaruh oleh beban fluktuatif.



Gambar 4.20 Hasil Laju Uap Air Saat Beban Fluktuatif

-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian dan hasil simulasi yang dilakukan didapatkan beberapa kesimpulan yaitu

1. Dapat dilakukan perancangan controller fuzzy adaptif untuk proses pembakaran pada *Steam Boiler Drum*
2. Pengaturan level oksigen tidak dapat mencapai nilai nominal dengan kontroler yang tidak langsung mengatur input laju udara
3. Kontroler dapat melakukan proses *learning* pada *learning rate* bernilai 0.001 sedangkan untuk *learning rate* bernilai lebih tinggi pada 0.01 sistem mengalami osilasi
4. Kontroler dapat menghasilkan model dengan error bernilai 0 meskipun terdapat nilai awal error dengan nilai 0.32
5. Pada saat diberi beban fluktuatif sistem dapat menjaga output tekanan dengan error kurang lebih 0.1%
6. Kontroler fuzzy adaptif dapat mengatur output tekanan pada kondisi stabil dan pada kondisi beban fluktuatif dengan error yang kecil.

5.2 Saran

Untuk melanjutkan penelitian diperlukan masukan dan saran berupa

1. Diperlukan desain kontroler pada input lain seperti pada input laju air dan laju udara agar dapat pengaturan pada state output yang lain dapat mencapai nilai nominal
2. Dilakukan penelitian dengan metode desain kontroler yang lain seperti metode ANFIS, Fuzzy robust dan model neural network Larson untuk membandingkan apa bias didapatkan hasil yang lebih baik.

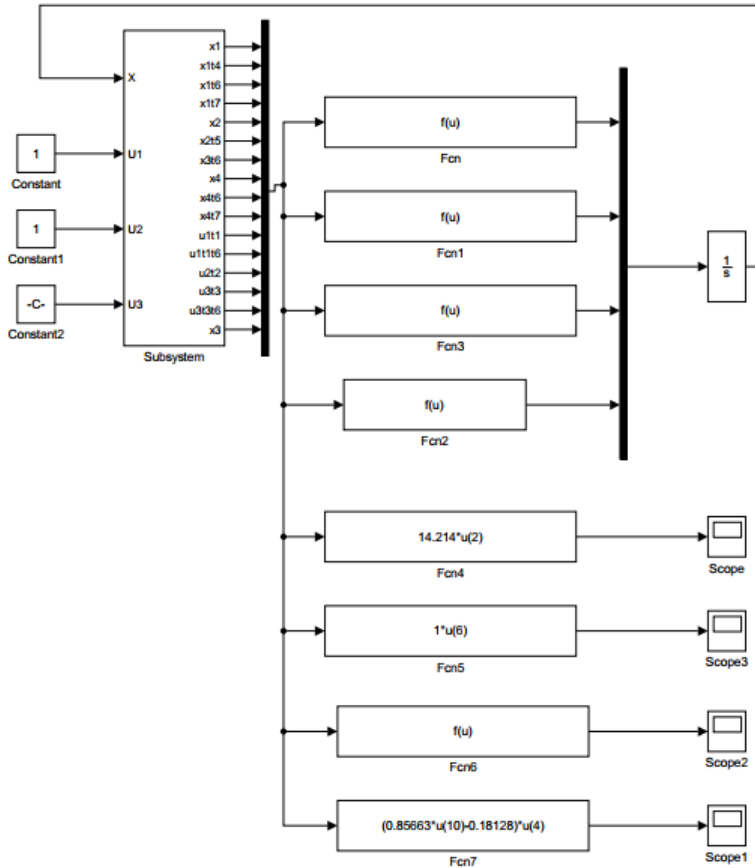
-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

DAFTAR PUSTAKA

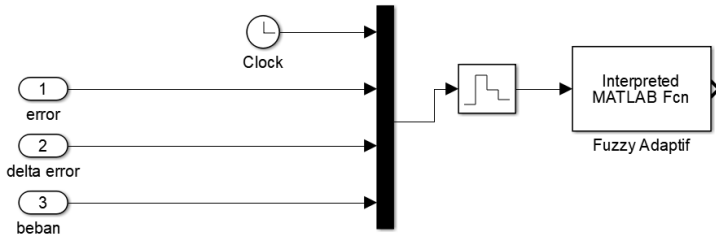
- [1] Gordon Pellegrinetti, Joseph Benstman “Non Linear Control Oriented Bolier Modeling A Benchmark Problem For Controller design” IEEE Transactions on Control Technology Vol 4 No 1 Januari 1996
- [2] Kastuhiko Ogata “Modern Control Engineering Fifth Edition ” : Prentice Hall, Tokyo,2010
- [3] Leonid Reznik “Fuzzy Controllers”,Newnes, Melbourne, 1997
- [4] Li Xin Wang “Stable Adaptive Fuzzy Control of Non Linear System” IEEE Transactions on Fuzzy System vol 1 no 2 1993
- [5] M.E. FLyn , M.J.O Malley “Drum Boiler Model For Long Term Power System Dynamic Simulation” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 1, February 1999
- [6] Yancho V Todorov, Margarita N Terziyska, Michail G Potrov “Fuzzy-Space Predictive Control” IFAC Papers Online ScienceDirect 2015

