



TUGAS AKHIR - EE 184801

**PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714
MENGUNAKAN METODE KONTROLER PI
BERBASIS *NEURAL-FUZZY* HIBRIDA ADAPTIF**

Fauzi Agung Pambudi
NRP 07111745000042

Dosen Pembimbing
Ir. Ali Fatoni MT.
Eka Iskandar, ST., MT.

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

[Halaman ini sengaja dikosongkan]



FINAL PROJECT - EE 184801

***PRESSURE CONTROL FOR RIG 38-714 USING PI
CONTROLLER BASED HYBRID ADAPTIVE NEURAL-
FUZZY METHOD***

Fauzi Agung Pambudi
NRP 07111745000042

Supervisor
Ir. Ali Fatoni MT.
Eka Iskandar, ST., MT.

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

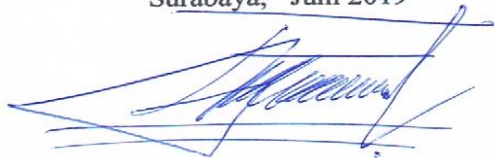
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Pengaturan Tekanan pada Rig 38-714 Menggunakan Metode Kontroler PI Berbasis Neural-Fuzzy Hibrida Adaptif**" merupakan hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain, yang saya akui sebagai karya 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, Juni 2019



Fauzi Agung Pambudi
NRP 07111745000042

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714
MENGUNAKAN METODE KONTROLER PI
BERBASIS *NEURAL-FUZZY* HIBRIDA ADAPTIF**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I



Ir. Ali Fatoni, MT.
NIP.196206031989031002

Dosen Pembimbing II



Eka Iskandar, ST., MT.
NIP.19800528 2008121001



**SURABAYA
JULI, 2019**

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714 MENGUNAKAN METODE KONTROLER PI BERBASIS *NEURAL-FUZZY* HIBRIDA ADAPTIF

Nama : Fauzi Agung Pambudi
Pembimbing 1 : Ir. Ali Fatoni MT.
Pembimbing 2 : Eka Iskandar, ST., MT.

ABSTRAK

Sistem pengaturan proses memiliki beberapa variabel yang dapat diatur, salah satunya adalah tekanan udara. Pengaturan tekanan udara berfungsi untuk menjaga titik kerja dalam keadaan stabil, akan tetapi pengendalian variabel ini memiliki permasalahan yang sering terjadi yaitu adanya perubahan beban. Untuk mengatasi permasalahan pengendalian tersebut, pada tugas akhir ini dilakukan penelitian mengenai perancangan kontroler PI berbasis *neural-fuzzy*. Dari hasil implementasi kontroler pada *plant* Rig 38-714 didapatkan hasil respon implementasi dengan *overshoot* $< 5\%$ dan nilai *error steady state* mendekati 0 dan untuk permasalahan perubahan beban, kontroler dapat beradaptasi dengan perubahan tekanan dan memenuhi spesifikasi perubahan tekanan yang diinginkan, tidak melebihi 50 % dari *set point* serta *error steady state* mendekati 0.

Kata kunci : kontrol PI, *neural-fuzzy*, Rig 38-714

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PRESSURE CONTROL FOR RIG 38-714 USING PI CONTROLLER BASED HYBRID ADAPTIVE NEURAL-FUZZY

Name : Fauzi Agung Pambudi
Supervisor 1 : Ir. Ali Fatoni MT.
Supervisor 2 : Eka Iskandar, ST., MT

ABSTRACT

The process management system has several variables that can be regulated, one of which is air pressure. Air pressure regulation functions to keep the working point stable, but controlling this variable has a problem that often occurs, namely the change in load. To overcome these control problems, in this final project a research is conducted on the design of neural-fuzzy PI controllers. From the results of the implementation of the controller on the Rig 38-714 plant the results of the implementation response with <5% overshoot and steady state error values approached 0 and for load change problems, the controller can adapt to pressure changes and meet the desired pressure change specifications not exceeding 50% of set point and steady state error close to 0.

Keywords : PI control, neural-fuzzy, Rig 38-714

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis tugas akhir ini dengan judul **“Pengaturan Tekanan pada Rig 38-714 Menggunakan Metode Kontroler PI Berbasis *Neural-Fuzzy* Hibrida Adaptif”** dapat selesai tepat pada waktunya untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam proses pembuatan karya tulis ini, penulis tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang terlibat dan membantu menyelesaikan karya tulis ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan secara khusus kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi rahmat dan hidayah-Nya
2. Kedua orang tua dan kerabat yang selalu mendukung penuh.
3. Bapak Ir. Ali Fatoni MT. dan Bapak Eka Iskandar, S.T, MT. sebagai pembimbing
4. Rekan – rekan Lintas Jalur angkatan 2017, terutama mahasiswa Teknik Sistem Pengaturan

Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri maupun bagi penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juni 2019

Fauzi Agung Pambudi
NRP 07111745000042

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Permasalahan	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Metodologi	2
1.6. Sistematika	4
1.7. Relevansi atau Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Sistem Pengaturan Tekanan.....	5
2.2. <i>Pressure Process Rig</i> 38-714.....	6
2.3. Karakteristik Sistem Orde Pertama	15
2.4. Kontroler PID [3].....	16
2.5. <i>Neural-Fuzzy</i> [7].....	19
2.6. Kriteria Kesalahan.....	21
2.6.1. <i>Mean Square Error</i> (MSE).....	22
2.6.2. <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE).....	22
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM.....	23
3.1. Arsitektur Sistem	23
3.1.1. Komputer	23
3.1.2. Konfigurasi <i>Plant Pressure Process Rig</i> 38-714.....	23
3.1.3. Kalibrasi Sensor [6]	25
3.1.4. ADAM 5000L/TCP	27
3.2. Identifikasi Sistem <i>Open Loop</i>	28

3.2.1.	Identifikasi Sistem Dengan Sinyal Uji <i>Unit Step</i>	29
3.2.2.	Identifikasi Sistem Dengan Sinyal Uji PRBS	31
3.2.3.	Validasi Model.....	33
3.3.	Perancangan Kontroler	35
3.3.1.	Kontroler PI.....	36
3.3.2.	Estimasi Parameter Menggunakan <i>Neural-Fuzzy</i>	38
3.3.3.	Desain Kontroler PI Dengan Skema <i>Self Tuning</i> <i>Regulator</i>	43
3.4.	Perancangan Simulasi.....	46
BAB 4	PENGUJIAN DAN ANALISIS	49
4.1.	Pengujian Sistem Tanpa Kontroler	49
4.2.	Estimasi Parameter Menggunakan <i>Neural-Fuzzy</i>	51
4.3.	Pengujian Kontroler PI Berbasis <i>Neural-Fuzzy</i>	54
4.3.1.	Pengujian dan Analisis Pada Kondisi Beban Nominal	58
4.3.2.	Pengujian dan Analisis Pada Kondisi Perubahan Beban ke 1.....	60
4.3.3.	Pengujian dan Analisis Pada Kondisi Perubahan Beban ke 2.....	63
BAB 5	PENUTUP.....	67
5.1.	Kesimpulan.....	67
5.2.	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA		69
LAMPIRAN		71
RIWAYAT HIDUP		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Pressure process</i> Rig 38-714	6
Gambar 2. 2 <i>Air filter pressure process</i> Rig 38-714.....	7
Gambar 2. 3 <i>Regulator pressure process</i> Rig 38-714.....	8
Gambar 2. 4 <i>Gauge pressure process</i> Rig 38-714.....	8
Gambar 2. 5 <i>Pneumatic control valve pressure process</i> Rig 38-714.....	9
Gambar 2. 6 <i>Orifice block pressure process</i> Rig 38-714.....	10
Gambar 2. 7 <i>Manual valve</i>	10
Gambar 2. 8 <i>Process interface</i> 38-200	11
Gambar 2. 9 <i>Pressure transmitter</i> 38-461.....	12
Gambar 2. 10 <i>Differential pressure trasnmmitter</i> 38-462	13
Gambar 2. 11 <i>Digital display module</i> 38-490	13
Gambar 2. 12 <i>I/P Converter pressure process</i> Rig 38-714.....	14
Gambar 2. 13 <i>Pressure sensor</i>	14
Gambar 2. 14 Struktur <i>neural network</i> berbasis <i>fuzzy</i> fungsi Gaussian	19
Gambar 3. 1 <i>Plant pressure process</i> Rig 38-714.....	25
Gambar 3. 2 Skema kabel kalibrasi sensor.....	26
Gambar 3. 3 Diagram <i>open loop</i> Rig 38-714	29
Gambar 3. 4 Respon <i>open loop</i> dengan sinyal uji <i>unit step</i>	30
Gambar 3. 5 Respon <i>open loop</i> dengan sinyal uji PRBS	32
Gambar 3. 6 Hasil respon plant dan model untuk validasi dengan sinyal uji <i>unit step</i>	33
Gambar 3. 7 Hasil respon plant dan model untuk validasi dengan sinyal uji PRBS.....	34
Gambar 3. 8 Blok diagram kontrol PI.....	37
Gambar 3. 9 Stuktur <i>neural-fuzzy</i>	40
Gambar 3. 10 Fungsi keanggotaan gaussian	41
Gambar 3. 11 Kontroler PI dengan skema <i>Self Tuning Regulator</i>	43
Gambar 3. 12 Skema simulasi <i>open loop plant</i>	47
Gambar 3. 13 Simulink matlab untuk <i>training</i> dan <i>testing</i> struktur <i>neural-fuzzy</i>	47
Gambar 3. 14 Simulink matlab untuk kontroler PI berbasis <i>neural-fuzzy</i> dengan skema STR	48
Gambar 4. 1 Respon sistem simulasi, implementasi, dan eror pada kondisi pembebanan minimum.....	50

Gambar 4. 2 Respon sistem simulasi, implementasi dan eror pada kondisi pembebanan nominal	50
Gambar 4. 3 Data <i>training</i> untuk proses <i>learning</i> struktur <i>neural-fuzzy</i>	52
Gambar 4. 4 Data <i>testing</i> untuk menguji struktur <i>neural-fuzzy</i>	52
Gambar 4. 5 Simulasi estimasi parameter $-a_1$ dan eror estimasi <i>neural-fuzzy</i> dari data <i>testing</i>	53
Gambar 4. 6 Simulasi estimasi parameter b_1 dan eror estimasi <i>neural-fuzzy</i> dari data <i>testing</i>	53
Gambar 4. 7 Simulasi identifikasi respon <i>plant</i> dan eror identifikasi respon <i>neural-fuzzy</i> dari data <i>testing</i>	54
Gambar 4. 8 Respon simulasi dan hasil eror respon simulasi dengan kontroler PI berbasis <i>neural-fuzzy</i> sebagai estimasi parameter	56
Gambar 4. 9 Respon implementasi dan hasil eror respon dengan kontroler PI berbasis <i>neural-fuzzy</i> sebagai estimasi parameter	57
Gambar 4. 10 Respon simulasi dan hasil eror respon pada kondisi beban nominal.....	58
Gambar 4. 11 Respon implementasi <i>plant</i> dan hasil eror respon pada kondisi beban nominal.....	59
Gambar 4. 12 Respon simulasi dan hasil eror respon saat kondisi perubahan beban ke 1	61
Gambar 4. 13 Respon implementasi <i>plant</i> dan hasil eror respon saat kondisi perubahan beban ke-1.....	62
Gambar 4. 14 Respon simulasi dan hasil eror respon saat kondisi perubahan beban ke 2	64
Gambar 4. 15 Respon implementasi <i>plant</i> dan hasil eror kesalahan saat kondisi perubahan beban ke-2.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Konfigurasi AI/AO ADAM 5000L/TCP	27
Tabel 3. 2 Persamaan model hasil identifikasi dengan sinyal <i>unit step</i>	34
Tabel 3. 3 Persamaan model hasil identifikasi dengan sinyal PRBS	35
Tabel 3. 4 Parameter model menggunakan struktur ARX	39
Tabel 3. 5 Parameter fungsi gaussian	41
Tabel 3. 6 Hasil parameter persamaan <i>differential</i>	46
Tabel 4. 1 Hasil respon simulasi pada pengujian <i>open loop</i>	50
Tabel 4. 2 Hasil respon implementasi pada pengujian <i>open loop</i>	51
Tabel 4. 3 Hasil kriteria kesalahan simulasi tiap <i>learning rate</i>	54
Tabel 4. 4 Hasil kriteria kesalahan pengujian tiap <i>learning rate</i>	57
Tabel 4. 5 Performansi respon simulasi pada kondisi beban nominal ..	58
Tabel 4. 6 Performansi respon implementasi <i>plant</i> pada kondisi beban nominal	60
Tabel 4. 7 Performansi respon simulasi saat perubahan beban ke-1.....	61
Tabel 4. 8 Performansi respon implementasi <i>plant</i> terhadap perubahan beban ke-1	63
Tabel 4. 9 Performansi respon simulasi saat perubahan beban ke-2.....	64
Tabel 4. 10 Performansi respon implementasi <i>plant</i> terhadap perubahan beban ke-2	66

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tekanan (*pressure*) merupakan salah satu variabel dalam suatu sistem pengaturan proses, dimana pada sistem pengaturan proses mengendalikan variabel sistem untuk mencapai kondisi yang diinginkan dengan cara mengatasi permasalahan gangguan ataupun menstabilkan kondisi sistem. Untuk sistem pengaturan proses dengan variabel tekanan yang menggunakan zat gas atau yang disebut dengan tekanan udara (*air pressure*) merupakan suatu tekanan yang dapat menekan dan bersumber dari massa udara yang dimampatkan pada suatu ruangan yang tertutup serta memiliki sifat menekan ke segala arah dengan sama besarnya.

Penggunaan variabel tekanan pada sebuah industri proses seperti pada industri makanan atau obat membutuhkan suatu sistem yang bersih demi menjaga kebersihan produk, sehingga penggunaan tekanan udara merupakan salah satu solusi yang diaplikasikan pada sistem tersebut, dikarenakan media udara cenderung bersih. Sebagai contoh pada proses pengepakan suatu produk makanan ataupun obat membutuhkan suatu sistem pneumatik dimana pneumatik merupakan salah satu contoh sistem yang menggunakan sumber tekanan udara.

Pada sistem pengaturan proses dengan variabel tekanan memiliki beberapa permasalahan dan permasalahan yang sering terjadi yaitu adanya perubahan beban, sehingga untuk dapat menyelesaikan permasalahan tersebut digunakan sebuah kontroler, akan tetapi kontroler konvensional seperti PID tidak menunjukkan performa yang baik. Sehingga pengaturan adaptif menjadi salah satu pilihan dimana kontroler dapat memberikan respon modifikasi menyesuaikan sistem dari gangguan. Dalam [2], pengaturan tekanan menggunakan kontrol adaptif STR PI dengan metode estimasi parameternya adalah *Recursive Least Square* dan *Neural Network*. Dari hasil kontroler PI tersebut dilakukan pengujian perubahan beban dan pengujian perubahan *set point*. Pada tugas akhir ini, merupakan pengembangan metode pengaturan adaptif kontroler PI dengan menggunakan metode estimasi parameter yaitu *Neural-Fuzzy* dan diterapkan pada *plant PROCON Pressure Process Rig*

38-714 untuk mengatasi permasalahan perubahan beban pada variabel beban.

1.2. Permasalahan

Pada industri proses yang memanfaatkan tekanan udara sebagai bagian dari proses, memiliki suatu permasalahan yang disebabkan oleh kemampuan tekanan udara itu sendiri. Permasalahan yang sering terjadi adalah adanya perubahan beban yang dapat menyebabkan perubahan dinamika terhadap sistem. Maka, kebutuhan kontroler bukan hanya dapat mengikuti referensi suatu sistem tapi dapat mampu mengatasi permasalahan perubahan beban yang terjadi pada sistem.

1.3. Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini fokus permasalahan yang dibahas memiliki beberapa batasan antara lain:

- a. *Plant* yang digunakan adalah *Pressure Process Rig 38-714* produksi Feedback Inc.
- b. Kontroler yang digunakan adalah kontroler PI berbasis *Neural-Fuzzy* Hibrida Adaptif

1.4. Tujuan

Pada tugas akhir ini memiliki tujuan yaitu merancang kendali yang dapat mengatasi permasalahan perubahan beban dan dapat diimplementasikan pada *plant Pressure Process Rig 38-714*.

1.5. Metodologi

Dalam metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini, memiliki urutan yang harus dilakukan. Berikut adalah metodologi yang digunakan

1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan tahap pertama untuk pelaksanaan tugas akhir, dimana pada tahap ini digunakan untuk mempelajari *plant* dan kebutuhan dalam menyelesaikan tugas akhir, seperti cara penggunaan *plant*, konsep kontroler PI dan konsep estimasi parameter *neural-fuzzy*

dengan cara mencari bahan penunjang seperti jurnal, buku sumber, buku manual dan lainnya.

2. Identifikasi *Plant*

Untuk mendapatkan model dari *plant Pressure Process Rig 38-714*, dilakukan identifikasi sistem secara *open loop* dimana data yang didapatkan dari sistem ini akan dikumpulkan dan dianalisis untuk mendapatkan model dari *plant*. Hasil dari identifikasi ini akan dilakukan validasi model antara data yang diperoleh dengan data yang dimodelkan.

3. Perancangan Sistem Kontrol

Setelah tahap identifikasi *plant* diselesaikan, tahap selanjutnya yaitu perancangan kontrol, dimana pada usulan tugas akhir ini menggunakan metode kontroler PI berbasis *neural-fuzzy* hibrida adaptif. Penggunaan metode kontrol ini, diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan yang terdapat pada *plant*.

4. Simulasi

Simulasi merupakan tahap dimana untuk melihat kemampuan dari hasil kontrol sebelum digunakan dan diimplementasikan pada *plant*. Hal tersebut dilakukan untuk mengamati hasil keluaran dari sistem dalam menyelesaikan permasalahan yang ditimbulkan dan jika telah sesuai dengan karakteristik yang diinginkan dapat dilakukan proses implementasi.

5. Implementasi dan Analisis

Proses implementasi dapat dilakukan bila pada tahap simulasi telah sesuai dengan karakteristik yang diinginkan dan sesuai dengan kemampuan perangkat keras yang digunakan. Dari data hasil implementasi yang didapatkan, dilakukan proses analisis dari hasil respon yang didapatkan. Hal tersebut dilakukan untuk melihat kemampuan sistem kontrol PI berbasis *neural-fuzzy* hibrida adaptif dalam menyelesaikan permasalahan *plant*.

6. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Tahap akhir adalah penyusunan laporan berupa buku tugas akhir, penyusunan buku tugas akhir dibuat sesuai proses dan hasil kerja yang

telah dilakukan serta susunan laporan disesuaikan dengan panduan buku tugas akhir yang berlaku.

