TUGAS AKHIR – EE 184801

PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714 DENGAN MENGGUNAKAN METODE SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER (STFPIC)

Muhammad Jabber
NRP 07111745000051

Dosen Pembimbing
Ir. Ali Fatoni, MT.
Eka Iskandar, S.T., M.T.

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

FINAL PROJECT – **EE 184801**

PRESSURE CONTROL FOR RIG 38-714 USING SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER (STFPIC) METHOD

Muhammad Jabber
NRP 07111745000051

Supervisor
Ir. Ali Fatoni, MT.
Eka Iskandar, S.T., M.T.

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

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan **judul "Pengaturan Tekanan pada Rig 38-714 dengan Menggunakan Metode *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC)"** adalah benar-benar 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

Muhammad Jabber
NRP 07111745000051

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PENGATURAN TEKANAN PADA RIG-38-714 DENGAN MENGGUNAKAN METODE SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER (STFPIC)

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna 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	Dosen Pembimbing II
Ir. Ali Fatoni, MT.	Eka Iskandar, ST., MT.
NIP. 196206031989031002	NIP.19800528 2008121001

SURABAYA
JUNI, 2019

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714 DENGAN MENGGUNAKAN METODE SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER (STFPIC)

Nama	: Muhammad Jabber
Pembimbing 1	: Ir. Ali Fatoni, MT.
Pembimbing 2	: Eka Iskandar, ST., MT

ABSTRAK

Udara bertekanan merupakan salah satu variabel yang dikendalikan pada suatu industri proses. Namun variabel tekanan di industri sering mengalami perubahan beban, sehingga menyebabkan karakteristik dari sistem yang dikendalikan berubah-ubah. Dalam kasus ini, skema kontroler konvensional kurang mampu untuk mengatasi permasalahan perubahan beban. *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC) merupakan salah satu skema sistem pengaturan cerdas yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan perubahan beban. Pada penelitian ini, implementasi STFPIC dilakukan pada peralatan laboratorium *Pressure Process Rig* 38-714 dengan dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya penentuan *gain error*, *gain delta error*, dan *gain output*.
Hasil pengujian menunjukkan, ketika kondisi beban nominal dan kondisi adanya perubahan beban, STFPIC dengan parameter *gain error* = 0,33, *gain delta error* = 50, dan *gain output* = 0,05 memiliki performa yang paling mendekati spesifikasi yang direncanakan yaitu dengan hasil nilai *error steady state* = 0,13 %, nilai *overshoot* = 0 % dan *settling time* = 80,94 detik. Ketika terjadi kondisi perubahan beban, nilai *error steady state* = 0,56 %, nilai perubahan tekanan = 45,33 % dan *time recovery* selama 209 detik.

Kata kunci : Sistem Pengaturan Proses, Kontroler Logika Fuzzy, Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC), *Pressure Process Rig 38-714*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

PRESSURE CONTROL FOR RIG 38-714 USING SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER (STFPIC) METHOD

Name	: Muhammad Jabber
Supervisor 1	: Ir. Ali Fatoni, MT
Supervisor 2	: Eka Iskandar, ST., MT

ABSTRACT

Air pressure is one of the variables controlled in an industrial process. However, pressure variables in the industry often occurs changing of load, this can make a changes to the characteristic of controlled system. Conventional controllers scheme are less able to overcome the problem of load changes. Self-Tuning Fuzzy PI Controller (STFPIC) is one of intelligent control system scheme that can be used to solve load change problems. In this research, the implementation STFPIC performed on Pressure Process Rig 38-714 to be influenced by several parameters such as the determination of the gain error, gain delta error, and gain output. The test results show, when the nominal load conditions and load change condition, STFPIC with the parameters gain error = 0.33, gain delta error = 50, and gain output = 0.05 has the closest performance to the desired specifications with the results of error steady state value = 0.13%, the value of % overshoot = 0% and settling time = 80,94 seconds. When there is a load change condition, error steady state value = 0.56%, the pressure change value = 45,33% and time recovery = 209 seconds..