-----*Halaman ini sengaja dikosongkan*-----

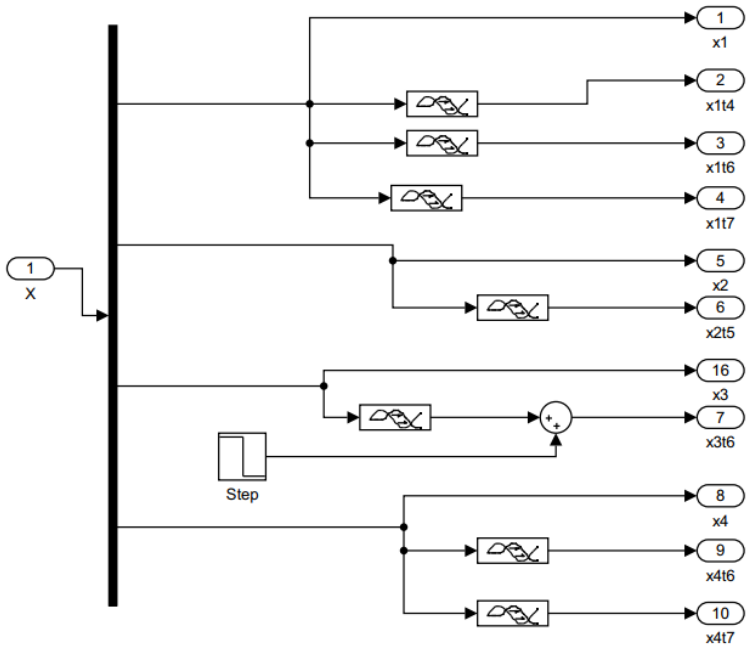
Lampiran 2 Desain Plant Menyeluruh



Lampiran 3 Desain isi Subsistem Kontroler Fuzzy



Lampiran 4 Desain subsistem Plant State System



Lampiran 5 Program Fuzzy

```
function uk=fusiad(xx)
global w lmd ek em dek ekml emax demax luas
deload nomload ef def ldf uf
tt=xx(1);
if tt==0
    w=rand(27,1);
    %w=evalin('base','bobot1');
    ekml=0;
    ek=0; %error
    emax=120; %error maksimum
    demax=120; %delta error maksimum
    deload=20; %delta beban masimum
    nomload=80;% beban nominal
    lmd=0.0001; %learning rate
end
ek=xx(2);
em=xx(3);
luas=xx(4);
dek=ek-ekml;
ekml=ek;
%fuzifikasi ek
%normalisasi ek
ekn=ek/emax;
ef=[0 0 0];
if ekn<=-1
    ef(1)=1;
elseif ekn<0
    ef(1)=-ekn;
    ef(2)=ekn+1;
elseif ekn<1
    ef(2)=1-ekn;
    ef(3)=ekn;
else
    ef(3)=1;
end

%fuzifikasi dek
%normalisasi dek
```

```

dekn=dek/demax;
def=[0 0 0];
if dekn<=-1
    def(1)=-dekn;
    def(1)=1;
elseif dekn<0
    def(2)=dekn+1;
elseif dekn<1
    def(2)=1-dekn;
    def(3)=dekn;
else
    def(3)=1;
end

%fuzifikasi load
%normalisasi load
ldn=(luad-nomload)/deload;
ldf=[0 0 0];
if ldn<=-1
    ldf(1)=1;
elseif ldn<0
    ldf(1)=-ldn;
    ldf(2)=ldn+1;
elseif ldn<1
    ldf(2)=1-ldn;
    ldf(3)=ldn;
else
    ldf(3)=1;
end

%proses fuzzy rule mamdani
kk=0;
for i=1:3
    for j=1:3
        for k=1:3
            kk=kk+1;
            %uf(kk,1)=ef(i)*def(j)*ldf(k);
            uf(kk,1)=min([ef(i) def(j) ldf(k)]);
        end
    end
end

```

```

end
%normalisasi uf
ufn=uf/sum(uf);
uk=w'*ufn;
if uk>1
    uk=0.8;
end
if uk<0
    uk=0.1;
end
%proses update beban
if tt/1000==floor(tt/1000)
    assignin('base','bobot1',w)
end
%proses learning
for i=1:27
    w(i,1)=w(i,1)+lmd*em*ufn(i,1);
end

```

BIODATA PENULIS



Izaz Fakhar Rokhmad lahir di Lumajang pada tanggal 17 Mei 1997. Hidup dibesarkan di kota Sidoarjo penulis menempu pendidikan pada SD Hang Tuah 10 Juanda dari 2003 hingga 2009. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan pada SMPN 6 Surabaya hingga 2012. Penulis kemudian melakukan pendidikan di SMAN 4 Malang hingga 2013 dan kemudian berpindah pada SMAN 16 Surabaya dan Lulus pada tahun 2015. Penulis melanjutkan jenjang perguruan tinggi pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada jurusan Teknik Elektro dan mendalami pada bidang Sistem Pengaturan. Penulis dapat dihubungi pada izazfr@gmail.com