1.6. Sistematika

Dalam penulisan karya tulis tugas akhir ini, sistematika penulisan dibagi menjadi 5 bab dengan uraian pada setiap bab sebagai berikut:

- Bab I : Pendahuluan
Bab ini membahas mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika dan relevansi atau manfaat.
- Bab II : Tinjauan Pustaka
Bab ini membahas mengenai tinjauan pustaka yang dapat membantu menyelesaikan penelitian diantaranya adalah teori sistem pengaturan cerdas, teori sistem pengaturan adaptif, teori penerapan kontroler PID, teori *neural-fuzzy* dan penjelasan *plant Pressure Process Rig 38-714*.
- Bab III : Perancangan Sistem
Bab ini membahas mengenai langkah perancangan kontroler PI dengan estimasi parameter menggunakan *neural-fuzzy* yang akan diimplementasikan pada *plant Pressure Process Rig 38-714*.
- Bab IV : Pengujian dan Analisis
Bab ini membahas mengenai hasil yang didapat dari perancangan kontroler yang sudah diimplementasikan pada *plant Pressure Process Rig 38-714* serta menganalisis hasil dari pengambilan data.
- Bab V : Penutup
Bab ini diberikan penjelasan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

1.7. Relevansi atau Manfaat

Diharapkan penggunaan metode kontroler PI berbasis *neural-fuzzy* hibrida adaptif dapat menyelesaikan permasalahan yang timbul dari sistem pengaturan proses, khususnya pada perubahan baban akibat adanya gangguan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan referensi pada pengaturan tekanan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang teori yang digunakan dalam menyusun tugas akhir sebagai salah satu acuan ataupun referensi dan sebagai salah satu proses dalam penyusunan tugas akhir. Teori–teori yang didapatkan akan menjelaskan mengenai *plant*, metode identifikasi, serta metode kontrol

2.1. Sistem Pengaturan Tekanan

Pada era modern ini, hampir semua proses di industri menggunakan peralatan otomatis, dan demi menunjangnya sistem pengaturan tekanan, peralatan baik sensor maupun aktuator harus dapat berkerja secara otomatis. Kontrol yang berkembang saat ini merupakan kontrol digital, sehingga dibutuhkan penyesuaian antara peralatan instrumentasi dengan kontrol digital. Penggunaan DAC (*Digital Analog Converter*) dan ADC (*Analog Digital Converter*) merupakan solusi untuk mengkonversi nilai data analog ke dalam digital ataupun sebaliknya. Hal yang perlu diperhatikan dalam mengimplementasikan suatu pengendali sistem proses merupakan realisasi perangkat keras untuk data akuisisi. Salah satunya penggunaan transduser untuk data akuisisi, pengukuran tekanan udara yang berawal dari pembacaan tabung bourdon menjadi sinyal induktansi dan perlunya dikonversi menjadi salah satu masukkan yang dapat dibaca oleh kontroler digital[8].

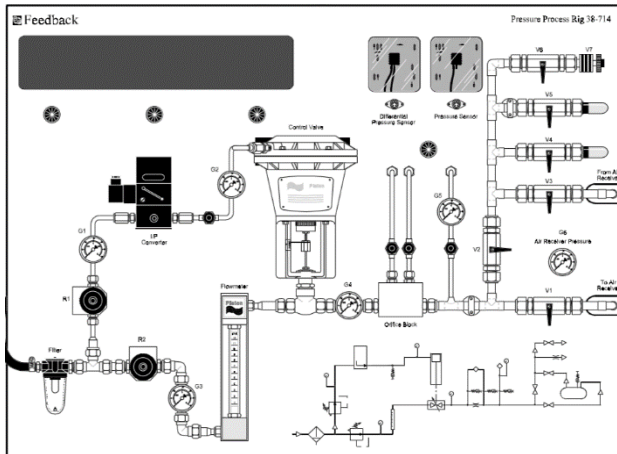
Sistem pengaturan tekanan adalah salah satu variabel yang dikendalikan pada sistem pengaturan proses dimana pada sistem pengaturan proses sering berkaitan dengan sistem industri diantaranya yaitu industri petrokimia, industri makanan, industri energi dan lainnya. Pada sistem pengaturan proses khususnya pada variabel tekanan juga sering digunakan pada industri makanan dan industri obat-obatan yang memanfaatkan sebagai sumber sistem. Salah satu contoh penggunaan tekanan udara pada sistem yaitu sistem pneumatik sebagai penggerak piston pada industri *packing*.

Pada sistem pengaturan tekanan dibutuhkannya beberapa peralatan instrumentasi, diantaranya yaitu sensor tekanan, sensor aliran udara,

aktuator katup dan lain sebagainya. Peralatan instrumentasi tersebut tidak dapat dipisahkan pada sistem pengaturan, karena peralatan tersebut saling berkaitan demi mencapai suatu proses dengan hasil yang diinginkan.

2.2. Pressure Process Rig 38-714

PROCON *Pressure Process Rig* 38-714 merupakan salah satu modul peralatan instrumentasi yang dikembangkan dan dirancang oleh perusahaan Feedback Instrument Ltd. Modul ini merupakan hasil rancangan yang dikembangkan untuk keperluan penelitian skala laboratorium, dan memiliki fungsi utama untuk memperlihatkan prinsip kerja dari sistem pengaturan proses dengan mengendalikan salah satu variabel proses yaitu tekanan udara.



Gambar 2. 1 *Pressure process Rig* 38-714

Pada gambar 2.1 memperlihatkan modul *pressure process* yang tersusun dari beberapa alat komponen diantaranya yaitu *air filter*, *regulator*, *gauge*, *flow meter*, *pneumatic control valve*, *orifice block*, *manual valve*, dan *air receiver*.

1. Air Filter

Air filter digunakan untuk menghilangkan air atau oli serta partikel kecil seperti debu atau kotoran kecil lainnya dari sumber tekanan udara. Air atau oli maupun kotoran yang terkandung dalam sumber udara bertekanan akan disaring menggunakan saringan yang terdapat pada komponen ini, serta bila air berlebih masuk ke dalam penyaring udara ini, air akan tertampung. Sehingga udara yang masuk ke dalam *plant* atau sistem merupakan udara yang bersih dan tidak mengandung air atau oli serta kotoran. *Air filter* yang digunakan pada *plant* seperti gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Air filter pressure process Rig 38-714

2. Regulator

Regulator merupakan salah satu komponen yang terdapat pada *plant* Rig yang berfungsi sebagai pengatur tekanan udara secara manual. Pada *pressure process* Rig 38-714 terdapat 2 buah *regulator* yang berfungsi sebagai pengatur tekanan udara yang masuk ke dalam sistem sebesar 10 psi serta pengatur tekanan udara yang masuk ke dalam sumber tekanan udara *I/P converter* sebesar 25 psi. Dikarenakan *regulator* hanya dapat melakukan pengaturan secara mekanik tanpa mengetahui besaran tekanan yang dikeluarkannya, maka *plant* Rig ini memiliki *gauge* atau indikator tekanan yang berada tepat setelah pemasangan *regulator* dimana *regulator* yang digunakan seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3 *Regulator pressure process Rig 38-714*

3. *Pressure Gauge*

Pressure gauge adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan dan yang digunakan pada *plant Rig* seperti pada gambar 2.4. Cara kerja dari *pressure gauge* adalah menggerakkan jarum indikator pada tabung *gauge* dengan memberikan tekanan udara pada komponen tabung bourdon. Saat diberikan tekanan udara, maka tabung bourdon akan mengembang dan menggerakkan jarum yang mengindikasikan besaran dari tekanan udara yang mengalir pada tabung bourdonnya.



Gambar 2. 4 *Gauge pressure process Rig 38-714*

4. *Flow Meter*

Flow meter adalah alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran udara yang masuk ke dalam sebuah tabung serta dipasang secara vertikal diantara saluran pipa udara yang digunakan dalam sistem. *Flow meter*

yang digunakan pada *plant Rig* menggunakan jenis *tube glass flow meter* dengan cara kerja yaitu pada tabung terdapat besi yang berfungsi sebagai indikator aliran udara, indikator tersebut akan menunjukkan ukuran aliran udara, dengan cara mengalirkan udara ke dalam *flow meter* dan aliran udara yang masuk akan mengangkat besi indikator dan ketinggian besi indikator tersebut merupakan besaran aliran udara yang mengalir. Satuan dari *flow meter* yang digunakan adalah L/min.

5. *Pneumatic Control Valve*

Pneumatic control valve seperti pada gambar 2.5 adalah alat yang digunakan untuk mengatur pembukaan katup pada pipa aliran udara. *Control valve* yang digunakan merupakan jenis aktuator pneumatik. Pada jenis aktuator pneumatik ini memiliki cara kerja yaitu menutup dan membuka katup dengan cara memberikan tekanan dari 3-15 psi. Posisi dari katup yang mengatur aliran udara dapat dikendalikan, bukan hanya membuka maupun menutup sempurna tapi dapat disesuaikan dengan masukkan tekanan udara pada aktuator ini. Tekanan udara 3-15 psi ini didapat diatur menggunakan *I/P converter* dengan memberikan sinyal listrik sebesar 4-20 mA. Pada saat 4 mA *control valve* terbuka penuh yang mengindikasikan tekanan aktuator yang diberikan sebesar 3 psi dan pada saat 20 mA *control valve* tertutup penuh yang mengindikasikan tekanan aktuator yang diberikan sebesar 15 psi.



Gambar 2. 5 *Pneumatic control valve pressure process Rig 38-714*

6. Orifice Block

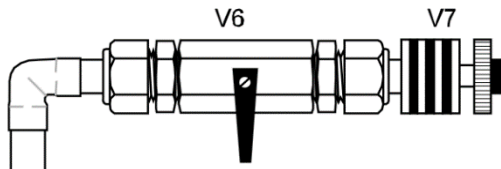
Pada gambar 2.6 merupakan salah satu alat yang digunakan untuk mengetahui aliran udara yang terlewati yang disebut *Orifice* merupakan suatu plat tipis yang memiliki diameter saluran yang lebih kecil dari pipa saluran yang difungsikan untuk mengubah besaran aliran udara dan tekanan dari pipa saluran ke lubang *orifice* yang lebih kecil dan dapat menyebabkan laju aliran udara dan tekanan lebih besar dibandingkan aliran fluida di dalam pipa saluran. Penggunaan *Orifice* ini memanfaatkan perbedaan tekanan sebelum *orifice block* serta tekanan setelah *orifice block*, sehingga perlu pembacaan *differential pressure sensor* untuk mengetahui aliran udara pada sistem dengan memanfaatkan perbedaan pembacaan sensor tekanan.



Gambar 2. 6 Orifice block pressure process Rig 38-714

7. Manual Valve

Pada gambar 2.7 merupakan *manual valve* yang digunakan untuk membuka ataupun menutup saluran pipa yang dilakukan secara manual. Pada *pressure process* Rig 38-714 memiliki 6 *manual valve* dari V1 hingga V6 dan terdapat 1 *manual valve* yang dapat diatur. Pada V1, V2 dan V3 digunakan dalam sistem *plant* sedangkan V4, V5, dan V6 digunakan sebagai katup pembuangan udara ke luar sistem sebagai pembebanan atau gangguan pada *plant* Rig 38-714.



Gambar 2. 7 Manual valve

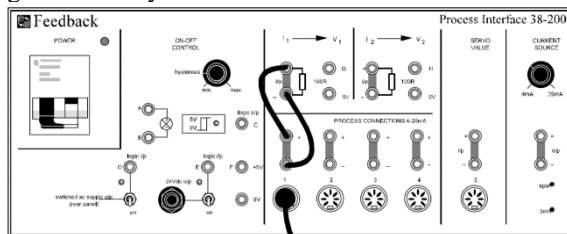
8. Air Receiver

Air Receiver merupakan suatu tangki untuk menyimpan udara dalam sistem. *Air receiver* ini dapat digunakan bila katup V1 dan V3 dalam kondisi terbuka yang menyebabkan respon *plant* pada pembacaan sensor tekanan memiliki nilai *transient* yang lebih lambat dikarenakan udara terlebih dahulu tersalurkan pada *Air receiver*.

Komponen-komponen pada *pressure process* rig 38-714 terhubung menggunakan pipa penghubung, serta tekanan udara yang masuk ke dalam *plant* bersumber dari kompresor. Pada *plant pressure process* Rig 38-714 merupakan salah satu modul laboratorium tentang sistem pengaturan proses yang mengendalikan salah satu variabelnya yaitu tekanan udara. Sehingga *plant* Rig akan berfungsi dengan baik, bila terdapat kontroler dan informasi mengenai *plant*, maka terdapat beberapa komponen pendukung lainnya yaitu *Process Interface* 38-200, *Pressure Transmitter* 38-461, *Differential Pressure Transmitter* 38-462, *Digital Display Module* 38-490, *I/P converter*, *pressure sensor*, dan *differential pressure sensor*.

1. Process Interface 38-200

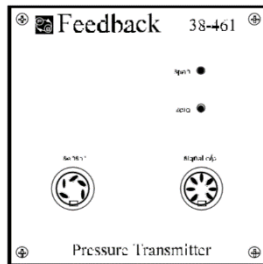
Process Interface 38-200 merupakan suatu alat penghubung dengan kontroler yang digunakan. Pada alat penghubung ini memiliki 4 terminal *Process Connections* yang berfungsi memberikan informasi berupa sinyal listrik sebesar 4-20 mA. Sinyal informasi tersebut bukan berasal dari *process interface* itu sendiri melainkan berasal dari pembacaan sensor yang terhubung dengan *process interface* ini. Pada *process interface* seperti pada gambar 2.8 ini memiliki 2 terminal konversi arus ke tegangan yang menghasilkan sinyal listrik sebesar 0.4-2 Volt.



Gambar 2. 8 *Process interface* 38-200

2. *Pressure Transmitter* 38-461

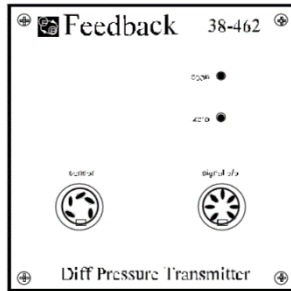
Pada gambar 2.9 merupakan peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran tekanan udara pada *plant Rig* 38-714 yang disebut *pressure transmitter*. Sensor yang dimiliki oleh *plant Rig* tidak dapat langsung terhubung dengan *process interface*, akan tetapi perlu dihubungkan terlebih dahulu ke *pressure transmitter*, dan pada bagian ini pula dapat mengkalibrasi hasil pembacaan dari sensor tekanan dengan mengatur nilai *span* dan *zero* yang terdapat pada modul ini hingga mencapai sinyal elektrik sebesar 4-20 mA yang mengindikasikan besaran tekanan udara sebesar 0-10 psi.



Gambar 2. 9 *Pressure transmitter* 38-461

3. *Differential Pressure Transmitter* 38-462

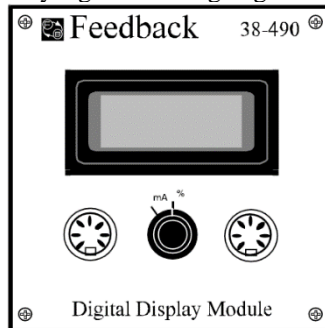
Differential pressure transmitter 38-462 adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran aliran udara pada *plant rig* 38-714 seperti pada gambar 2.10. Sensor yang digunakan pada *differential pressure* memiliki jenis plat orifice yang digunakan untuk menciptakan adanya perbedaan aliran udara dan tekanan pada pipa yang diukur dan dari perbedaan tersebut dapat menghasilkan besaran aliran udara yang terukur. Pada bagian ini pula dapat mengkalibrasi hasil pembacaan dari sensor laju aliran udara dengan mengatur nilai *span* dan *zero* yang terdapat pada modul ini hingga sinyal elektrik sebesar 4-20 mA yang mengindikasikan besaran aliran udara sebesar 0-24 L/min.



Gambar 2. 10 *Differential pressure trasnmitter 38-462*

4. *Digital Display Module 38-490*

Digital display module 38-490 merupakan alat yang digunakan untuk menampilkan indikator pembacaan sinyal elektrik 4-20 mA ataupun dapat dikonversi menjadi 0-100 %. Masukkan dari modul display ini berupa keluaran modul *transmitter*, sehingga nilai pembacaan sensor dapat terlihat dengan modul yang sesuai dengan gambar 2.11.



Gambar 2. 11 *Digital display module 38-490*

5. *I/P Converter*

Pada gambar 2.12 merupakan sebuah alat konversi energi dari sinyal elektrik ke sinyal tekanan udara yang disebut *I/P converter*. Sinyal elektrik yang digunakan sebesar 4-20 mA dan terkonversi menjadi tekanan udara sebesar 3-15 psi. Sumber tekanan yang diberikan pada I/P

converter yaitu sebesar 20-25 psi, dan dari sumber tekanan tersebut digunakan sebagai tekanan yang diatur hingga mencapai 3-15 psi. Tekanan hasil pengaturan tersebut yang digunakan untuk mengatur *pneumatic control valve*.



Gambar 2. 12 I/P Converter pressure process Rig 38-714

6. *Pressure Sensor*

Pressure sensor merupakan salah satu sensor yang digunakan pada *plant Rig* yang berfungsi membaca tekanan udara pada system yang ditunjukkan pada gambar 2.13. Prinsip kerja dari sensor tekanan ini yaitu adanya perubahan tekanan pada kantong tekanan yang menyebabkan perubahan posisi inti kumparan dan mengakibatkan perubahan induksi magnetik pada kumparan. Dari perubahan induksi magnetik ini, yang digunakan pada pengubah sinyal untuk mengubah induksi magnetik menjadi sinyal elektrik yang dapat terukur.



Gambar 2. 13 *Pressure sensor*

2.3. Karakteristik Sistem Orde Pertama

Karakteristik respon waktu sistem orde pertama dibedakan menjadi 2 macam yaitu karakteristik respon transien dan karakteristik respon *steady state*. Pada karakteristik respon transien pada sistem orde pertama hanya memiliki 1 parameter yaitu *time constant* (τ). *Time constant* (τ) adalah waktu yang dibutuhkan oleh respon sistem untuk mencapai 63.2 % dari kondisi *steady state*. Pada karakteristik respon *steady state* pada sistem orde pertama memiliki 4 parameter yaitu *settling time* (t_s), *rise time* (t_r), *delay time* (t_d), dan *error steady state* (e_{ss}). Dan berikut adalah penjelasan dari karakteristik respon *steady state* sistem orde pertama :

1. *Settling time*

Settling time merupakan parameter yang menyatakan ukuran waktu saat respon berada dalam daerah tunak, dimana kondisi daerah tunak tersebut terbagi menjadi 3 kondisi yaitu :

$$t_s(\pm 5\%) \approx 3\tau \quad (2.1)$$

$$t_s(\pm 2\%) \approx 4\tau \quad (2.2)$$

$$t_s(\pm 0,5\%) \approx 5\tau \quad (2.3)$$

2. *Rise time*

Rise time merupakan ukuran waktu yang menyatakan respon telah mencapai kondisi 5%-95% atau 10%-90% dari kondisi *steady state*. Untuk dapat mengetahui nilai *rise time* suatu sistem dapat diukur langsung dari hasil respon atau melalui perhitungan yang menggunakan nilai *time constant* dan berikut formulasi dari *rise time* :

$$t_r(5\% - 95\%) = \tau \ln 19 \quad (2.4)$$

$$t_r(10\% - 90\%) = \tau \ln 9 \quad (2.5)$$

3. Delay time

Delay time merupakan ukuran waktu yang menyatakan respon telah mencapai kondisi 50 % dari respon kondisi *steady state*. Untuk mengetahui nilai *delay time* suatu sistem dapat diukur dari hasil respon atau melalui perhitungan yang menggunakan nilai *time constant* dan berikut formulasi dari *delay time*

$$t_d = \tau \ln 2 \quad (2.6)$$

4. Error steady state

Error steady state merupakan selisih nilai hasil keluaran respon dengan masukkan respon saat sistem *steady state*

$$e_{ss} = X_{ss} - Y_{ss} \quad (2.6)$$

Dimana X_{ss} merupakan masukkan sistem dan Y_{ss} merupakan keluaran sistem saat *steady state*. Untuk mengetahui nilai dari *error steady state* ini dapat dilakukan dengan melihat hasil respon atau melalui perhitungan dan berikut adalah formulasi dari *error steady state* :

$$Y_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} Y(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \left(\frac{K}{s(\tau s + 1)} \right) = K \quad (2.7)$$

$$X_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} X(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} X(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \left(\frac{1}{s} \right) = 1 \quad (2.8)$$

Sehingga didapatkan nilai *error steady state* adalah berikut :

$$e_{ss} = 1 - K \quad (2.9)$$

2.4. Kontroler PID [3]

Kontroler PID merupakan metode kontrol yang telah banyak digunakan di dunia industri. Metode kontrol PID memiliki 3 nilai kontrol yang dapat diatur yaitu

a. Kontrol Proposional

$$u(t) = K \cdot e(t) \Rightarrow D(s) = K \quad (2.10)$$

b. Kontrol Integral

$$u(t) = \frac{K}{T_i} \int_0^t e(t) dt \Rightarrow D(s) = \frac{K}{T_i s} \quad (2.11)$$

c. Kontrol Derivative

$$u(t) = KT_d \dot{e}(t) \Rightarrow D(s) = KT_d s \quad (2.12)$$

Dimana $u(t)$ merupakan sinyal kontrol dan $e(t)$ merupakan sinyal eror. Sedangkan T_i disebut dengan konstanta waktu integral, T_d disebut dengan konstanta waktu derivative dan K disebut dengan konstanta penguat eror. Kombinasi dari kontrol PID menghasilkan persamaan differensial dan fungsi alih sebagai berikut :

$$\dot{u} = K \left(\dot{e} + \frac{1}{T_i} e + T_d \ddot{e} \right) \Rightarrow \frac{U(s)}{E(s)} = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.13)$$

Dimana kontrol proposional dapat meredam eror gangguan akan tetapi masih memiliki nilai *error steady state* dan juga dapat menaikkan kecepatan respon dengan menimbulkan kondisi besarnya nilai transient *overshoot* yang ditimbulkan dan bila nilai kontrol proposional terlalu tinggi dapat menyebabkan hasil respon berosilasi.