Keywords **:** *Process Control System, Fuzzy Logic Controller, Self-Tuning Fuzzy PI Controller (STFPIC), Pressure Process Rig 38-714*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang merupakan persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan judul:

PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714 DENGAN MENGGUNAKAN METODE SELF-TUNING FUZZY PI CONTROLLER (STFPIC)

Dengan penyusunan Tugas Akhir ini penyusun tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak – pihak yang telah membantu. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberi rahmat-Nya dalam pembuatan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan penuh serta teladan bagi penulis.
3. Bapak Ir. Ali Fatoni, MT dan Bapak Eka Iskandar, ST., MT selaku Dosen Pembimbing dan, yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam pembuatan tugas akhir ini.
4. Teman-teman mahasiswa Lintas Jalur angkatan 2017 atas semangat dan kerjasamanya.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri maupun bagi penelitian selanjutnya.

Surabaya, Juni 2019

Muhammad Jabber
NRP 07111745000051

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR ISI

HALAMAN

LAMAN 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 ..... **xxi**
BAB 1 PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Permasalahan 2
1.3. Tujuan 2
1.4. Batasan Masalah 2
1.5. Metodologi 3
1.6. Sistematika 3
1.7. Relevansi atau Manfaat 4
BAB 2 TEORI PENUNJANG **5**
2.1. Sistem Pengaturan Proses [3] 5
2.2. *Pressure Process* Rig 38-714 [4] 5
2.3. Identifikasi Sistem [5] 10
2.4. Logika Fuzzy [6] 14
2.4.1. Himpunan Fuzzy 14
2.4.2. Fungsi Keanggotaan 14
2.4.3. Fuzzifikasi 15
2.4.4. Sistem Inferensi Fuzzy 16
2.4.5. Defuzzifikasi 17
2.5. Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) [7] 17
2.6. Kriteria Kesalahan 19
2.6.1. *Integral of Absolute Error* (IAE) 19
2.6.2. *Integral of Square Error* (ISE) 20
2.6.3. *Integral of Time Multiplied Absolute Error* (ITAE) 20
2.6.4. *Root Mean Square Error* (RMSE) 20
BAB 3 PERANCANGAN SISTEM **21**
3.1. Perancangan Arsitektur Sistem 21

3.1.1. Komputer 21
3.1.2. Konfigurasi *Plant* 22
3.1.3. Jaringan Ethernet 24
3.1.4. Konfigurasi ADAM 5000L/TCP 24
3.2. Identifikasi Sistem *Open Loop* 27
3.2.1. Identifikasi Statis Sistem *Open Loop* 28
3.2.2. Formulasi Model Sistem 29
3.2.3. Validasi Model 31
3.3. Perancangan Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) 31
3.3.1. Fungsi Keanggotaan 33
3.3.2. Basis Aturan 34
3.3.3. *Gain Scalling Factor* 36
3.3.4. Titik Kerja (*Operating Point*) 36
3.4. Perancangan Simulasi Kontroler (STFPIC) 37
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA 43
4.1. Pengujian Simulasi Kondisi Beban Nominal 43
4.2. Pengujian Simulasi Kondisi Perubahan Beban 49
4.3. Pengujian Kondisi Beban Nominal 55
4.4. Pengujian Kondisi Perubahan Beban 60
BAB 5 PENUTUP 67
5.1. Kesimpulan 67
5.2. Saran 68
DAFTAR PUSTAKA 69
LAMPIRAN 71
RIWAYAT HIDUP 85