Saat menggunakan kontrol proposional dengan kontrol integral dapat menghasilkan respon dengan nilai *error steady state* yang dapat dihilangkan atau bernilai nol. Sehingga *set point* yang diinginkan dapat tercapai.

Saat menggunakan kontrol proposional dengan kontrol derivative dapat meredam respon yang memiliki nilai *overshoot* sehingga menghasilkan respon yang dinamik.

Kombinasi dari kontrol PID dapat digunakan untuk berbagai kasus sistem pengaturan dan telah banyak digunakan pada proses industri, hal tersebut dibuktikan dengan banyaknya penggunaan maupun pengaplikasian pada perangkat keras dimana penggunaannya hanya mengatur nilai konstanta propotional, konstanta waktu integral dan konstanta waktu derivative.

Dalam penggunaan kontrol PID saat ini, telah memasuki dunia komputer digital, sehingga perlunya pendekatan kontrol PID konvensional ke dalam bentuk persamaan yang dapat digunakan pada komputer digital. Salah satu cara untuk menyelesaikan persoalan persamaan *differential* yang dapat diselesaikan menggunakan komputer digital yaitu metode Euler. Hasil dari pendekatan ini dapat digunakan untuk seluruh kontroler persamaan *differential* menjadi suatu persamaan yang dapat diselesaikan oleh komputer digital dan persamaan tersebut disebut persamaan beda. Berikut adalah hasil dari persamaan beda kontrol PID

a. Kontrol Propotional

$$u(k) = Ke(k) \quad (2.14)$$

b. Kontrol Integral

$$u(k) = u(k - 1) + \frac{K}{T_i} Te(k) \quad (2.15)$$

c. Kontrol Derivative

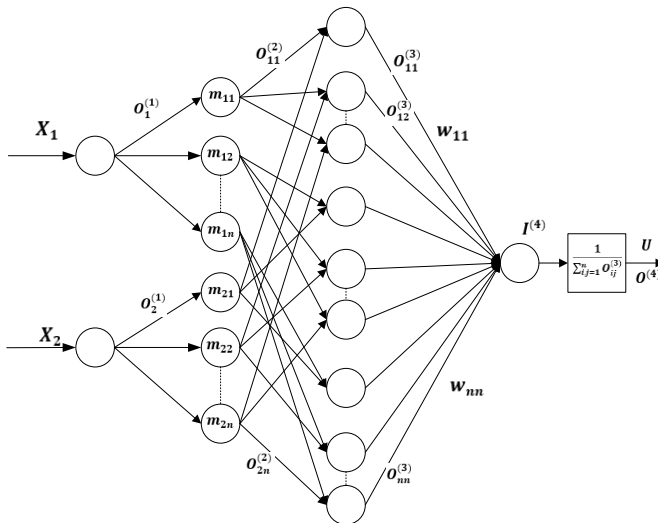
$$u(k) = \frac{KT_d}{T} [e(k) - e(k - 1)] \quad (2.16)$$

d. Kontrol PID

$$u(k) = u(k - 1) + K \left[\left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) e(k) - \left(1 + 2\frac{T_d}{T} \right) e(k - 1) + \frac{T_d}{T} e(k - 2) \right] \quad (2.17)$$

2.5. Neural-Fuzzy [7]

Neural-Fuzzy merupakan salah satu metode hibrida, dimana merupakan gabungan dari metode Jaringan Syaraf Tiruan (*Neural Network*) dengan metode *Fuzzy*. Konsep hibrida ini bermula dari kelebihan dan kekurangan dari setiap masing-masing metode, sehingga konsep hibrida dilakukan demi mendapatkan suatu metode yang lebih baik dalam menyelesaikan permasalahan. Pada metode *neural-fuzzy* merupakan struktur *fuzzy* yang digambarkan layaknya *neural-network* dan memiliki kemampuan pembelajaran menggunakan metode pembelajaran *error back propagation*, sehingga *neural-fuzzy* dapat disebut dengan metode adaptif.



Gambar 2. 14 Struktur *neural network* berbasis *fuzzy* fungsi Gaussian

Pada gambar 2.14 menunjukkan struktur dari *neural-fuzzy network* berbasis *fuzzy* fungsi gaussian yang memiliki 4 lapisan. Pada lapisan pertama merupakan masukkan pada struktur *neural-fuzzy*. Pada lapisan ke dua merupakan lapisan fuzzifikasi. Pada lapisan ke tiga merupakan lapisan *inference fuzzy* dengan menggunakan operasi *product*. Pada lapisan ke empat merupakan lapisan defuzzifikasi. Berikut adalah persamaan masukkan dan keluaran dari struktur *neural-fuzzy*.

a. Keluaran lapisan pertama

$$O_i^{(1)} = x_i \quad (2.18)$$

b. Masukkan lapisan ke dua

$$I_{ik}^{(2)} = \frac{(x_i - a_{ik})^2}{b_{ik}^2} \quad (2.19)$$

c. Keluaran lapisan ke dua

$$O_{ik}^{(2)} = \exp(I_{ik}^{(2)}) \quad (2.20)$$

d. Masukkan lapisan ke tiga

$$I_{ij}^{(3)} = O_{1i}^{(2)} * O_{2j}^{(2)} \quad (2.21)$$

e. Keluaran lapisan ke tiga

$$O_{ij}^{(3)} = I_{ij}^{(3)} \quad (2.22)$$

f. Masukkan lapisan ke empat

$$I^{(4)} = \sum_{i,j=1}^7 O_{ij} * W_{ij} \quad (2.23)$$

g. Keluaran lapisan ke empat

$$O^{(4)} = u = \frac{I^{(4)}}{\sum_{i,j=1}^7 O_{ij}} \quad (2.24)$$

Pembelajaran pada setiap nilai bobot maupun nilai parameter pada fungsi gaussian merupakan kebutuhan utama pada *neural-fuzzy network*. Perubahan nilai bobot tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode *error back-propagation* dengan formulasinya sebagai berikut :

$$J_c = \frac{1}{2} * (Y_{Target} - Y_{Output})^2 \quad (2.25)$$

Perbaiki nilai bobot maupun parameter terjadi pada nilai bobot antara layer 3 dan layer 4, dan berikut adalah persamaan untuk merevisi nilai bobot tersebut adalah

$$\frac{\partial J}{\partial W_{i,j}} = \frac{\partial J}{\partial Y_{Output}} * \frac{\partial Y_{Output}}{\partial Y_{Input}} * \frac{\partial Y_{Input}}{\partial W_{i,j}} = -(Y_{Target} - Y_{Output}) \frac{O_{i,j}^{(3)}}{\sum O_{i,j}^{(3)}} \quad (2.26)$$

$$W_{i,j}(t + 1) = W_{i,j}(t) + \alpha(Y_{Target} - Y_{Output}) \frac{O_{i,j}^{(3)}}{\sum O_{i,j}^{(3)}} \quad (2.27)$$

Dan perbaikan nilai parameter terjadi juga pada lapisan *network* yang ke dua, dimana dilakukannya revisi nilai parameter fungsi gaussian sebagai fungsi keanggotaan *fuzzy* dan berikut adalah persamaan revisi parameter fungsi gaussian :

$$a_{1k}(t + 1) = a_{1k}(t) + 2\alpha \frac{(Y_{Target} - Y_{Output})}{\sum O_{i,j}^{(3)}} \sum W_{ik}(t) O_{ik}^{(2)} O_{2j}^{(2)} \frac{x_1 - a_{1k}(t)}{b_{1k}^2(t)} \quad (2.28)$$

$$b_{1k}(t + 1) = b_{1k}(t) + 2\alpha \frac{(Y_{Target} - Y_{Output})}{\sum O_{i,j}^{(3)}} \sum W_{kj}(t) O_{1k}^{(2)} O_{2j}^{(2)} \frac{(x_1 - a_{1k}(t))^2}{b_{1k}^3(t)} \quad (2.29)$$

$$a_{2k}(t + 1) = a_{2k}(t) + 2\alpha \frac{(Y_{Target} - Y_{Output})}{\sum O_{i,j}^{(3)}} \sum W_{ik}(t) O_{1i}^{(2)} O_{2k}^{(2)} \frac{x_2 - a_{2k}(t)}{b_{2k}^2(t)} \quad (2.30)$$

$$b_{2k}(t + 1) = b_{2k}(t) + 2\alpha \frac{(Y_{Target} - Y_{Output})}{\sum O_{i,j}^{(3)}} \sum W_{ik}(t) O_{1i}^{(2)} O_{2k}^{(2)} \frac{(x_2 - a_{2k}(t))^2}{b_{2k}^3(t)} \quad (2.31)$$

2.6. Kriteria Kesalahan

Kriteria kesalahan merupakan metode untuk mengukur suatu performansi dari suatu kontroler berdasarkan nilai kesalahan (*error*) dari suatu sistem yang dikendalikan. Dalam perhitungan kriteria kesalahan dapat digunakan untuk melihat hasil dari validasi sistem antara nilai yang sebenarnya dengan nilai yang diperkirakan. Berikut adalah beberapa perhitungan yang digunakan untuk melihat performansi dari suatu kontroler berdasarkan nilai kesalahannya :

2.6.1. Mean Square Error (MSE)

Mean square error (RMSE) merupakan metode tolak ukur dengan mencari nilai selisih antara nilai sesungguhnya dengan nilai yang diperkirakan. MSE digunakan untuk proses validasi yaitu seberapa dekatnya nilai yang sebenarnya dengan nilai yang diperkirakan. Berikut adalah persamaan dari MSE :

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_t - Y_m)^2}{N} \quad (2.30)$$

Dimana :

Y_t = nilai sebenarnya

Y_m = nilai perkiraan

N = jumlah data

2.6.2. Root Mean Square Error (RMSE)

Root mean square error (RMSE) merupakan metode tolak ukur antara nilai sesungguhnya dengan nilai yang diperkirakan berdasarkan selisih dari nilai *error* keduanya. RMSE digunakan untuk proses validasi yaitu seberapa dekatnya nilai yang sebenarnya dengan nilai yang diperkirakan. Berikut adalah persamaan dari RMSE :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_t - Y_m)^2}{N}} \quad (2.30)$$

Dimana :

Y_t = nilai sebenarnya

Y_m = nilai perkiraan

N = jumlah data

BAB 3

PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini membahas mengenai proses perancangan sistem yang akan diimplementasikan pada *plant pressure process* Rig 38-714. Pada perancangan sistem ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu perancangan arsitektur sistem, identifikasi sistem, serta perancangan kontroler yang digunakan.

3.1. Arsitektur Sistem

Pada pengaplikasian sistem pengaturan *plant pressure process* rig 38-714 menggunakan media komputer sebagai kontrol digitalnya dengan bantuan perangkat keras berupa ADAM 5000L/TCP sebagai perangkat *data acquisition* dan jaringan komunikasi antar perangkat DAQ dengan komputer menggunakan komunikasi Modbus TCP/IP dengan bantuan kabel RJ45. Berikut adalah skema arsitektur sistem yang digunakan

3.1.1. Komputer

Komputer merupakan media kontrol yang digunakan, karena kontrol yang akan dirancang merupakan kontrol digital, sehingga penggunaan media komputer dapat digunakan serta dapat digunakan untuk membuat tampilan demi menunjangnya pengaturan pada sistem yang akan dirancang. Komputer yang digunakan ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

<i>Processor</i>	: Intel(R) Celeron(R) CPU N2920 1.86 Ghz
<i>Core/Thread</i>	: 4/4
RAM	: 4096 MB
VGA	: Intel(R) HD Grapihcs
<i>Operating System</i>	: Windows 8.1 Pro 64-bit
<i>Ethernet Port</i>	: Yes

3.1.2. Konfigurasi *Plant Pressure Process* Rig 38-714

Plant pressure process Rig 38-714 merupakan salah satu perangkat yang digunakan untuk melakukan pengaturan proses khususnya pada media tekanan udara dimana pada *plant* ini terdapat proses pengukuran

serta pengaturan tekanan udara. Pada proses pengukuran terdapat beberapa komponen yang digunakan yaitu *gauge*, *flow meter*, dan sensor tekanan.

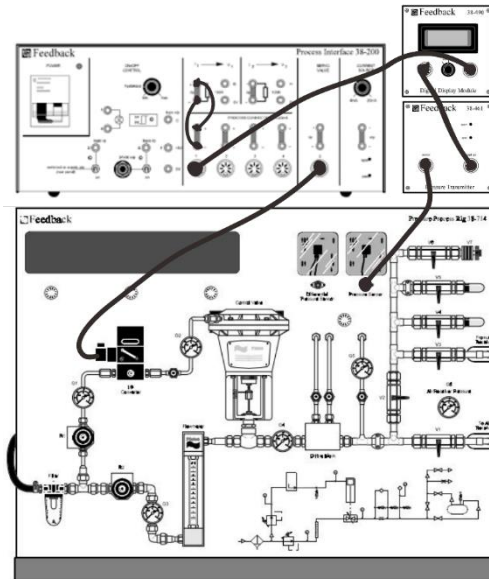
Pada perangkat pengukuran yang dapat digunakan dalam proses pengaturan digital yaitu sensor tekanan, dimana sensor tekanan mengubah sinyal tekanan udara dari 0–10 psi menjadi sinyal analog sebesar 4-20 mA dengan perangkat tambahan yaitu *Process Interface* 38-200.

Pada proses pengaturan terdapat beberapa komponen yang digunakan yaitu *regulator*, *pneumatic control valve* dan *I/P converter*. Perangkat pengaturan yang digunakan dalam sistem pengaturan digital hanya menggunakan *I/P converter* dan *pneumatic control valve*. Kegunaan dari *I/P converter* yaitu mengubah sinyal analog arus 4-20 mA menjadi tekanan udara sebesar 3-15 psi, dimana tekanan udara tersebut digunakan untuk mengaktifkan *pneumatic control valve*. Kegunaan dari *pneumatic control valve* pada *plant* yaitu mengatur besarnya pembukaan katup pada jalur tekanan udara pada sistem. Pengaturan sinyal *I/P converter* dibantu menggunakan perangkat tambahan yaitu *Process Interface* 38-200.

Pada *plant pressure process rig* 38-714 memiliki pengaturan katup sebanyak 6 buah katup, 3 katup digunakan untuk pada proses sistem sedangkan 3 katup lainnya digunakan untuk pembuangan udara atau pembebanan pada sistem pengaturan tekanan.

Berikut adalah konfigurasi dari *plant pressure process Rig* 38-714 yang digunakan :

Compressor	:	Masukkan sistem tepat pada 40 psi
Regulator	:	
R1	:	Diatur tepat pada 25 psi
R2	:	Diatur tepat pada 10 psi
Pembebanan Nominal	:	
Katup terbuka	:	V1, V3, V4 dan V5
Katup tertutup	:	V2, V6
Pembebanan Minimum	:	
Katup terbuka	:	V1, V3, dan V4
Katup tertutup	:	V2, V5, dan V6



Gambar 3. 1 *Plant pressure process Rig 38-714*

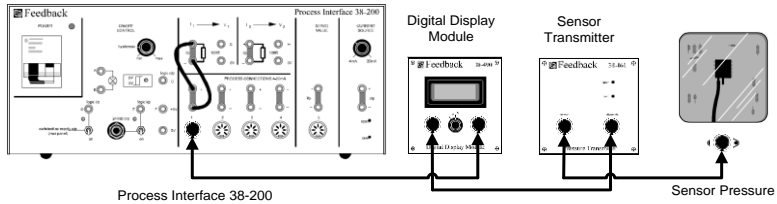
3.1.3. Kalibrasi Sensor [6]

Dalam *plant pressure process* Rig 38-714 yang ditunjukkan pada gambar 3.1 ini menggunakan sensor jenis analog, dimana sensor tersebut mengeluarkan sinyal analog berupa 4-20 mA. Akan tetapi dalam kondisi tertentu pembacaan sensor tidak sesuai dengan kondisi idealnya, sehingga pada penggunaan sensor analog biasanya terdapat suatu pengaturan untuk menyesuaikan dengan kondisi sebenarnya. Pada tahap pertama dalam memulai suatu pekerjaan dalam sistem ini, diperlukannya kalibrasi sensor. Berikut adalah kondisi ideal yang perlu dikalibrasi :

- a. Tekanan minimal : 0 psi
- b. Tekanan maksimal : 10 psi
- c. Sensor tekanan min : 4 mA
- d. Sensor tekanan max : 20 mA

Untuk mendapatkan kondisi ideal tersebut, terdapat beberapa langkah yang perlu diperhatikan yaitu sebagai berikut :

- a. Lakukan pengkabelan pada perangkat pendukung *plant* seperti *process interface 38-200*, *digital display module*, *pressure transmitter* dan *pressure sensor* pada *rig 38-714* dan sesuaikan dengan skema kabel pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Skema kabel kalibrasi sensor

- b. Pastikan regulator R2 dalam keadaan tertutup dan buka seluruh katup V1 – V6.
- c. Pastikan sudah tidak adanya udara dalam sistem. Bila udara pada sistem sudah tidak ada, maka kondisi tersebut merupakan kondisi tekanan minimal yaitu 0 psi dan pembacaan sensor tekanan mengindikasikan nilai 4 mA atau 0 %.
- d. Bila kondisi tekanan minimal tidak terbaca 4 mA, maka lakukan kalibrasi dengan mengatur *zero* dan *span* pada perangkat *pressure transmitter 38-461*.
- e. Tahap selanjutnya, kondisikan katup V1 dan V3 dalam keadaan terbuka serta katup V2, V4, V5 dan V6 dalam keadaan tertutup.
- f. Pastikan regulator terbuka, hingga pada pembacaan *gauge*, terbaca sebesar 10 psi.
- g. Tunggu beberapa saat, hingga pembacaan sensor pada *gauge G5* terbaca sebesar 10 psi.
- h. Pastikan pembacaan *gauge G5* 10 psi, maka kondisi tersebut merupakan kondisi tekanan maksimal yaitu 10 psi dan pembacaan tekanan mengindikasikan nilai 20 mA atau 100 %.

- i. Bila kondisi tekanan maksimal tidak terbaca 20 mA, maka lakukan kalibrasi dengan mengatur zero dan span pada perangkat pressure transmitter 38-461.

3.1.4. ADAM 5000L/TCP

Dalam melakukan penerapan metode kontrol pada *plant* Rig 38-714, penulis menggunakan media komputer sebagai kontroler, sedangkan media untuk menerima informasi sensor dari *plant* menggunakan perangkat ADAM 5000L/TCP. Fungsi dari ADAM 5000L/TCP ini merupakan perangkat akuisisi data. Informasi sensor dari *plant* dihubungkan ke media komputer menggunakan jaringan kabel *ethernet* UTP RJ-45 sebagai media komunikasi.