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1 *Pressure Process* Rig 38-714 6
Gambar 2.2 (a) *Pneumatic Control Valve* (b) I/P *Converter* 7
Gambar 2.3 (a) *Pressure* Sensor (b) *Pressure Transmitter* 7
Gambar 2.4 Katup Manual 8
Gambar 2.5 Katup Penampungan 8
Gambar 2.6 *Gauge Pressure* 9
Gambar 2.7 Regulator Manual 9
Gambar 2.8 *Process Interface* 38-200 10
Gambar 2.9 Proses identifikasi *offline* 10
Gambar 2.10 Respon sistem orde satu *zero offset* 11
Gambar 2.11 Respon sistem orde satu *non zero offset* 12
Gambar 2.12 Respon *transient* dan respon *steady state* sistem orde satu 12
Gambar 2.13 Struktur fungsi keanggotaan fuzzy 15
Gambar 2.14 Blok Diagram Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) 18
Gambar 2.15 Blok Diagram Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) 18

Gambar 3.1 Arsitektur Sistem 21
Gambar 3.2 Konfigurasi pengkabelan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 23
Gambar 3.3 *Windows Software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 25
Gambar 3.4 *Window Software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 dengan pilihan modul analog *input* dan modul analog *output* 26
Gambar 3.5 *Window Software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 untuk penyetelan modul analog *input* dan kanal yang digunakan 26
Gambar 3.6 *Window Software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 untuk penyetelan modul analog *output* dan kanal yang digunakan 27
Gambar 3.7 Skema identifikasi sistem 28

Gambar 3.8 Grafik respon *open loop plant* kondisi beban nominal *Pressure Process* Rig 38-714 29
Gambar 3.9 Perbandingan respon plant dengan respon model pada kondisi beban nominal 32
Gambar 3.10 Perbandingan respon plant dengan respon model pada kondisi beban minimal 32
Gambar 3.11 Fungsi keanggotaan masukan sinyal *error* 33
Gambar 3.12 Fungsi keanggotaan masukan sinyal *delta error* 34
Gambar 3.13 Fungsi keanggotaan sinyal kontrol ($\Delta \boldsymbol{u}$) 34
Gambar 3.14 Fungsi keanggotaan keluaran *gain updating factor* ($\boldsymbol{\alpha}$) 34
Gambar 3.15 Blok diagram simulasi pengaturan *plant Pressure Process* Rig 38-74 37
Gambar 3.16 Blok diagram simulasi kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) 38
Gambar 3.17 Blok diagram fungsi alih *plant* Rig 38-714 38

Gambar 4.1 Diagram blok simulasi sistem pengaturan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 pada kondisi beban nominal 44
Gambar 4.2 Respon simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* 45
Gambar 4.3 Respon simulasi sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain delta error* 46
Gambar 4.4 Respon simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* 47
Gambar 4.5 Respon simulasi sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain output* 48
Gambar 4.6 Diagram blok simulasi sistem pengaturan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 pada kondisi perubahan beban 49
Gambar 4.7 Respon simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban 51
Gambar 4.8 Respon simulasi sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban 52
Gambar 4.9 Respon simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban 53

Gambar 4.10 Respon simulasi sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban 54
Gambar 4.11 Respon kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* 56
Gambar 4.12 Respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain delta error* 57
Gambar 4.13 Respon kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* 58
Gambar 4.14 Respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain output* 59
Gambar 4.15 Respon kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban 61
Gambar 4.16 Respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban 62
Gambar 4.17 Respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban 63
Gambar 4.18 Grafik perubahan *gain updating factor* pada kondsi adanya perubahan beban dengan variasi *gain output*... 64

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 3.1 ADAM 5000L/TCP AI/AO 24
Tabel 3.2 Data hasil identifikasi *plant Pressure Process* Rig 38-714 31
Tabel 3.3 Basis aturan untuk menghitung sinyal kontrol (Δu) 35
Tabel 3.4 Basis aturan untuk menghitung *gain updating factor* (α)35
Tabel 3.5 Parameter kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) 36
Tabel 3.6 Fungsi alih ketika kondisi beban nominal dan beban minimal..... 39
Tabel 3.7 Fungsi alih ketika kondisi beban nominal dan beban minimal..... 41