Pada perangkat ADAM 5000L/TCP terdapat 1 slot modul masukan analog, 2 slot modul keluaran analog dan 1 slot modul masukan maupun keluaran digital. Dalam perancangan kontroler, modul yang digunakan adalah modul *input* analog dan *output* analog. Pada modul *input* analog (ADAM 5017) memiliki 8 kanal *input* tegangan dengan konfigurasi tegangan masukan seperti pada tabel 3.1. Pada modul *output* analog (ADAM 5024) memiliki 4 kanal *output* berupa sinyal tegangan dan 4 kanal *output* berupa sinyal arus dengan konfigurasi tegangan dan arus seperti pada tabel 3.1

Fungsi perangkat ADAM 5000L/TCP dalam sistem digunakan untuk menerima informasi analog dari *plant*, dan dalam perancangan sistem ini menggunakan 1 slot modul *input* dan 1 slot modul *output*. Pada kanal modul *input* menggunakan konfigurasi pembacaan yaitu -10 V–10 V dan untuk modul *output* menggunakan konfigurasi keluaran yaitu 4–20 mA.

Tabel 3. 1 Konfigurasi AI/AO ADAM 5000L/TCP

Modul	Tipe	Range Low	Range High	Scale Low	Scale High	Format Data
Analog Input 5017	mV	-150	150	0	65535	U16B
	mV	-500	500	0	65535	U16B
	V	-1	1	0	65535	U16B
	V	-5	5	0	65535	U16B
	V	-10	-10	0	65535	U16B

Modul	Tipe	Range Low	Range High	Scale Low	Scale High	Format Data
Analog Output 5024	V	0	10	0	4095	U12B
	mA	4	20	0	4095	U12B
	mA	0	20	0	4095	U12B

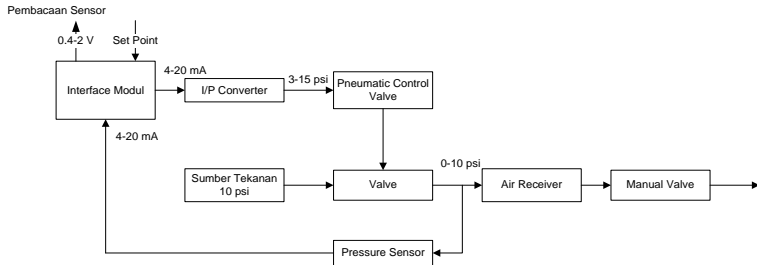
Dan berikut adalah spesifikasi dari ADAM 5000L/TCP :

CPU	: ARM 32-bit RISC CPU
Memory	: 4 MB <i>Flash</i> RAM
Operating System	: <i>Real-Time</i> O/S
Timer BIOS	: Yes
I/O Capacity	: 8 <i>slots</i> (ADAM-5000/TCP) 4 <i>slots</i> (ADAM-5000/TCP)
Status Indikator	: <i>Power</i> , CPU, <i>Communication</i>
Ethernet	: 10 BASE-T IEEE 802.3 100 BASE-TX IEEE 802.3u
Wiring	: UTP
Koneksi Bus	: RJ45 <i>jack modular</i>
Protokol Komunikasi	: <i>Modbus</i> /TCP
Transfer Rate	: sampai dengan 100Mbps
Waktu Respon	: kurang dari 5ms
Komunikasi	: Serial
Sinyal RS-485	: DATA +, DATA –
Mode	: <i>Half Duplex</i> , <i>Multi Drop</i>
Konektor	: <i>screw terminal</i>
Kecepatan Transmisi	: sampai dengan 115,2 Kbps
Power Unregulated	: 10V sampai 30V DC
Proteksi	: <i>Over Voltage</i> dan <i>Power Reversal</i>

3.2. Identifikasi Sistem *Open Loop*

Identifikasi *plant* merupakan tahap awal dalam merancang sebuah sistem kontrol. Hasil yang didapatkan dari identifikasi sistem dapat menentukan pemilihan kontrol, sehingga tahap awal dari perancangan kontroler adalah identifikasi sistem. Identifikasi sistem secara *open loop* dilakukan untuk mendapatkan model *plant Pressure Process Rig* 38-714.

Model yang didapatkan digunakan untuk perancangan kontroler serta kebutuhan simulasi pada sistem. Pada gambar 3.3 merupakan skema peralatan untuk melakukan identifikasi sistem *open loop* dan proses mendapatkan model



Gambar 3. 3 Diagram *open loop* Rig 38-714

3.2.1. Identifikasi Sistem Dengan Sinyal Uji *Unit Step*

Identifikasi dengan sinyal uji *step* merupakan salah satu metode identifikasi dengan cara memberikan sinyal *constant* pada sistem. Sinyal konstan yang diberikan pada *plant pressure process* Rig 38-714 merupakan sinyal *unit step*. Pada proses identifikasi ini akan membaca sensor tekanan dan dari hasil pembacaan sensor tersebut akan dianalisis untuk mendapatkan model identifikasi sistem *open loop*. Berikut adalah kondisi yang digunakan saat melakukan uji sinyal *unit step* :

1. Masukkan *plant* : 2 psi (16.8 mA)
2. Jumlah data yang diambil : 4000 sampel
3. *Air receiver* : digunakan
4. *Time Sampling* : 200 ms
5. Kondisi Pembebanan :
 - a. Kondisi Beban Minimum
 - Manual valve* terbuka : V1, V3, V4
 - Manual valve* tertutup : V2, V6, V5
 - b. Kondisi Beban Nominal
 - Manual valve* terbuka : V1, V3, V4, V5
 - Manual valve* tertutup : V2, V6

Dari proses hasil pengambilan data pada sensor tekanan di *plant pressure process* Rig 38-714 dihasilkan suatu respon yang mendekati

sistem orde satu seperti pada gambar 3.4. Pada hasil pengambilan data ini memiliki respon tunda, akan tetapi respon tunda tersebut terlalu kecil sehingga dapat diabaikan. Pada sistem orde satu memiliki fungsi alih sebagai berikut :

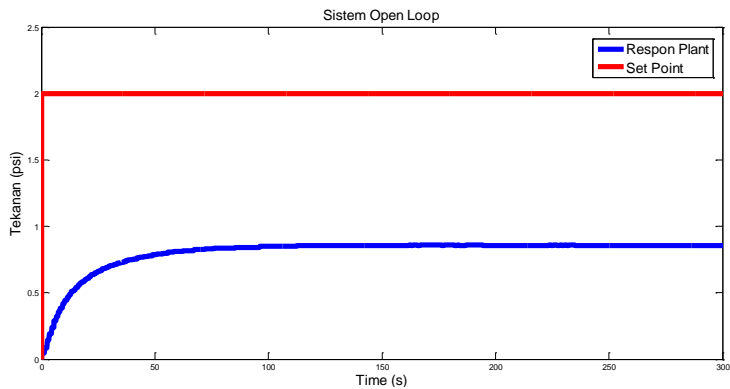
$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (3.1)$$

Parameter yang dimiliki sistem orde satu yaitu *gain overall* (K) dan *time constant* (τ). Untuk mendapatkan model suatu *plant*, maka perlu mencari nilai dari parameter yang dimiliki oleh sistem. Untuk mendapatkan nilai *gain overall* (K) pada sistem orde satu adalah sebagai berikut :

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \quad (3.2)$$

Y_{ss} : Nilai keluaran respon saat kondisi *steady state*

X_{ss} : Nilai masukan respon saat kondisi *steady state*



Gambar 3. 4 Respon *open loop* dengan sinyal uji *unit step*

Pada gambar 3.4, didapatkan nilai keluaran respon saat *steady state* adalah 1,348 psi dan masukan sistem saat *steady state* adalah 3 psi. Maka dari itu nilai *gain overall* (K) adalah

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{0,848}{2} = 0,424 \quad (3.3)$$

Nilai dari parameter *gain overall* (K) telah diketahui yaitu sebesar 0,424. Selanjutnya untuk mencari nilai *time constant* pada sistem orde satu yaitu dengan mencari waktu respon saat mencapai kondisi 63,2 % dari kondisi *steady state*. Berikut adalah keluaran sistem saat kondisi 63,2 % :

$$Y(63,2\%) = Y_{SS} * 63,2 \% = 0,848 * 0,632 = 0.535 \text{ psi} \quad (3.4)$$

Waktu untuk mencapai nilai respon sebesar 0,535 psi adalah 15,8 detik. Sehingga nilai *time constant* dari gambar 3.4 adalah 15,8. Dan berikut adalah model identifikasi sistem *open loop plant*

$$G(s) = \frac{0,424}{15,8s + 1} \quad (3.5)$$

3.2.2. Identifikasi Sistem Dengan Sinyal Uji PRBS

Identifikasi dengan sinyal uji PRBS merupakan salah satu metode untuk melakukan proses sistem identifikasi dengan memberikan sinyal masukan yang tidak tetap. Sinyal masukan yang diberikan pada *plant* Rig 38-714 merupakan sinyal PRBS (*Pseudo Random Binary Sequence*). Dari hasil respon yang diperoleh sistem, akan dilakukan analisis hingga mendapat model sistem *open loop*. Berikut adalah kondisi yang digunakan saat melakukan uji sinyal PRBS :

1. Masukkan *plant* : Sinyal PRBS 0-2 psi (20-16.8 mA)
2. *Maximum length* PRBS : 1260
3. *Periode* : 20 detik
4. Jumlah data yang diambil : 5000 sampel
5. *Air receiver* : digunakan
6. *Time Sampling* : 200 ms
7. Kondisi Pembebanan :
 - a. Kondisi Beban Minimum
 - Manual valve* terbuka : V1, V3, V4
 - Manual valve* tertutup : V2, V6, V5
 - b. Kondisi Beban Nominal
 - Manual valve* terbuka : V1, V3, V4, V5
 - Manual valve* tertutup : V2, V6

Dari proses hasil pengambilan data pada *plant* Rig 38-714, akan dilakukan identifikasi dengan pendekatan struktur ARX (*Auto Regression with eXogeneous input*) dan persamaan 3.6 adalah bentuk umum representasi diskrit dari struktur ARX[1] :

$$y(k) = -a_1y(k-1) - \dots - a_{n_a}y(k-n_a) + b_1x(k-d) + \dots + b_{n_b}x(k-n_b) + e(k) \quad (3.6)$$

Dengan menggunakan pendekatan struktur ARX orde satu, dimana jumlah $n_a = 1, n_b = 1$ dan $d = 1$. Maka didapatkan struktur ARX seperti pada persamaan 3.7.

$$y(k) = -a_1y(k-1) + b_1x(k-1) + e(k) \quad (3.7)$$

Untuk mencari nilai parameter a_1 dan b_1 dilakukan dengan metode pendekatan penyelesaian persamaan linear simultan parameter rata-rata (P3LS-PR) dengan persamaan sebagai berikut [9] :

$$\theta_{(k)} = \varphi_{(k-1)}^{-1} Y_{(k)} \quad (3.8)$$

$$\varphi_{(k-1)} = [-y_{(m-1)} \dots -y_{(m-n_a)} \dots x_{(m-d)} \dots x_{(m-d-n_b)}] \quad (3.9)$$

$$\theta_{(k)} = [a_1 \dots a_{n_a} \ b_1 \dots b_{n_b}] \quad (3.10)$$



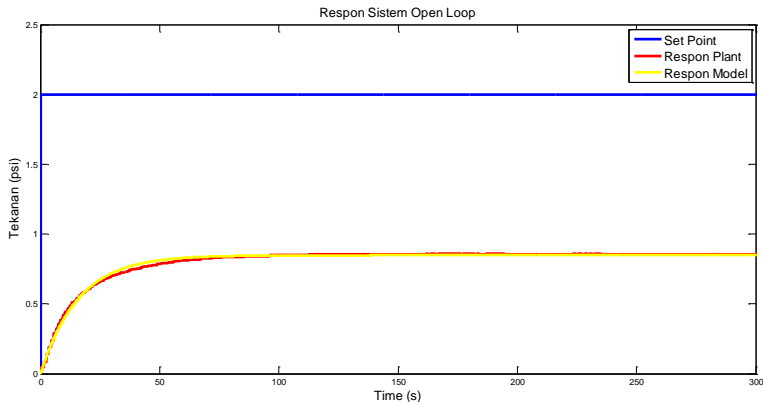
Gambar 3. 5 Respon *open loop* dengan sinyal uji PRBS

Dengan memanfaatkan persamaan 3.7 dan hasil respon 3.5 menggunakan metode pendekatan penyelesaian persamaan linear simultan, maka parameter a_1 dan b_1 dapat dihasilkan, dan berikut adalah persamaan model dari sistem :

$$y(k) = 0.9939y(k - 1) + 0.005545x(k - 1) \quad (3.11)$$

3.2.3. Validasi Model

Pada bagian validasi model ini merupakan suatu langkah untuk menemukan hasil model identifikasi yang menyerupai hasil keluaran dari sistem. Dengan mencari nilai validasi model yang terbaik dari beberapa pengambilan data yang dijadikan model fungsi alih, maka fungsi alih tersebut yang akan digunakan pada proses simulasi dalam melakukan perancangan kontroler. Pada validasi model ini menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*), dimana semakin kecil nilai RMSE maka akan semakin baik model. Pada gambar 3.6 dan 3.7 merupakan hasil dari pendekatan antara hasil keluaran sistem dengan hasil model fungsi alih.



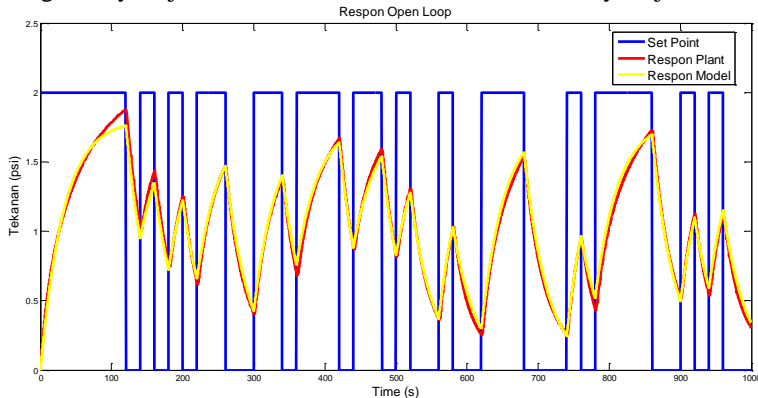
Gambar 3. 6 Hasil respon plant dan model untuk validasi dengan sinyal uji *unit step*

Pada gambar 3.6 merupakan hasil respon model dan *plant* dengan menggunakan identifikasi statis sebagai metode identifikasi *plant* dan berikut adalah hasil pengambilan data, model hasil identifikasi serta nilai RMSE dari kondisi pembebanan minimum dan nominal :

Tabel 3. 2 Persamaan model hasil identifikasi dengan sinyal *unit step*

Kondisi pembebanan minimum			
No	Data	Model Hasil Identifikasi	RMSE
1	Data 1	$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1.1175}{51.6s + 1}$	0.0334
2	Data 2	$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1.13}{49s + 1}$	0.0387
Kondisi pembebanan nominal			
No	Data	Model Hasil Identifikasi	RMSE
1	Data 1	$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.424}{15.8s + 1}$	0.0084
2	Data 2	$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.402}{14.9s + 1}$	0.0102

Dari hasil tabel 3.2 merupakan validasi model menggunakan identifikasi dengan sinyal uji berupa sinyal *unit step*, dan untuk mengidentifikasi *plant* dengan masa *transient*-nya digunakan identifikasi dengan sinyal uji PRBS dan berikut adalah hasil dari sinyal uji PRBS :



Gambar 3. 7 Hasil respon plant dan model untuk validasi dengan sinyal uji PRBS

Pada gambar 3.7 merupakan hasil respon model dan *plant* dengan menggunakan identifikasi dengan sinyal uji menggunakan sinyal PRBS sebagai metode identifikasi *plant* dan tabel 3.3 adalah hasil pengambilan data, model hasil identifikasi serta nilai RMSE dari kondisi pembebanan minimum dan nominal

Tabel 3. 3 Persamaan model hasil identifikasi dengan sinyal PRBS

Kondisi pembebanan minimum			
No	Data	Model Hasil Identifikasi	RMSE
1	Data 1	$y(k)$ $= 0.99385787045y(k - 1)$ $+ 0.0055448429x(k - 1)$	0,0481
2	Data 2	$y(k)$ $= 0.99395502287y(k - 1)$ $+ 0.0055564264x(k - 1)$	0,0502
Kondisi pembebanan nominal			
No	Data	Model Hasil Identifikasi	RMSE
1	Data 1	$y(k)$ $= 0.983821335y(k - 1)$ $+ 0.005308939x(k - 1)$	0,0301
2	Data 2	$y(k)$ $= 0.984014772y(k - 1)$ $+ 0.005306676x(k - 1)$	0,0291

3.3. Perancangan Kontroler

Dalam hasil formulasi model sistem serta validasi model sistem, telah didapatkan beberapa fungsi alih *plant* dari berbagai kondisi. Sehingga pada tahap selanjutnya merupakan tahap perancangan kontroler, dimana kontroler yang digunakan ini menggunakan kontroler PI. Pemilihan kontroler PI ini didasari karena model yang didapatkan oleh sistem merupakan model dengan pendekatan orde satu[2], sehingga kontroler PI telah mampu untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Akan tetapi pada sistem pengaturan proses ini, kontroler PI tidak dapat diaplikasikan dengan baik, dikarenakan *plant* memiliki kemampuan perubahan beban yang bervariasi sehingga salah satu solusi tersebut yaitu suatu kontroler adaptif. Pada kontroler adaptif ini, penulis menggunakan kontroler PI sebagai kontroler sistem dan proses *tuning* parameter PI menggunakan skema *Self Tuning Regulator*. Dikarenakan pada skema *Self Tuning Regulator* menggunakan estimasi parameter sistem, maka pemilihan metode estimasi parameter tersebut menggunakan struktur *neural-fuzzy*.

3.3.1. Kontroler PI

Dalam penggunaan kontroler PI pada perancangan kontroler yang digunakan pada *plant* Rig 38-714 menggunakan media komputer sebagai kontrolernya, sehingga perlunya pendekatan kontroler PI domain waktu kontinyu ke dalam bentuk persamaan yang dapat digunakan pada komputer digital. Pada kontroler PI ini, penulis menggunakan metode pendekatan transformasi bilinear atau disebut juga tustin metode. Dan berikut adalah persamaan fungsi alih dari kontrol PI :

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) \quad (3.12)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p \tau_i s}{\tau_i s} + \frac{K_p}{\tau_i s} \quad (3.13)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p \tau_i s + K_p}{\tau_i s} \quad (3.14)$$

Pada persamaan fungsi alih kontroler PI dalam domain kontinyu, $U(s)$ merupakan sinyal kontrol dan $E(s)$ merupakan sinyal eror. Dari persamaan fungsi alih kontroler PI dalam domain kontinyu dapat ditransformasikan ke dalam bentuk persamaan fungsi alih dalam domain diskrit demi menunjangnya kriteria kontroler. Pendekatan kontroler diskrit ini menggunakan transformasi bilinear dan berikut adalah persamaan kontroler PI dalam domain diskrit :

$$s \rightarrow \frac{2}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) \quad (3.15)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p \tau_i \frac{2}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + K_p}{\tau_i \frac{2}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)} \quad (3.16)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p \tau_i \frac{2}{T_s} (1 - z^{-1}) + K_p (1 + z^{-1})}{\tau_i \frac{2}{T_s} (1 - z^{-1})} \quad (3.17)$$

$$\begin{aligned} \tau_i \frac{2}{T_s} (1 - z^{-1}) U(z) \\ = \left(K_p \tau_i \frac{2}{T_s} (1 - z^{-1}) + K_p (1 + z^{-1}) \right) E(z) \end{aligned} \quad (3.18)$$

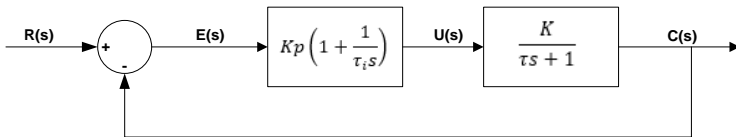
$$\begin{pmatrix} \tau_i \frac{2}{T_S} U(z) - \\ \tau_i \frac{2}{T_S} z^{-1} U(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_p \tau_i \frac{2}{T_S} E(z) - K_p \tau_i \frac{2}{T_S} z^{-1} E(z) \\ + K_p E(z) + K_p z^{-1} E(z) \end{pmatrix} \quad (3.19)$$

$$U(z) = \begin{pmatrix} \frac{\tau_i \frac{2}{T_S} z^{-1}}{\tau_i \frac{2}{T_S}} U(z) + \frac{\left(K_p \tau_i \frac{2}{T_S} E(z) + K_p \right) \frac{2}{T_S}}{\tau_i \frac{2}{T_S}} E(z) \\ + \frac{\left(K_p - K_p \tau_i \frac{2}{T_S} \right) z^{-1}}{\tau_i \frac{2}{T_S}} E(z) \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

$$u(k) = \begin{pmatrix} u(k-1) + \left(K_p + \frac{T_S K_p}{2 \tau_i} \right) e(k) \\ + \left(\frac{T_S K_p}{2 \tau_i} - K_p \right) e(k-1) \end{pmatrix} \quad (3.21)$$

Dari hasil persamaan 3.21, $u(k)$ merupakan sinyal kontrol yang akan diberikan sebagai masukan untuk *plant* yang memiliki 2 parameter yaitu K_p dan τ_i . Nilai parameter K_p dan τ_i akan dilakukan proses *tuning* untuk menyesuaikan dengan kondisi dari *plant* untuk mencapai *set point* yang diinginkan.