Tabel 4.1 Performa simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* 45
Tabel 4.2 Performa simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* 47
Tabel 4.3 Performa simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban 51
Tabel 4.4 Performa simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban 53
Tabel 4.5 Performa kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error*..... 56
Tabel 4.6 Performa kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output*..... 58
Tabel 4.7 Performa kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban . 61
Tabel 4.8 Performa kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban 63

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem pengendalian proses merupakan salah satu hal yang tidak bisa lepas dari dunia industri. Peran pengendalian proses sendiri pada dasarnya adalah usaha untuk mencapai tujuan dari proses agar berjalan sesuai dengan yang diinginkan. Pengendalian proses merupakan bagian dari pengendalian automatik yang diterapkan di bidang teknologi untuk menjaga kondisi operasi agar berjalan sesuai dengan yang diinginkan mulai dari mengatasi terjadinya gangguan, menstabilkan proses, sampai dengan mengoptimalkan kondisi proses. Maka dari itu penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi dibutuhkan untuk tetap bisa bertahan dipersaingan industri di era ini.

Pada sistem pengendalian proses terdapat beberapa variabel yang dimonitor dan dikendalikan yaitu *temperature*, *level*, *flow*, dan *pressure*. Salah satu variabel yang terdapat pada industri proses adalah udara bertekanan rendah. Udara bertekanan rendah disini menggunakan pneumatik. Pneumatik adalah tekanan udara atau gas lain terkompresi yang digunakan untuk melakukan suatu pekerjaan atau digunakan untuk mengirimkan sinyal dalam sistem kontrol pneumatik[1]. Udara bertekanan rendah diperoleh dari pompa udara tipe Vane dengan tekanan sebesar 1 sampai 10 psi ke sistem pneumatik. Alasan pemakaian udara bertekanan secara luas karena memiliki beberapa keunggulan antara lain tahan terhadap ledakan, bersih, dan perawatan yang mudah. Namun sistem udara bertekanan juga memiliki kelemahan antara lain menimbulkan gangguan suara yang bising dan mudah terjadi kebocoran.

Salah satu penggunaan variabel udara bertekanan di industri terdapat pada industri *feeding*. Pada industri *feeding*, udara bertekanan menjadi pilihan karena industri *feeding* harus memenuhi standar kebersihan yang sudah ditetapkan. Setiap variabel ini saling berhubungan, perubahan salah satu variabel dapat memberikan pengaruh terhadap variabel yang lain sehingga menyebabkan sistem pengendalian proses ini menjadi lebih rumit dan kompleks. Salah satu yang sering terjadi adalah adanya perubahan beban pada suatu *plant* setiap waktu sehingga menyebabkan perubahan karakteristik dari *plant*. Pengaturan adaptif dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi hal tersebut.

Dalam jurnal[2], skema *Self-Tuning Fuzzy Logic Controller* digunakan untuk melakukan penskalaan *gain scalling factor output* secara *on-line* menggunakan aturan fuzzy sesuai dengan kondisi dari proses yang dikendalikan. *Self-Tuning Fuzzy Logic Control* yang digunakan adalah tipe PI dimana penggunaan kontroler PI atau PID gagal memberikan kinerja yang baik karena masih adanya *overshoot* yang terlalu besar pada sistem yang dikendalikan. Performa *Self-Tuning Fuzzy Logic Control* yang diusulkan dibandingkan dengan *Fuzzy Logic Control* terkait dengan ukuran kinerja seperti *peak overshoot*, *settling time*, *rise time*, *integral absolute error* (IAE) dan *integral of time multiplied absolute error* (ITAE). Selain itu adanya perbuhan masukan dan perubahan beban setiap waktu, skema *Self-Tuning Fuzzy Logic Control* menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada skema *Fuzzy Logic Control*. Pada tugas akhir ini yang akan dikerjakan adalah, perancangan skema *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC) pada *plant* PROCON *Pressure Process* Rig 38-714 untuk melihat kinerja dari kontroler terhadap perubahan beban setiap waktu.

1.2. Permasalahan

Adanya faktor gangguan dan perubahan variasi beban terhadap waktu menyebabkan perubahan dalam proses sehingga karakteristik dari *plant* dapat berubah-ubah. Hal ini dapat menyebabkan masalah terhadap performansi dari sistem dan perancangan desain kontroler konvensional tidak cukup untuk mengatasi adanya kondisi perubahan beban pada *plant Pressure Process* Rig 38-714.

1.3. Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah analisis kemampuan kontroler dengan menggunakan metode *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC) untuk mengatasi adanya kondisi perubahan beban pada *plant Pressure Process* Rig 38-714.

1.4. Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini fokus terhadap analisa penggunaan metode *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC) pada sistem pengaturan tekanan yang mengalami perubahan karakteristik akibat adanya perubahan beban. *Plant* yang digunakan adalah *Pressure Process* Rig 38-714 produksi *Feedback* Inc. Implementasi perancangan kontroler menggunakan *software* LabVIEW 2016 produksi National Instrument

dan untuk perangkat keras ADC/DAC (*Analog to Digital Converter / Digital to Analog Converter*) untuk kontroler menggunakan Advantech ADAM 5000L/TCP.

1.5. Metodologi

Pada Tugas Akhir ini tahap pertama yang dilakukan adalah pengambilan data mulai dari masukan dan keluaran aliran udara pada PROCON *Pressure Process* Rig 38-714. Pengambilan data dilakukan secara open loop. Tahap yang kedua adalah proses identifikasi *plant*. Hasil dari pengambilan data *open loop* tersebut digunakan untuk proses identifikasi *plant*. Proses identifikasi *plant* dilakukan dengan menggunakan metode identifikasi statis. Setelah proses identifikasi sistem selesai dilakukan maka akan didapatkan fungsi alih dari *plant Pressure Process* Rig 38-714. Tahap yang ketiga adalah desain kontroler. Metode kontrol yang digunakan adalah metode kontrol cerdas yaitu *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC) untuk mengatasi adanya perubahan beban pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 yang menyebabkan karakterisitk dari *plant* berubah. Perubahan beban dilakukan dengan membuka katup manual yang terdapat pada *plant Pressure Process* Rig 38-714. Tahap yang keempat adalah pengujian dan analisa. Pada tahap pengujian dilakukan simulasi menggunakan MATLAB untuk melihat performansi dari kontroler ketika terjadinya perubahan variasi beban pada *plant*. Setelah proses simulasi selesai, dilakukan implementasi pada *plant*. Dari hasil implementasi tersebut kemudian dilakukan validasi terhadap kemampuan kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC) menggunakan kriteria kesalahan *integral of time multiplied absolute error* (ITAE) dan *integral absolute error* (IAE). Setelah proses pengujian dan analisa selesai, tahap yang terakhir adalah penyusunan laporan terkait hasil proses Tugas Akhir yang telah dilakukan. Penyusunan buku Tugas Akhir dilakukan sebagai bentuk laporan tertulis dari proses dan hasil kerja terkait topik yang diusulkan.

1.6. Sistematika

Penulisan Tugas Akhir ini disusun berdasarkan lima bab yang tiap bagiannya membahas permasalahan yang berhubungan dengan Tugas Akhir.

Bab I : Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan, sistematika laporan, serta relevansi tugas akhir yang dibuat.

Bab II : Teori Penunjang

Bab ini menjelaskan tentang teori-teori yang dapat dijadikan landasan dasar untuk mendukung proses perencanaan, diantaranya adalah teori sistem pengaturan tekanan, teori mengenai *plant Pressure Process* Rig 38-714 serta peralatan pendukungnya, dan teori untuk perancangan *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC).