Dalam menentukan nilai parameter K_p dan K_i , dapat dirancang secara analitik menggunakan blok diagram seperti pada gambar 3.8 dengan tujuan hasil respon menyerupai sistem orde pertama dengan ketentuan yaitu *time constant* yang diinginkan sebesar 30 detik. Dengan menggunakan formulasi analitik yang memiliki persyaratan *time constant integral* sama dengan *time constant* fungsi alih *plant*, maka akan didapatkan hasil dari keluaran *plant* merupakan fungsi orde satu. Berikut adalah persamaannya :



Gambar 3. 8 Blok diagram kontrol PI

$$\tau_i = \tau \quad (3.22)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{Kp \left(\frac{\tau_i s + 1}{\tau_i s} \right) \left(\frac{K}{\tau s + 1} \right)}{1 + Kp \left(\frac{\tau_i s + 1}{\tau_i s} \right) \left(\frac{K}{\tau s + 1} \right)} \quad (3.23)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K \frac{Kp}{\tau_i s}}{1 + K \frac{Kp}{\tau_i s}} \quad (3.24)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\frac{\tau_i s}{KKp} + 1} \quad (3.25)$$

$$\tau^* = \frac{\tau_i}{KKp} \quad (3.26)$$

$$Kp = \frac{\tau_i}{\tau^* \cdot K} \quad (3.27)$$

$$K_i = \frac{Kp}{\tau_i} \quad (3.28)$$

3.3.2. Estimasi Parameter Menggunakan *Neural-Fuzzy*

Dalam pemilihan kontroler pada tugas akhir ini menggunakan kontroler PI berbasis *neural-fuzzy*, dimana penggunaan *neural-fuzzy* ini digunakan untuk mencari estimasi parameter. Pada proses estimasi parameter ini, terdapat proses secara *on-line* dan *off-line*, dimana pada proses *off-line* estimasi parameter tetap, sedangkan pada proses *on-line*, estimasi parameter berubah menyesuaikan dengan kondisi sistem.

Dalam proses estimasi parameter yang digunakan pada sistem ini menggunakan pendekatan struktur ARX (*Auto Regresion with eXogeneous input*) sesuai dengan persamaan 3.6 Dimana $x(k)$ merupakan masukan sistem dan $y(k)$ merupakan keluaran sistem pada saat ke k , sementara nilai a_{na} dan b_{nb} adalah parameter dari model. Pada estimasi nilai parameter a_{na} dan b_{nb} ini dihasilkan dari struktur *neural-fuzzy*, dimana masukan dari struktur *neural-fuzzy* ini merupakan masukan dan keluaran sistem, yang disesuaikan dengan struktur ARX-nya.

Pada perancangan estimasi parameter ini menggunakan struktur ARX orde satu dengan jumlah parameter sebagai berikut :

- na : 1 (Jumlah parameter keluaran)
 nb : 1 (Jumlah parameter masukan)
 d : 1 (Nilai masukan yang tertunda)

Sehingga struktur ARX yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$y(k) = -a_1y(k-1) + b_1x(k-1) + e(k) \quad (3.29)$$

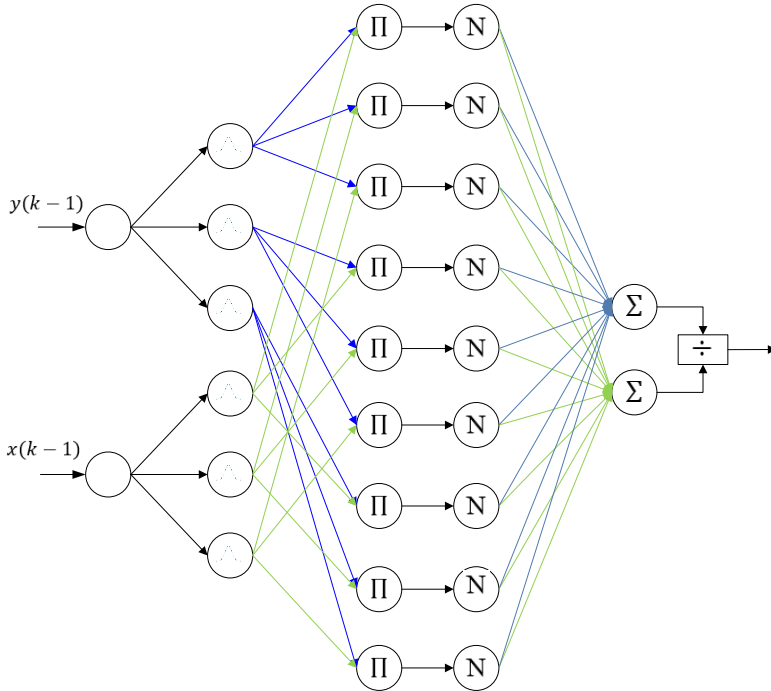
Dari tabel 3.2 didapatkan pemodelan kondisi pembebanan nominal dan minimum dengan didapatkan pemodelan tiap pembebanan, maka dapat dicari nilai a_1 dan b_1 dari setiap model dengan menggunakan persamaan 3.52 dengan *time sampling* 0.2 detik. Berikut adalah parameter struktur AR dari hasil pemodelan :

Tabel 3. 4 Parameter model menggunakan struktur ARX

Model	Parameter a_1	Parameter b_1
$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1.1175}{51.6s + 1}$	-0.996131528	0.0021615087
$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.424}{15.8s + 1}$	-0.987421384	0.0026666667
$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1.13}{49s + 1}$	-0.99592668	0.00230142566
$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.402}{14.9s + 1}$	-0.986666667	0.00268

Pada struktur ARX yang digunakan terdapat 2 parameter yaitu a_1 dan b_1 . Dari tabel 3.3 hasil identifikasi dengan sinyal uji PRBS dan tabel 3.4 merupakan parameter target yang digunakan pada proses *training* dan dengan menggunakan struktur ARX orde satu, estimasi parameter dengan pendekatan struktur *neural-fuzzy*, hanya memiliki 2 masukan yaitu $y(k-1)$ dan $x(k-1)$ dengan keluaran yaitu parameter a_1 dan b_1 . Pada satu struktur *neural-fuzzy* hanya memiliki satu keluaran, sehingga untuk mendapatkan parameter a_1 dan b_1 , perlunya 2 struktur *neural-fuzzy*.

Pada gambar 3.9 merupakan struktur dari *neural network fuzzy* fungsi gaussian yang terdiri dari 5 lapisan diantaranya terdapat lapisan masukan, fuzzifikasi, *inference rule*, normalisasi dan defuzzifikasi. Dan berikut adalah persamaan yang digunakan pada setiap lapisan :



Gambar 3. 9 Struktur *neural-fuzzy*

1. Lapisan pertama

$$O_i^{(1)} = x_i \quad (3.30)$$

Pada lapisan pertama ini merupakan masukan untuk struktur *neural-fuzzy* yang digunakan. Pada lapisan pertama ini menggunakan 2 masukan sesuai pada gambar 3.9

2. Lapisan ke dua

$$O_{ik}^{(2)} = \exp\left(-\left(\frac{x_i - a_{ik}}{b_{ik}}\right)^2\right) \quad (3.31)$$

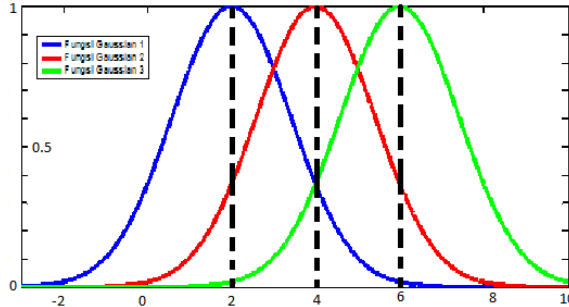
Pada lapisan ke dua ini merupakan lapisan fuzzifikasi, yang menggunakan fungsi keanggotaan gaussian dengan parameter a_{ik} dan b_{ik}

tetap. Pada tiap node hanya menggunakan 1 fungsi keanggotaan berupa fungsi gaussian. Pada setiap node lapisan ke dua ini, memiliki parameter fuzzy yang berbeda-beda. Dengan nilai parameter a_{ik} dan b_{ik} sebagai berikut :

Tabel 3. 5 Parameter fungsi gaussian

No	Parameter a_{ik}	Parameter b_{ik}
1	$a_{11} = a_{21} = 2$	$b_{11} = b_{21} = 2$
2	$a_{12} = a_{22} = 4$	$b_{12} = b_{22} = 2$
3	$a_{13} = b_{23} = 6$	$b_{13} = b_{23} = 2$

Pada gambar 3.10 adalah fungsi keanggotaan gaussian yang digunakan.



Gambar 3. 10 Fungsi keanggotaan gaussian

3. Lapisan ke tiga

$$O_l^{(3)} = O_{1i}^{(2)} * O_{2j}^{(2)} \quad (3.32)$$

Pada lapisan ke tiga merupakan bagian yang berhubungan dengan *inference rule*, dimana pada bagian ini menggunakan proses operasi *product* atau operasi perkalian. Pada bagian ini akan menghasilkan nilai dari perkalian fungsi keanggotaan fuzzy pada masukan yang pertama dan masukan yang ke dua.

4. Lapisan ke empat

$$O_l^{(4)} = \frac{O_l^{(3)}}{\sum_{l=1}^9 O_l^{(3)}} \quad (3.33)$$

Pada lapisan ke empat merupakan proses normalisasi, yaitu hasil dari tiap lapisan ke tiga dibagi dengan seluruh penjumlahan dari lapisan ke tiga. Dan proses normalisasi berlaku untuk setiap keluaran dari lapisan ke tiga.

5. Lapisan ke lima

$$O_1^{(5)} = \sum_{l=1}^9 O_l^{(4)} * W_l \quad (3.34)$$

$$O_2^{(5)} = \sum_{l=1}^9 O_l^{(4)} * 1 \quad (3.35)$$

$$y = \frac{O_1^{(5)}}{O_2^{(5)}} \quad (3.36)$$

Pada lapisan ke lima merupakan proses defuzzifikasi, yang akan menghasilkan 1 keluaran, dan digunakan dalam proses estimasi parameter. Pada proses defuzzifikasi ini terdapat nilai bobot, dengan kondisi pertama nilai bobot tersebut diacak secara random. Akan tetapi pada proses *back propagation*, akan dilakukan proses revisi bobot yang bertujuan untuk mendapatkan nilai keluaran sistem sesuai dengan yang diinginkan.

Pada proses *back propagation* struktur *neural-fuzzy* ini, bertujuan untuk merevisi nilai bobot pada lapisan ke lima. Revisi bobot ini bertujuan untuk mendapatkan keluaran yang diinginkan. Untuk mengetahui nilai revisi yang dibutuhkan, maka perlu diketahui terlebih dahulu kesalahan yang terjadi. Dan berikut adalah proses persamaan untuk nilai revisi bobot :

$$y_o = -a_1 y(k-1) + b_1 x(k-1) \quad (3.37)$$

$$J_a = \frac{1}{2} (-a_{1T} - (-a_{1O}))^2 \quad (3.38)$$

$$J_b = \frac{1}{2} (b_{1T} - b_{1O})^2 \quad (3.39)$$

Dengan mengetahui nilai eror estimasi parameter, maka akan digunakan untuk melakukan proses *back propagation* yang terjadi pada tiap bobot, dan berikut adalah persamaan yang digunakan :

$$\frac{\partial J_c}{\partial W_a} = -O_l^{(4)} * (-a_{1T} - (-a_{1O})) \quad (3.40)$$

$$\frac{\partial J_c}{\partial W_b} = -O_l^{(4)} * (b_{1T} - b_{1O}) \quad (3.41)$$

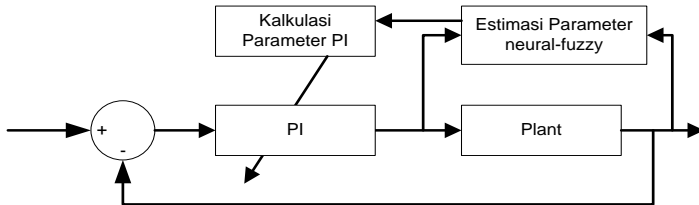
Pada persamaan 3.40 dan persamaan 3.41, merupakan turunan fungsi eror terhadap tiap bobot pada struktur yang dimiliki oleh *neural-fuzzy* dengan keluaran berupa parameter $-a_1$ dan b_1 .

Dengan memanfaatkan persamaan 3.40 dan 3.41, maka dapat diketahui nilai bobot revisi yang diperlukan. Dan berikut adalah persamaan dari revisi bobot :

$$W_l(k+1) = W_l(k) - (\alpha * \frac{\partial J_c}{\partial W_l}) \quad (3.42)$$

3.3.3. Desain Kontroler PI Dengan Skema *Self Tuning Regulator*

Desain kontroler yang digunakan menggunakan skema *Self Tuning Regulator*, maka dibutuhkannya proses estimasi parameter. Setelah melakukan proses estimasi parameter, maka tahap selanjutnya yaitu melakukan desain *self tuning regulator*. Pada gambar 3.11 adalah blok diagram kontroler PI dengan skema STR.



Gambar 3.11 Kontroler PI dengan skema *Self Tuning Regulator*

Pada proses perancangan desain *self tuning regulator* ini, perlunya mengetahui respon sistem. Pada tabel 3.2, telah diketahui respon sistem menyerupai sistem orde satu. Sehingga pada fungsi alih respon sistem dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (3.43)$$

Dengan $Y(s)$ merupakan keluaran sistem dan $U(s)$ merupakan masukan sistem. Pada persamaan 3.43, merupakan fungsi alih pada domain waktu kontinyu, sehingga perlunya ditransformasikan terlebih dahulu ke domain diskrit dikarenakan, hasil dari estimasi parameter merupakan model diskrit. Dari fungsi alih persamaan 3.43, dapat diubah ke model diskrit dengan pendekatan transformasi bilinear yang dapat didefinisikan sebagai berikut :

$$s \rightarrow \frac{2}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) \quad (3.44)$$

Dari persamaan 3.44, dapat disubstitusikan ke persamaan 3.43, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{K}{\frac{2\tau}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + 1} \quad (3.45)$$

$$Y(z) \left(\frac{2\tau}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + 1 \right) = KU(z) \quad (3.46)$$

$$Y(z) + \frac{2\tau}{T_s} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) Y(z) = KU(z) \quad (3.47)$$

$$(1 + z^{-1})Y(z) + \frac{2\tau}{T_s} (1 - z^{-1})Y(z) = K(1 - z^{-1})U(z) \quad (3.48)$$

$$\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right) Y(z) + \left(1 - \frac{2\tau}{T_s} \right) z^{-1}Y(z) = KU(z) - Kz^{-1}U(z) \quad (3.49)$$

$$Y(z) = - \frac{\left(1 - \frac{2\tau}{T_s} \right)}{\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right)} z^{-1}Y(z) + \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right)} U(z) - \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right)} z^{-1}U(z) \quad (3.50)$$

$$y(k) = - \frac{\left(1 - \frac{2\tau}{T_s} \right)}{\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right)} y(k-1) + \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right)} u(k) - \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right)} u(k-1) \quad (3.51)$$

$$y(k) = - \frac{\left(1 - \frac{2\tau}{T_s} \right)}{\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right)} y(k-1) + \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{T_s} \right)} u(k-1) \quad (3.52)$$

Pada persamaan 3.51, nilai $u(k)$ tidak mungkin dapat mempengaruhi langsung $y(k)$, sehingga nilai $u(k)$ dianggap sebesar 0[9]. Dari persamaan 3.52, didapatkan persamaan yang sesuai dengan struktur ARX yang digunakan pada persamaan 3.29, maka didapatkan persamaan untuk mendapatkan nilai parameter a_1 dan b_1 dan berikut adalah formulasi dari persamaan tersebut :

$$a_1 = \frac{\left(1 - \frac{2\tau}{Ts}\right)}{\left(1 + \frac{2\tau}{Ts}\right)} \quad (3.53)$$

$$b_1 = \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{Ts}\right)} \quad (3.54)$$

Dari hasil estimasi parameter, telah diketahui nilai a_1 dan b_1 . Maka, Persamaan 3.53 dan persamaan 3.54, dapat digunakan untuk mencari nilai *time constant*. Berikut adalah formulasi yang digunakan :

$$a_1 = \frac{Ts - 2\tau}{Ts + 2\tau} \quad (3.55)$$

$$2\tau(a_1 - 1) = Ts(a_1 + 1) \quad (3.56)$$

$$\tau = \frac{Ts(1 - a_1)}{2(1 + a_1)} \quad (3.57)$$

Untuk mendapatkan nilai K, dapat dinyatakan pada persamaan berikut :

$$K = b_1 \left(1 + \frac{2\tau}{Ts}\right) \quad (3.58)$$

Untuk kontroler yang digunakan pada desain *self tuning regulator* ini adalah kontroler PI dengan persamaan diskritnya sesuai pada persamaan 3.21. Untuk konfigurasi kontroler PI dilakukan melalui pendekatan analitik, dimana untuk mencapai nilai *error steady state* adalah nol, maka parameter τ_i sama dengan *time constant* (τ) dan nilai dari *time constant* disesuaikan dengan persamaan 3.57. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$\tau_i = \tau = \frac{Ts(1 - a_1)}{2(1 + a_1)} \quad (3.59)$$

Nilai untuk konstanta proposional dapat dicari dengan persamaan 3.27 dan dengan mensubstitusikan persamaan 3.27 dan persamaan 3.59 didapatkan hasil sebagai berikut :

$$K_p = \frac{\left(\frac{Ts(1 - a_1)}{2(a_1 + 1)}\right)}{\tau^*K} \quad (3.60)$$

Untuk variabel τ^* , merupakan *time constant* yang diinginkan. Pada spesifikasi yang diinginkan, *time constant* yang dipilih adalah 30 detik.

3.4. Perancangan Simulasi

Pada perancangan simulasi merupakan tahap yang dilakukan sebelum dilakukannya pengujian dari rancangan kontroler. Simulasi ini dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak yaitu MATLAB R2008a.

Pada perancangan simulasi untuk sistem *open loop* pada *plant* Rig 38-714 didapatkan informasi fungsi alih pada tabel 3.2 dengan kondisi *set point* yaitu 2 psi. Dari tabel 3.2 terdapat 2 kondisi pembebanan yaitu kondisi saat katup V4 terbuka yaitu pembebanan minimum dan kondisi saat katup V4 dan V5 terbuka yaitu pembebanan nominal. Pada perancangan simulasi hasil dari fungsi alih pada tabel 3.2, terlebih dahulu ditransformasikan ke dalam persamaan *differential* dan berikut adalah formulasi dari persamaan *differential plant* :

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (3.61)$$

$$\tau \dot{y} + y = Ku \quad (3.62)$$

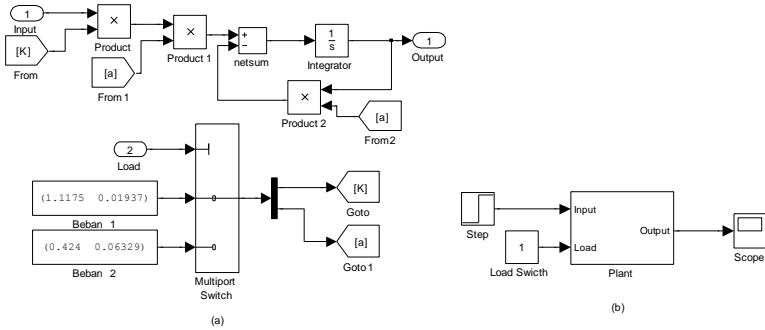
$$\dot{y} = \frac{1}{\tau}(-y + Ku) \quad (3.63)$$

Hasil dari persamaan 3.63 dapat digunakan untuk mencari parameter persamaan *differential*. Berikut merupakan parameter persamaan *differential* dari fungsi alih pada tabel 3.2 :

Tabel 3. 6 Hasil parameter persamaan *differential*

Fungsi Alih	$\frac{1}{\tau}$	K
Kondisi Beban 1	0.01937	1.1175
Kondisi Beban 2	0.06329	0.424

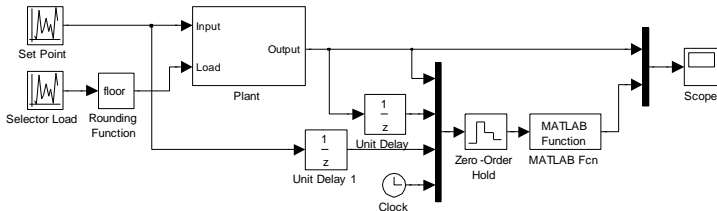
Dari hasil persamaan *differential* tersebut, dilakukan pembuatan simulasi sebagai berikut :



Gambar 3. 12 Skema simulasi *open loop plant*

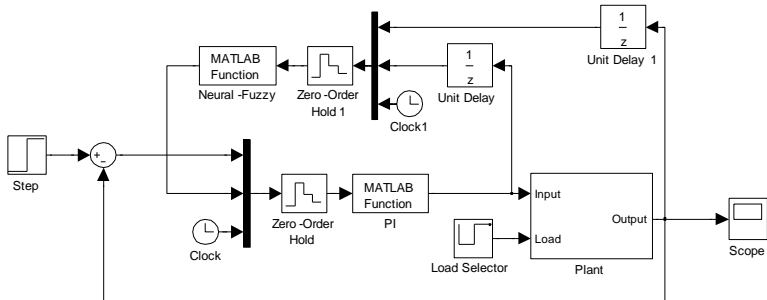
Pada gambar 3.12 (a) merupakan hasil dari persamaan *differential* yang disimulasikan, dan pada gambar 3.12 (b) merupakan blok diagram dari sistem *open loop* dimana pada blok *plant* berisi gambar 3.12 (a). Pada blok *plant* terdapat 2 masukan, untuk masukan “*Input*” merupakan masukan *set point* pada sistem dan untuk masukan “*Load*” merupakan masukan *switch selector*, dimana bila konstanta “*Load*” 1, sistem merupakan fungsi alih dari pembebanan minimum dan untuk konstanta 2, sistem merupakan fungsi alih dari pembebanan nominal.

Dari hasil perancangan simulasi pada gambar 3.12 akan difungsikan pada blok diagram proses *training* estimasi parameter menggunakan *neural-fuzzy*. Pada gambar 3.13 adalah simulink Matlab yang digunakan untuk proses *training* estimasi parameter menggunakan *neural-fuzzy*.



Gambar 3. 13 Simulink matlab untuk *training* dan *testing* struktur *neural-fuzzy*

Pada desain kontroler PI menggunakan skema *self tuning regulator* dengan estimasi parameter menggunakan struktur *neural-fuzzy* dapat disimulasikan terlebih dahulu dan melihat hasil respon dari perancangan kontroler yang telah dirancang. Berikut adalah simulink matlab yang digunakan :



Gambar 3. 14 Simulink matlab untuk kontroler PI berbasis *neural-fuzzy* dengan skema STR

Pada gambar 3.14 merupakan blok diagram dari sistem yang digunakan, dan terdapat kontroler PI dengan masukan berupa nilai eror sistem, hasil estimasi parameter a_1 dan b_1 serta waktu. Pada block diagram *neural-fuzzy* merupakan program untuk simulasi estimasi parameter menggunakan *neural-fuzzy* dengan masukan $y(k - 1)$, $x(k - 1)$ dan waktu.

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan membahas pengujian dan analisis dari hasil implementasi perancangan kontroler yang telah dirancang pada bab 3. Pengujian dan analisis yang dilakukan diantaranya adalah respon sistem tanpa kontroler, estimasi parameter menggunakan *neural-fuzzy*, dan respon sistem dari kontrol PI berbasis *neural-fuzzy* sebagai estimasi parameter.

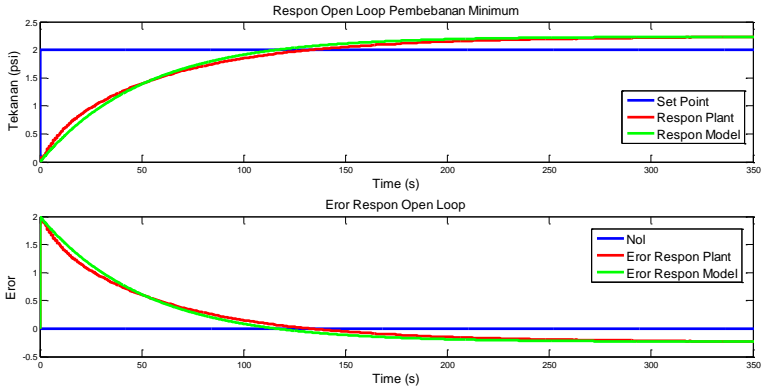
4.1. Pengujian Sistem Tanpa Kontroler

Pada pengujian sistem tanpa kontroler dilakukan secara *open loop* untuk mengetahui respon sistem saat diberi referensi tekanan yang tetap. Pada proses pengujian simulasi dan implementasi dilakukan beberapa pengaturan awal. Berikut adalah pengaturan awal dari pembebanan pada *plant* Rig 38 -714

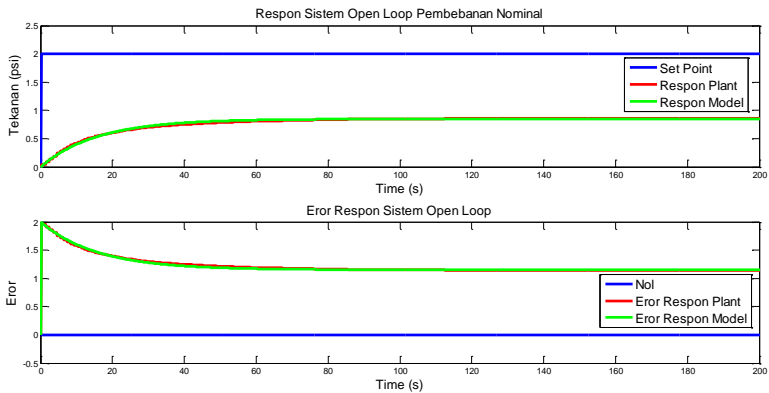
Kondisi Pembebanan

- | | | |
|----|-----------------------------|------------------|
| a. | Masukkan <i>plant</i> | : 2 psi |
| b. | Jumlah data yang diambil | : 4000 |
| c. | Kondisi Pembebanan Minimum: | |
| | Katup Terbuka | : V1, V3, V4 |
| | Katup Tertutup | : V2, V5, V6 |
| d. | Kondisi Pembebanan Nominal | : |
| | Katup Terbuka | : V1, V3, V4, V5 |
| | Katup Tertutup | : V2, V6 |
| e. | <i>Air Receiver</i> | : Digunakan |
| f. | <i>Time Sampling</i> | : 0,2 |

Pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 merupakan hasil respon dari simulasi dan implementasi sistem tanpa kontroler pada *plant* Rig 38-714. Dari data yang diperoleh, dilakukan analisis untuk mencari spesifikasi respon dari setiap pembebanan tanpa kontroler.



Gambar 4. 1 Respon sistem simulasi, implementasi, dan error pada kondisi pembebanan minimum



Gambar 4. 2 Respon sistem simulasi, implementasi dan error pada kondisi pembebanan nominal

Tabel 4. 1 Hasil respon simulasi pada pengujian *open loop*

Spesifikasi	Kondisi Beban Min	Kondisi Beban Nom	Respon Yang Diinginkan
t_s (5%)	154.4 s	47.1 s	90 s
t_r (10% – 90%)	113.11 s	34.64 s	65.92 s
E_{ss}	11.75 %	41.4 %	Mendekati 0
<i>Overshoot</i>	0 %	0 %	< 5 %

Tabel 4. 2 Hasil respon implementasi pada pengujian *open loop*

Spesifikasi	Kondisi Beban Min	Kondisi Beban Nom	Respon Yang Diinginkan
t_s (5%)	182.8 s	57.4 s	90 s
t_r (10% – 90%)	136.78 s	41.56 s	65.92 s
E_{ss}	11.75 %	41.4 %	Mendekati 0
<i>Overshoot</i>	0 %	0 %	< 5 %

Dari hasil tabel 4.1 dan 4.2 merupakan hasil spesifikasi praktis pada respon simulasi dan implementasi yang didapatkan, dimana kondisi *steady state* respon *plant*, masih belum mencapai masukkan referensi yang diinginkan, maka dari itu dibutuhkannya kontroler untuk mengatasi permasalahan tersebut.

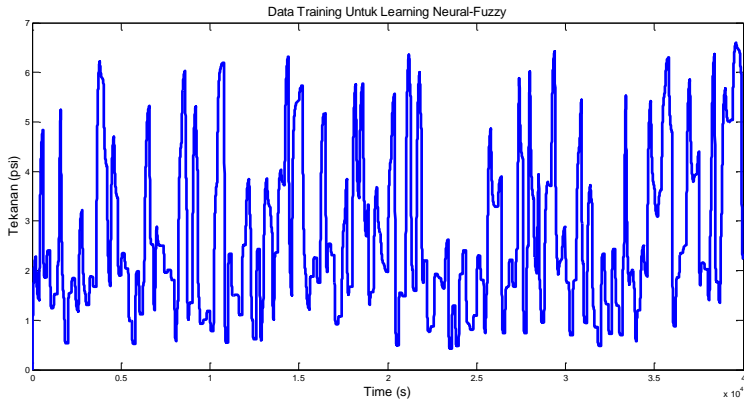
4.2. Estimasi Parameter Menggunakan *Neural-Fuzzy*

Dalam proses perancangan kontroler yang digunakan, estimasi parameter menjadi salah satu bagian aspek terpenting dalam proses kontroler PI menggunakan skema *self tuning regulator*. Estimasi parameter pada tugas akhir ini menggunakan struktur *neural-fuzzy*, dimana sebelum diimplementasikan, perlunya dilakukan proses *training* pada struktur *neural-fuzzy* menggunakan bantuan simulink matlab sesuai pada gambar 3.13. Berikut adalah kondisi proses *training* pada struktur *neural-fuzzy* :

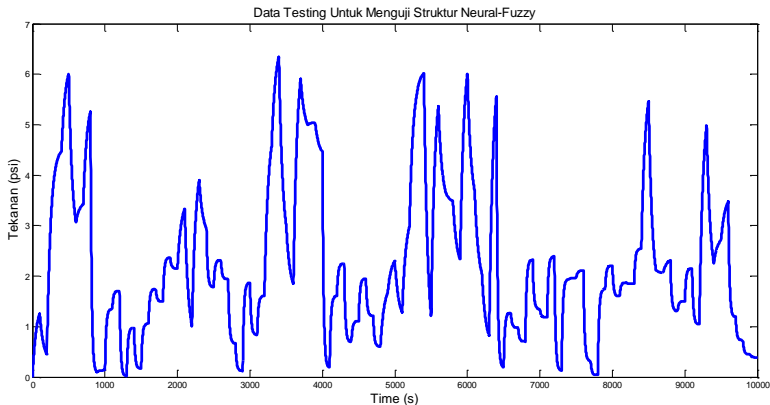
- a. Jumlah data *training* : 40000 data
- b. Jumlah data *testing* : 10000 data
- c. Epoch : 2500 kali
- d. Learning Rate : 0,1 ; 0,01 ; 0,001 ; 0,0001

Setelah melewati proses *training* menggunakan data pada gambar 4.3, akan didapatkan nilai bobot struktur *neural-fuzzy* pada setiap *learning rate*, selanjutnya dilakukan uji coba hasil struktur *neural-fuzzy* dengan menggunakan data *testing* pada gambar 4.4. Pada proses *testing*, struktur *neural-fuzzy* yang digunakan tidak dilakukan proses *learning* kembali atau proses *back propagation*. Pada proses uji coba data *testing* ini dilakukan pada tahap simulasi Matlab. Hal tersebut dilakukan untuk

mencari struktur *neural-fuzzy* dari beberapa *learning rate* yang digunakan.



Gambar 4.3 Data training untuk proses learning struktur *neural-fuzzy*

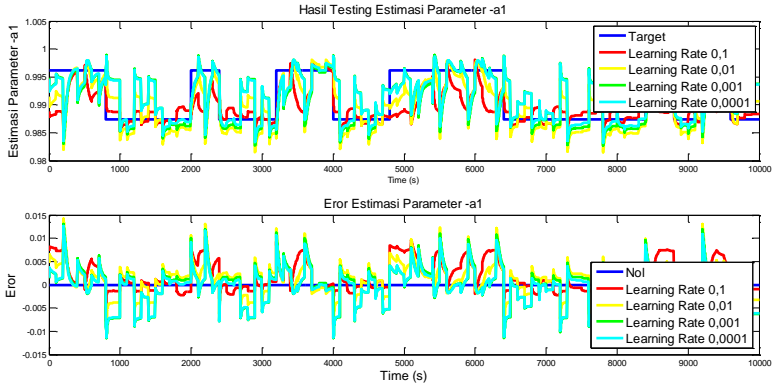


Gambar 4.4 Data testing untuk menguji struktur *neural-fuzzy*

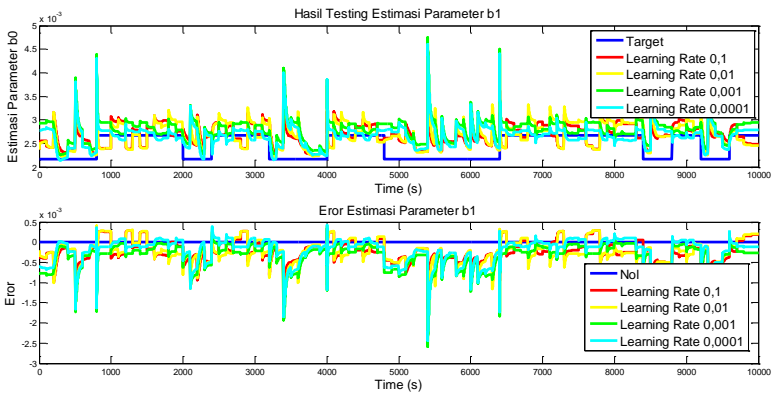
Dari data hasil *testing* untuk menguji struktur *neural-fuzzy*, hasil simulasi estimasi parameter dan identifikasi respon *plant* akan dibandingkan dengan hasil respon *plant*. Dengan membandingkan hasil identifikasi *plant* dengan respon *plant*, maka dapat dicari penggunaan struktur *neural-fuzzy* terbaik dari berbagai macam *learning rate*, hal tersebut dapat dibantu dengan menggunakan metode kriteria kesalahan

RMSE (*Root Mean Square Error*) dimana nilai terkecil dari hasil RMSE merupakan model terbaik yang menyerupai keluaran *plant*.

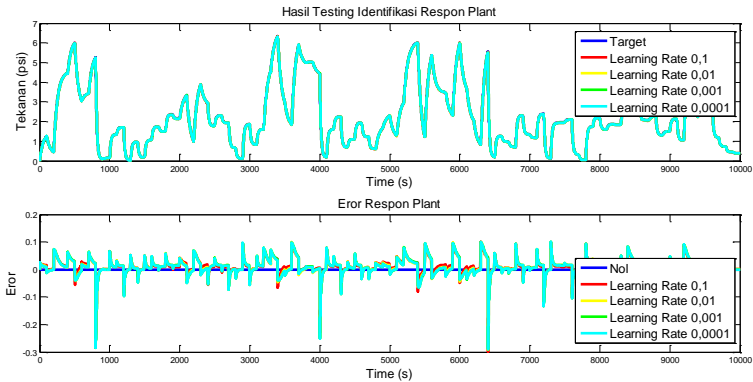
Berikut adalah hasil simulasi proses data *testing* untuk estimasi parameter dan identifikasi respon *plant* menggunakan simulink Matlab :



Gambar 4. 5 Simulasi estimasi parameter $-a_1$ dan error estimasi *neural-fuzzy* dari data *testing*



Gambar 4. 6 Simulasi estimasi parameter b_1 dan error estimasi *neural-fuzzy* dari data *testing*



Gambar 4. 7 Simulasi identifikasi respon *plant* dan eror identifikasi respon *neural-fuzzy* dari data *testing*

Berikut merupakan hasil dari kriteria kesalahan tiap percobaan *learning rate* pada simulasi Simulink Matlab :

Tabel 4. 3 Hasil kriteria kesalahan simulasi tiap *learning rate*

No	<i>Learning Rate</i>	RMSE		
		Estimasi $-a_1$	Estimasi b_1	Respon plant
1	0,1	0.00364131	0.00033081	0.02837805
2	0,01	0.00339806	0.00038295	0.03027728
3	0,001	0.00380891	0.00036005	0.03107781
4	0,0001	0.00361424	0.00038178	0.03062436

Pada gambar 4.5, 4.6 dan 4.7 diketahui pada setiap struktur *neural-fuzzy* dengan berbagai macam *learning rate*, dihasilkan respon yang menyerupai respon target dan dari hasil tabel 4.3, didapatkan proses struktur *neural-fuzzy* terbaik dimiliki pada *learning rate* 0.1 dengan hasil kriteria kesalahan RMSE terkecil .

4.3. Pengujian Kontroler PI Berbasis *Neural-Fuzzy*

Pada bab 3 telah dilakukan perancangan untuk kontroler PI maupun estimasi parameter *neural-fuzzy*, maka tahap selanjutnya merupakan implementasi hasil perancangan kontroler yang digunakan. Pada pengujian kontroler ini dilakukan terhadap kondisi beban nominal dan

kondisi perubahan beban. Dari hasil pengujian akan dilihat performansi hasil respon yang dihasilkan yaitu *settling time*, *maximum overshoot*, *peak time*, *error steady state*, % *peak* dan *recovery time*.

Pada pengujian kontroler PI berbasis *neural-fuzzy*, perlunya dilakukan pengaturan awal terhadap *plant* Rig 38-714 maupun kontroler yang digunakan dan berikut adalah pengaturan awal yang dibutuhkan :

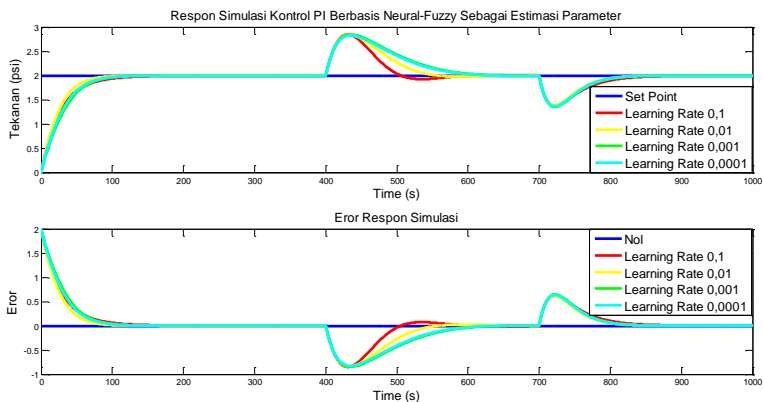
1. Kondisi pembeban nominal
 - a. Masukkan *plant* : 2 psi
 - b. Jumlah data yang diambil : 2000
 - c. Kondisi pembeban :
 - Katup terbuka : V1, V3, V4, V5
 - Katup tertutup : V2, V6
 - d. *Air receiver* : Digunakan
 - e. *Time sampling* : 0,2
 - f. Waktu pembebanan nominal detik ke : 0 – 400
2. Kondisi perubahan beban ke - 1
 - a. Masukkan *plant* : 2 psi
 - b. Jumlah data yang diambil : 1500
 - c. Kondisi pembeban :
 - Katup terbuka : V1, V3, V4
 - Katup tertutup : V2, V6, V5
 - d. Waktu perubahan beban detik ke : 400
3. Kondisi perubahan beban ke - 2
 - a. Masukkan *plant* : 2 psi
 - b. Jumlah data yang diambil : 1500
 - c. Kondisi pembeban :
 - Katup terbuka : V1, V3, V4, V5
 - Katup tertutup : V2, V6
 - d. Waktu perubahan beban detik ke : 700

Berikut adalah spesifikasi yang diharapkan dapat terjadi dari hasil respon *plant* :

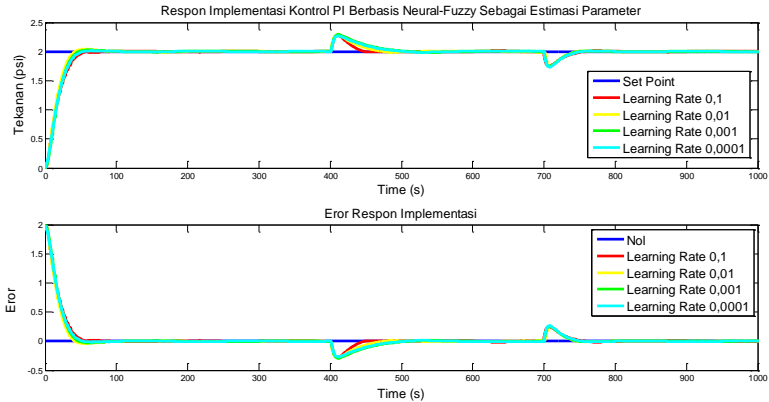
1. Kondisi pembebanan nominal
 - a. *Settling Time* (5 %) : 90 detik
 - b. *Rise Time* (10 % - 90 %) : 65.92 detik
 - c. *Overshoot* : < 5 %
 - d. *Error steady state* : mendekati 0

2. Kondisi perubahan beban
 - a. % *peak* : < 50 % dari *set point*
 - b. *Error steady state* : mendekati 0

Pada pengujian simulasi dan implementasi kontroler pada *plant* Rig 38-714 didapatkan respon *plant* saat kondisi pembebanan nominal dan kondisi perubahan beban dengan menggunakan struktur estimasi parameter *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate 0.1*, *learning rate 0.01*, *learning rate 0.001* dan *learning rate 0.0001*.



Gambar 4. 8 Respon simulasi dan hasil error respon simulasi dengan kontroler PI berbasis *neural-fuzzy* sebagai estimasi parameter



Gambar 4. 9 Respon implementasi dan hasil eror respon dengan kontroler PI berbasis *neural-fuzzy* sebagai estimasi parameter

Pada gambar 4.8 merupakan hasil respon simulasi menggunakan matlab dan gambar 4.9 merupakan hasil respon implementasi pada *plant* Rig 38-714. Dari gambar 4.8 dan gambar 4.9 dapat dianalisis kriteria kesalahan antara respon simulasi *plant* dengan respon implementasi *plant*. Kriteria kesalahan yang digunakan menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*) yang disesuaikan dengan persamaan 2.30.

Tabel 4. 4 Hasil kriteria kesalahan pengujian tiap *learning rate*

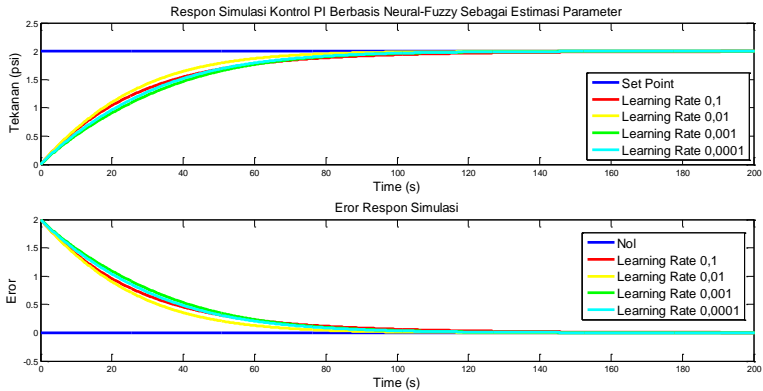
No	<i>Learning Rate</i>	RMSE
1	0,1	0.24139748
2	0,01	0.25578371
3	0,001	0.20057296
4	0,0001	0.19470690

Dari hasil tabel 4.4 didapatkan kriteria kesalahan terkecil dimiliki oleh *learning rate* 0.0001 dengan nilai 0.1947. Selain melihat hasil dari kriteria kesalahan, hasil pengujian akan dianalisis terhadap performansi respon yang didapatkan dari kondisi pengujian beban nominal, pengujian perubahan beban ke 1 dan perubahan beban ke 2.

4.3.1. Pengujian dan Analisis Pada Kondisi Beban Nominal

Pada pengujian kondisi beban nominal bertujuan untuk melihat performansi dari kontroler yang digunakan secara simulasi dan implementasi serta akan dilakukan analisis untuk mengetahui struktur *neural-fuzzy* yang digunakan pada *plant* Rig 38-714.

Sebelum dilakukannya proses implementasi, hasil rancangan kontroler perlu dilakukan proses simulasi yang bertujuan untuk mengetahui apakah kontroler yang digunakan sudah sesuai dengan respon yang diinginkan. Pada gambar 3.12 merupakan simulink untuk proses simulasi pengujian dengan menyesuaikan pengaturan awal yang telah ditentukan.



Gambar 4. 10 Respon simulasi dan hasil error respon pada kondisi beban nominal

Dari hasil respon simulasi pada kondisi beban nominal, didapatkan performansi respon sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Performansi respon simulasi pada kondisi beban nominal

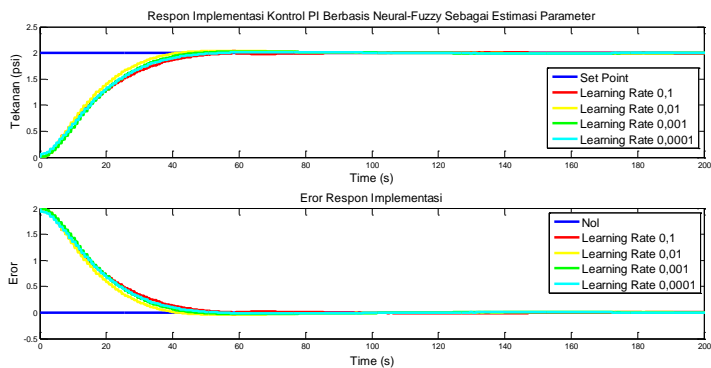
Spesifikasi	L = 0,1	L = 0,01	L = 0,001	L = 0,0001
t_s (5%)	84.8	64.8	79.4	76.6
t_r (10% – 90%)	60.6	48.6	60	57.5
<i>Overshoot</i>	0 %	0 %	0 %	0 %
E_{ss}	0 %	0 %	0 %	0 %

Pada gambar 4.10 dan tabel 4.5 merupakan hasil dari performansi respon simulasi yang didapatkan dengan membandingkan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1, 0.01, 0.001 dan 0.0001, serta menghasilkan respon yang tidak mengalami *overshoot* dan nilai *error steady state* sebesar 0.

Pada spesifikasi respon yang diinginkan, memiliki nilai *settling time* = 90 detik, *rise time* = 65.92 detik, *overshoot* = < 5 % dan *error steady state* mendekati 0. Dari data yang didapatkan pada tabel 4.5, didapatkan hasil pengujian simulasi yang mendekati dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1 serta memiliki nilai *settling time* = 84.8 detik, *rise time* = 60.6 detik, *error steady state* = 0 % dan *overshoot* = 0 %.

Pada proses simulasi untuk pengujian pada kondisi beban nominal, didapatkan kontroler bekerja dengan baik, dimana hasil respon simulasi mendekati dengan hasil respon yang diinginkan. Maka dari itu, tahap selanjutnya merupakan tahap pengujian implementasi pada *plant* Rig 38-714.

Pada gambar 4.11 merupakan hasil respon implementasi kondisi beban nominal pada *plant* Rig 38-714, dimana perbedaan seluruh nilai *learning rate* pada struktur *neural-fuzzy* sebagai estimasi parameter diujikan pada *plant* Rig 38-714.



Gambar 4. 11 Respon implementasi *plant* dan hasil error respon pada kondisi beban nominal

Dari hasil respon implementasi kondisi pembebanan nominal, didapatkan spesifikasi praktis sebagai berikut :

Tabel 4. 6 Performansi respon implementasi *plant* pada kondisi beban nominal

Spesifikasi	L = 0,1	L = 0,01	L = 0,001	L = 0,0001
t_s (5%)	42.81	34.25	37.94	40.12
t_r (10% – 90%)	31.45	25.28	27.9	29.6
<i>Overshoot</i>	1.75 %	2.1 %	1.45 %	0.9 %
E_{ss}	0.2 %	0.5 %	0.2 %	0.55 %

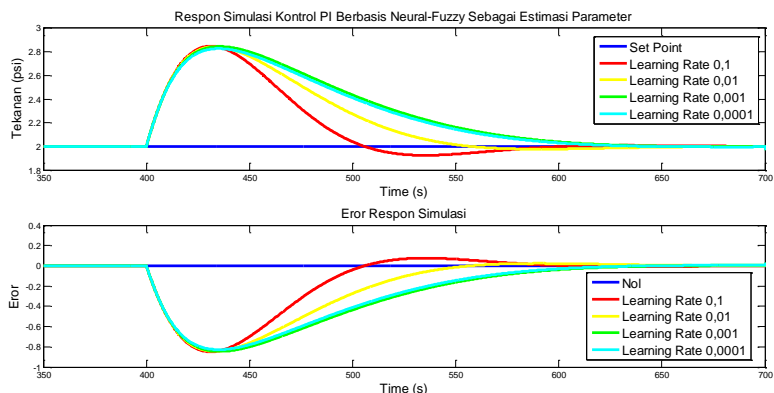
Hasil yang didapatkan setelah mengimplementasikan kontroler pada *plant* Rig 38-714, didapatkan hasil respon yang mengalami *overshoot* dan memiliki nilai *error steady state*, akan tetapi respon yang didapatkan masih dalam kondisi yang diinginkan dimana nilai *overshoot* = < 5 % dan nilai *error steady state* mendekati 0. Untuk nilai *overshoot* terkecil dimiliki oleh struktur *neural-fuzzy* dengan *learning rate* 0,0001 dan nilai *error steady state* terkecil dimiliki oleh struktur *neural-fuzzy* dengan *learning rate* 0.1 dan 0.001.

Dari hasil perancangan bab 3, spesifikasi respon yang diinginkan memiliki nilai *settling time* = 90 detik, *rise time* = 65.92 detik, *overshoot* = < 5 % dan *error steady state* mendekati 0. Dari data hasil implementasi pada tabel 4.6, respon implementasi yang mendekati dengan spesifikasi yang diinginkan yaitu respon dengan estimasi parameter menggunakan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0,1 serta memiliki nilai *settling time* = 42.81 detik, *rise time* = 31.45 detik, *error steady state* = 0.2 % dan *overshoot* = 1.75 %

4.3.2. Pengujian dan Analisis Pada Kondisi Perubahan Beban ke 1

Pada pengujian kondisi perubahan beban bertujuan untuk melihat performansi dari hasil kontroler ketika terjadi perubahan beban, dimana pengujian tersebut dilakukan secara simulasi dan implementasi. Hasil dari respon yang didapatkan akan dilakukan analisis untuk mengetahui performansi hasil respon yang didapatkan.

Pada pengujian perubahan beban ke 1, dilakukan dengan menutup katup V5 saat waktu detik ke 400 pada *plant* Rig 38-714, dan untuk pengujian menggunakan simulasi, pada gambar 3.12 (a) masukkan untuk nilai “load”, merupakan nilai konstant yaitu 1, dimana nilai tersebut merupakan selektor untuk mengubah kondisi fungsi alih ke beban minimum pada blok diagram *plant*.



Gambar 4. 12 Respon simulasi dan hasil error respon saat kondisi perubahan beban ke 1

Tabel 4. 7 Performansi respon simulasi saat perubahan beban ke-1

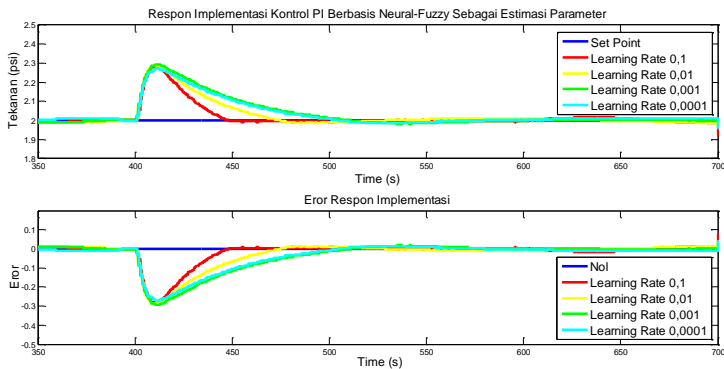
Spesifikasi	L = 0,1	L = 0,01	L = 0,001	L = 0,0001
% Peak	42.4 %	42.15 %	42.25 %	41.38 %
Recovery Time	93.2	126.2	169.2	164
E_{ss}	0 %	0 %	0 %	0 %

Pada gambar 4.12 dan tabel 4.7 merupakan hasil spesifikasi respon simulasi saat terjadinya perubahan beban dengan membandingkan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1, 0.01, 0.001 dan 0.0001, dimana hasil dari respon menghasilkan kondisi yang masih diinginkan yaitu % peak = < 50 % dari *set point* dan *error steady state* mendekati 0.

Dari data tabel 4.7 didapatkan respon dengan % *peak* terkecil dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.0001 dengan % *peak* sebesar 41.38 %. Untuk seluruh nilai *error steady state* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu eror mendekati 0. Sedangkan untuk *recovery time* tercepat dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1 dan membutuhkan waktu 93.2 detik dari terjadinya perubahan beban.

Dari tabel 4.9 didapatkan pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0,1 dan memiliki spesifikasi nilai % *peak* = 42.4 %, *recovery time* = 93.2 detik dan *error steady state* mendekati 0, yang merupakan hasil respon simulasi terbaik dalam kondisi pengujian perubahan beban karena seluruh pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, maka penentuan respon terbaik dilihat dari kondisi kembalinya respon keadaan *steady state*-nya.

Pada proses simulasi untuk pengujian pada kondisi beban nominal, didapatkan kontroler bekerja dengan baik pada setiap struktur *neural-fuzzy*, dimana hasil respon simulasi telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Maka dari itu, tahap selanjutnya merupakan tahap pengujian implementasi pada *plant* Rig 38-714.



Gambar 4. 13 Respon implementasi *plant* dan hasil eror respon saat kondisi perubahan beban ke-1

Dari hasil respon implementasi kontroler pada kondisi perubahan beban dengan menutup katup V5, menghasilkan performansi respon sebagai berikut :

Tabel 4. 8 Performansi respon implementasi *plant* terhadap perubahan beban ke-1

Spesifikasi	L = 0,1	L = 0,01	L = 0,001	L = 0,0001
% <i>Peak</i>	13.95	14.25	14.6 %	13.65
<i>Recovery Time</i>	30.4	41.6	55	51.6
E_{ss}	0.45 %	0.45 %	0.2 %	0.5 %

Pada gambar 4.13 dan tabel 4.8 merupakan hasil dari performansi respon implementasi saat terjadinya perubahan beban dengan membandingkan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1, 0.01, 0.001 dan 0.0001, dimana hasil dari respon menghasilkan kondisi yang masih diinginkan yaitu % *peak* = < 50 % dari *set point* dan *error steady state* mendekati 0.

Dari data tabel 4.8 didapatkan respon dengan % *peak* terkecil dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.0001 dengan % *peak* sebesar 13.65 %. Untuk nilai *error steady state* terkecil dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.001 yaitu sebesar 0.2 %. Sedangkan untuk *recovery time* tercepat dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1 dan membutuhkan waktu selama 30.4 detik dari terjadinya perubahan beban.

Dari tabel 4.8 didapatkan pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1 dan memiliki spesifikasi nilai % *peak* = 13.95 %, *recovery time* = 30.4 detik dan *error steady state* mendekati 0, yang merupakan hasil respon implementasi terbaik dalam kondisi pengujian perubahan beban karena seluruh pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, maka penentuan respon terbaik dilihat dari kondisi kembalinya respon keadaan *steady state*-nya.

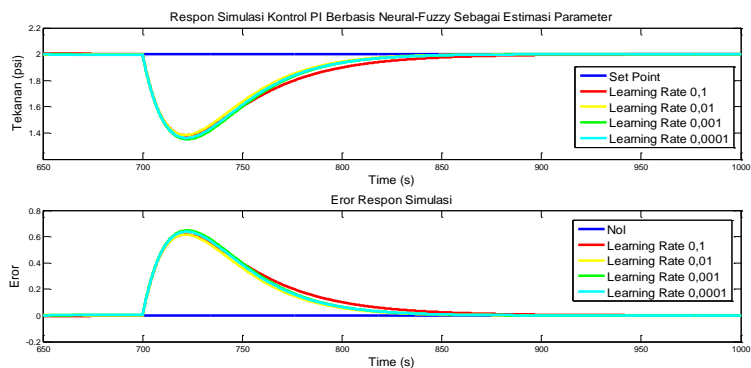
4.3.3. Pengujian dan Analisis Pada Kondisi Perubahan Beban ke 2

Pada pengujian kondisi perubahan beban bertujuan untuk melihat performansi dari hasil kontroler ketika terjadi perubahan beban, dimana pengujian tersebut dilakukan secara simulasi dan implementasi. Hasil dari

respon yang didapatkan akan dilakukan analisis untuk mengetahui performansi hasil respon yang didapatkan.

Pada hasil respon perubahan beban ke-1, tekanan yang dialami oleh sistem menaik, oleh karena itu pada tahap pengujian selanjutnya, akan dilakukan perubahan beban yang dapat menurunkan tekanan sistem.

Pada pengujian perubahan beban ke 2, dilakukan dengan membuka katup V5 saat detik ke 700 pada *plant* Rig 38-714, dan untuk pengujian menggunakan simulasi, pada gambar 3.12 (a), masukkan untuk nilai “load”, merupakan nilai konstant yaitu 2, dimana nilai tersebut merupakan selektor untuk mengubah kondisi fungsi alih ke beban nominal pada blok diagram *plant*.



Gambar 4. 14 Respon simulasi dan hasil error respon saat kondisi perubahan beban ke 2

Tabel 4. 9 Performansi respon simulasi saat perubahan beban ke-2

Spesifikasi	L = 0,1	L = 0,01	L = 0,001	L = 0,0001
% Peak	30.88 %	30.8 %	32.36 %	31.88 %
Recovery Time	100.6	86.2	89.6	88.8
E_{SS}	0 %	0 %	0 %	0 %

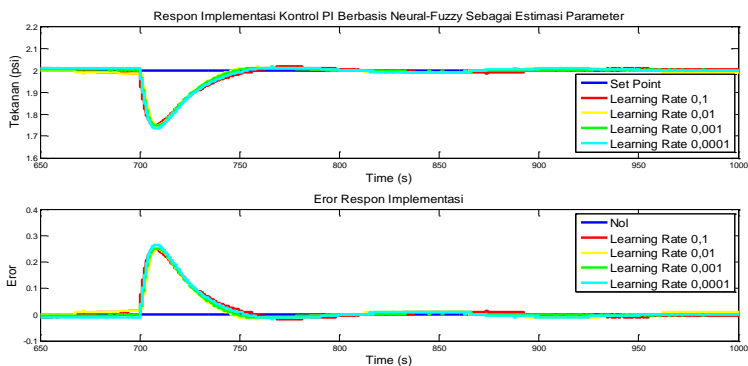
Pada gambar 4.14 dan tabel 4.9 merupakan hasil dari performansi respon simulasi saat terjadinya perubahan beban ke 2 dengan membandingkan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1,

0.01, 0.001 dan 0.0001, dimana hasil dari respon menghasilkan kondisi yang masih diinginkan yaitu $\% peak = < 50 \%$ dari *set point* dan *error steady state* mendekati 0.

Dari data tabel 4.9 didapatkan respon dengan $\% peak$ terkecil dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.01 dengan $\%peak$ sebesar 30.8 %. Untuk seluruh nilai *error steady state* telah mendekati spesifikasi yang diinginkan yaitu mendekati 0. Sedangkan untuk *recovery time* tercepat dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.01 dan membutuhkan waktu 86.2 detik dari terjadinya perubahan beban.

Dari tabel 4.9 didapatkan pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0,001 dan memiliki spesifikasi nilai $\% peak = 30.8 \%$, *recovery time* = 86.2 detik dan *error steady state* mendekati 0, yang merupakan hasil respon simulasi terbaik dalam kondisi pengujian perubahan beban karena seluruh pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, maka penentuan respon terbaik dilihat dari kondisi kembalinya respon keadaan *steady state*-nya.

Pada proses simulasi untuk pengujian pada kondisi perubahan beban ke-2, didapatkan kontroler bekerja dengan baik pada setiap struktur *neural-fuzzy*, dimana hasil respon simulasi telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Maka dari itu, tahap selanjutnya merupakan tahap pengujian implementasi pada *plant* Rig 38-714.



Gambar 4. 15 Respon implementasi *plant* dan hasil eror kesalahan saat kondisi perubahan beban ke-2

Dari hasil respon implementasi kontroler pada kondisi perubahan beban dengan membuka katup V5, menghasilkan performansi respon sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Performansi respon implementasi *plant* terhadap perubahan beban ke-2

Spesifikasi	L = 0,1	L = 0,01	L = 0,001	L = 0,0001
% <i>Peak</i>	12.3	12.55	12.55	13.25
<i>Recovery Time</i>	27.8	27.4	26.8	27.8
E_{ss}	0.2 %	0.45 %	0.05 %	0.05 %

Pada gambar 4.15 dan tabel 4.10 merupakan hasil dari spesifikasi respon implementasi saat terjadinya perubahan beban dengan membandingkan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1, 0.01, 0.001 dan 0.0001, dimana hasil dari respon menghasilkan kondisi yang masih diinginkan yaitu % *peak* = < 50 % dari *set point* dan *error steady state* mendekati 0.

Dari data tabel 4.10 didapatkan respon dengan % *peak* terkecil dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.1 dengan % *peak* sebesar 12.3 %. Untuk nilai *error steady state* terkecil dimiliki oleh struktur *neural-fuzzy* dengan *learning rate* 0,001 dan 0,0001 yaitu sebesar 0.05 %. Sedangkan untuk *recovery time* tercepat dimiliki oleh respon dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0.001 dan membutuhkan waktu selama 26.8 detik dari terjadinya perubahan beban.

Dari tabel 4.10 didapatkan pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* yang memiliki *learning rate* 0,001 dan memiliki nilai % *peak* = 12.55 %, *recovery time* = 26.8 detik dan *error steady state* mendekati 0, yang merupakan hasil respon implementasi terbaik dalam kondisi pengujian perubahan beban karena seluruh pengujian dengan struktur *neural-fuzzy* telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, maka penentuan respon terbaik dilihat dari kondisi kembalinya respon keadaan *steady state*-nya.

BAB 5

PENUTUP

Pada bagian ini mengulas mengenai hasil kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta mengulas mengenai kendala pada proses pengerjaan buku tugas akhir ini.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada proses simulasi data *testing* pada struktur *neural-fuzzy*, didapatkan respon identifikasi *plant* terbaik dimiliki oleh *learning rate 0.1* dengan hasil kriteria kesalahan RMSE sebesar 0.028378.
2. Hasil dari kriteria kesalahan antara respon simulasi dengan respon implementasi didapatkan struktur *neural-fuzzy* dengan *learning rate 0.0001* memiliki kriteria kesalahan RMSE terkecil yaitu 0.19471.
3. Pada kondisi pembebanan nominal, hasil respon simulasi yang mendekati spesifikasi yang diinginkan dimiliki oleh struktur *neural-fuzzy* dengan *learning rate 0.1* dan untuk hasil respon implementasi yang mendekati spesifikasi yang diinginkan dimiliki oleh struktur *neural-fuzzy* dengan *learning rate 0.1*.
4. Pada kondisi perubahan beban, hasil respon simulasi dan respon implementasi telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu % *peak* = < 50 % dari *set point* dan *error steady state* mendekati 0.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian tugas akhir ini, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya agar menjadi lebih baik, yaitu sebagai berikut :

1. Saat penggunaan *plant rig* 38-714 perlunya dilakukan kalibrasi setiap sensor serta pengaturan awal yang sesuai dengan diinginkan.
2. Perlunya memilah dan membaca dari berbagai referensi penggunaan struktur *neural-fuzzy*, dikarenakan banyaknya macam struktur *neural-fuzzy* yang ada.
3. Memahami seluruh penggunaan komponen pada plant Rig 38-714, sehingga dapat membantu dalam perancangan sistem
4. Memaksimalkan fungsi dari sensor yang ada untuk dapat merancang metode kontroler yang lebih baik.

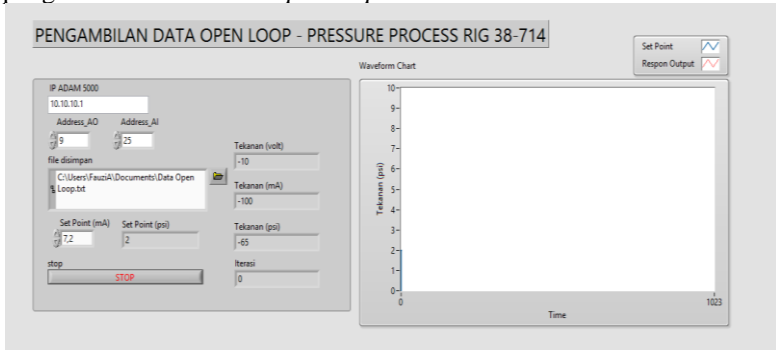
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ljung, Lennart. System Identification : Theory For The User Second Edition. New Jersey : Prentice Hall PTR, 1999.
- [2] Gunawan, Febry Angga. Analisis Perbandingan Estimasi Parameter Recursive Least Square (RLS) dan pendekatan Jaringan Syaraf Tiruan pada Self Tuning Regulator (STR) Untuk Pengaturan Tekanan Process Rig 38-714. Tugas Akhir Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [3] Franklin, Gene F, dkk. Digital Control of Dynamic Systems. Addison Wesley Longman, Inc, 1997.
- [4] K. J. Astrom dan B. Wittenmark, Adaptive Control Second Edition, New York: Dover Publications, Inc., 2008.
- [5] K. Ogata, Modern Control Engineering, Inc. Englewood Cliffs New Jersey: Prentice Hall, 1970.
- [6] Feedback Instrument Ltd, Pressure Control Trainer Instruction Manual, Crowborough : FI Ltd
- [7] Mansouri, M, dkk. A Hybrid Adaptive Neural-Fuzzy Tuned P.I. Controller Based Unidirectional Boost P.F.C. Converter Feeds B.L.D.C. Drive. 4th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference, Feb 13-14, 2013.
- [8] B.A. Ogunnaike and W. H. Ray, Process Dynamics, Modeling, Control, New York: Oxford University Press, Inc, 1994.
- [9] Iskandar, Eka. Diktat Kuliah Sistem Pengaturan Adaptif, Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.

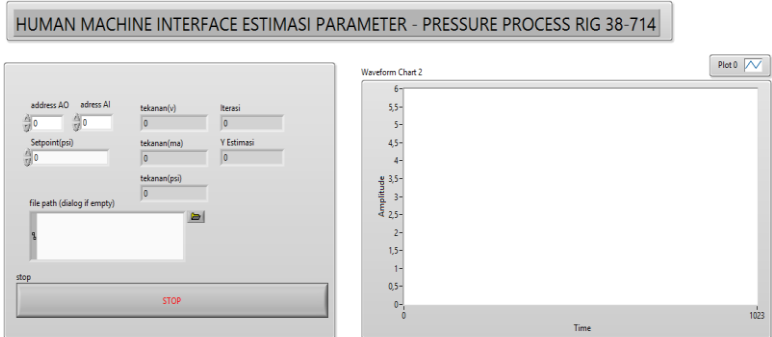
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN

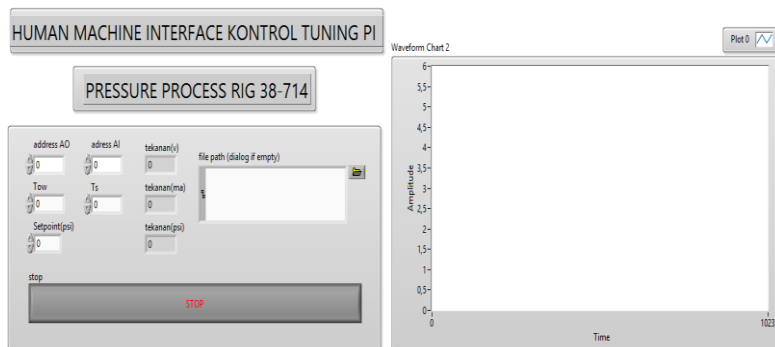
Lampiran 1. Tampilan *Human Machine Interface (HMI)* program pengambilan data sistem *open loop*



Lampiran 2. Tampilan *Human Machine Interface (HMI)* program untuk Estimasi Parameter



Lampiran 3. Tampilan *Human Machine Interface (HMI)* program untuk Kontrol PI berbasis *neural-fuzzy* sebagai estimasi parameter.



Lampiran 4. Program Estimasi Parameter Dengan Struktur *Neural-Fuzzy*

```
global tt ni ng aik bik wij xx uc
```

```
ni = 2; % Jumlah Input Yang Masuk
ng = 3; % Jumlah Himpunan Fuzzy Berbasis Fungsi
Gaussian
```

```
aik = [2;4;6];
bik = [2;2;2];
```

```
wij = [0.989287470804793,0.00226916379454126;
0.979272379887425,0.00400502810861100;
0.992955534586602,0.00218373053886867;
0.989013831869186,0.00290307924742604;
1.00355941712225,0.00124897904264325;
0.985969443183824,0.002998473744481151;
0.996484366078928,0.004341747666683621;
1.00358313009761,0.00187126806227650;
0.988921817221594,0.00249364409812574;];
```

```

xx(1) = yk;
xx(2) = uk;

for i = 1:ng
    o1(i) = exp(-((xx(1)-aik(i))/bik(i))^2);
    o2(i) = exp(-((xx(2)-aik(i))/bik(i))^2);
end

n = 1;
for i = 1:ng
    for j = 1:ng
        o3(n) = o1(i)*o2(j);
        n = n + 1;
    end
end

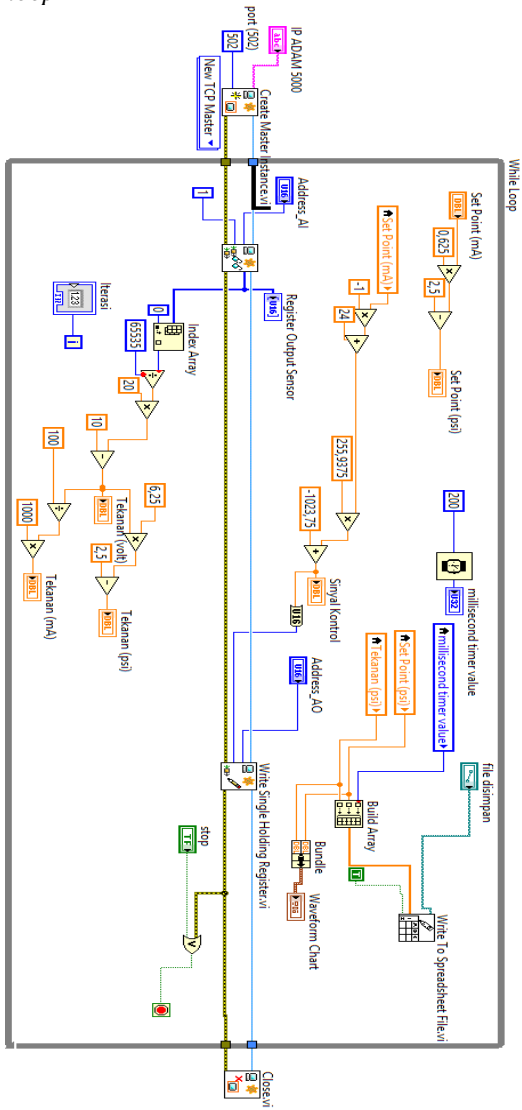
for j = 1:9
    o4(j) = o3(j)/sum(o3);
end

for i = 1:2
    for j = 1:9
        i5(j,i) = o4(j)*wij(j,i);
    end
end

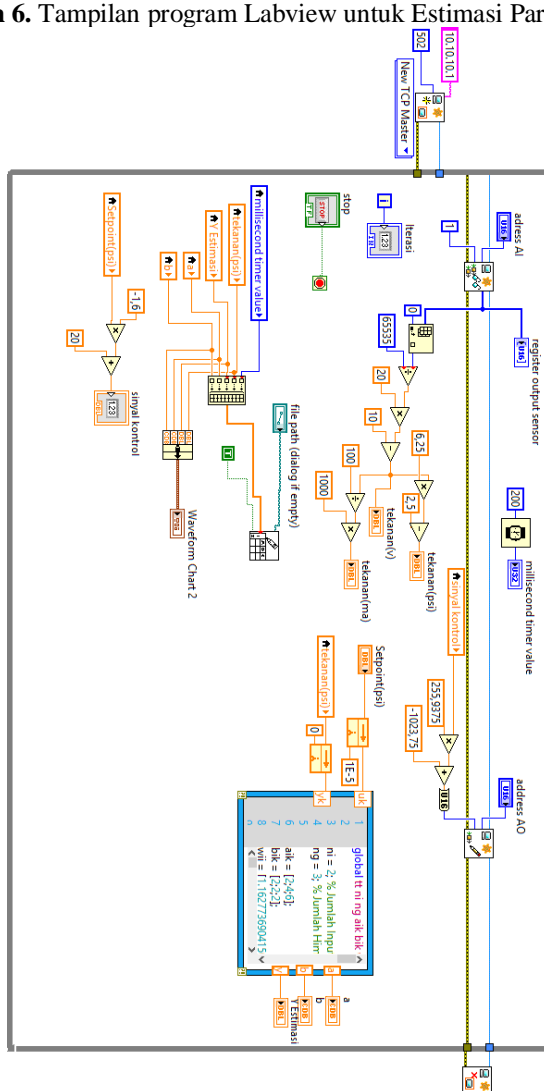
a = sum(i5(:,1))/sum(o4);
b = sum(i5(:,2))/sum(o4);
y = (yk*a)+(uk*b);

```

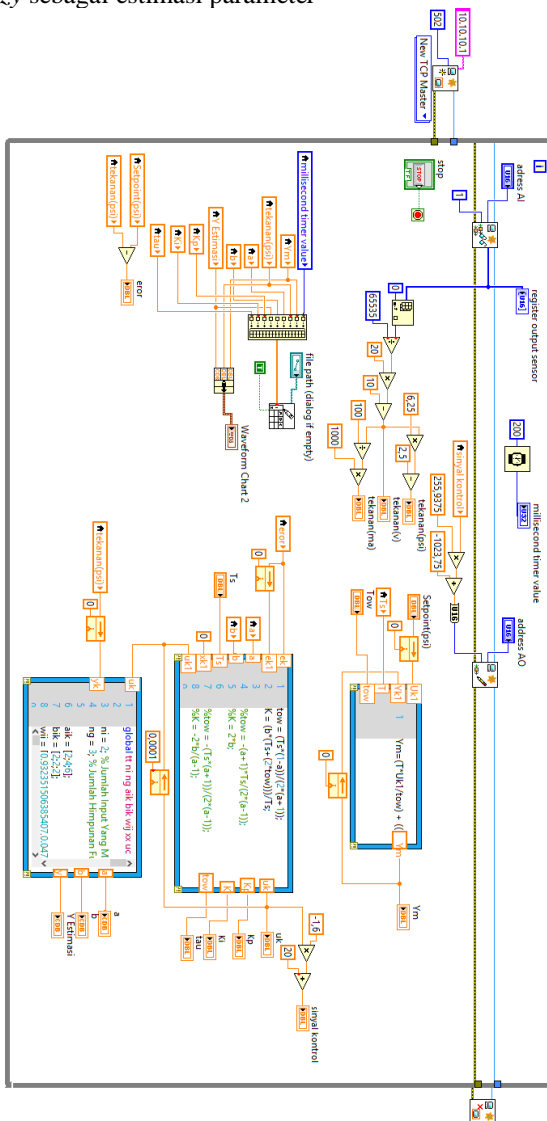
Lampiran 5. Tampilan program untuk Labview pengambilan data sistem *open loop*



Lampiran 6. Tampilan program Labview untuk Estimasi Parameter



Lampiran 7. Tampilan program Labview untuk Kontrol PI berbasis *neural-fuzzy* sebagai estimasi parameter



RIWAYAT HIDUP



Nama : Fauzi Agung Pambudi
TTL : Bandung, 03 Januari 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat Rumah : Jl. Kartika XV 15 AB no
12 BCP Kec. Jatinangor
Kab. Sumedang
Telp/HP : 085624799838
E-mail : fauziagungp97@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2002-2008 : SDN Abdi Negara
- 2008-2011 : SMPN 1 Rancaekek
- 2011-2014 : SMAN 24 Bandung
- 2014-2017 : Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika di Politeknik Manufaktur Bandung
- 2017-2019 : Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan di ITS
- 2018 (2 Bulan) : Pelatihan Artificial Intelligence program Digital Talent Scholarship Kominfo 2018

PENGALAMAN KERJA

- Magang di PT. CG Power System Indonesia (Maret – Desember 2015)
- Kerja Praktek di PT. Dirgantara Indonesia (1 bulan)
- Magang di PT. PLN ULP Porong (6 bulan)

[Halaman ini sengaja dikosongkan]