Bab III : Perancangan Sistem

Bab ini membahas tentang perancangan sistem yang akan dibuat, mulai dari proses pengambilan data dari *plant Pressure Process* Rig 38-714, pemodelan *plant*, perancangan *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC) dan skema pengaturan *direct digital control* (DDC) yang digunakan untuk mengendalikan tekanan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714.

Bab IV : Pengujian dan Analisa

Bab ini membahas tentang pengujian dari sistem yang telah dirancang dan menganalisa hasil dari data yang telah didapat dari hasil pengujian proses pengaturan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 menggunakan metode *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC).

Bab V : Penutup

Bab ini membahas tentang kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian dan analisa pada tugas akhir ini dan saran-saran mengenai hasil pengerjaan tugas akhir yang telah dilakukan.

1.7. Relevansi atau Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk perkembangan sistem pengaturan proses tekanan diindustri untuk permasalahan perubahan variasi beban tiap waktu yang diaplikasikan pada alat laboratorium *Pressure Process* Rig 38-714.

BAB 2
TEORI PENUNJANG

Bab ini berisi tentang dasar teori yang digunakan sebagai acuan dalam mengerjakan Tugas Akhir. Teori yang digunakan meliputi Sistem Pengaturan Proses, pengenalan *plant Pressure Process* Rig 38-714, metode identifikasi, logika fuzzy, kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI*, dan kriteria kesalahan.

2.1. Sistem Pengaturan Proses [3]

Di era modern ini perkembangan dalam bidang industri proses mengalami kemajuan yang pesat dan tingkat kompleksitas yang semakin tinggi sehingga dibutuhkan pemahaman yang baik mengenai sistem pengaturan proses. Sistem pengaturan proses adalah pengaturan satu atau beberapa variabel sehingga berada pada suatu harga tertentu sesuai yang diinginkan.

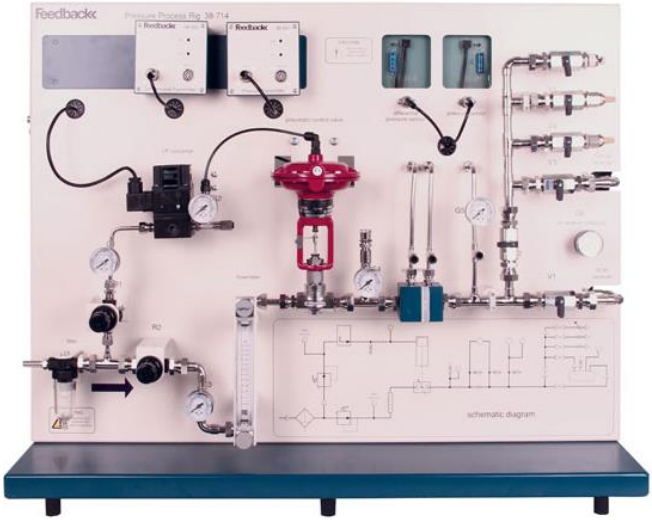
Pada umumnya, besaran-besaran yang terdapat di industri yang akan dikendalikan seperti tekanan (*pressure*), laju aliran (*flow*), temperatur (*temperature*), dan ketinggian suatu zat cair (*level*). Ketika salah satu besaran tersebut berubah maka dapat mempengaruhi besaran-besaran yang lain. Kriteria yang dapat digunakan untuk mengukur performansi dari sistem pengaturan proses antara lain dengan waktu naik (t_r), waktu puncak (t_p), *settling time* (t_s), *maximum overshoot* (% M_p), dan *steady state error* (% e_{ss}).

Pengaturan proses menjadi sangat penting di industri, karena hal tersebut menentukan seberapa baik kinerja dari sebuah *plant* saat berpoperasi. Pemilihan jenis pengaturan yang tepat akan membuat *plant* beroperasi secara efisien dan optimal. Seiring dengan berkembangnya teknologi di bidang sistem pengaturan, industri mengalami transisi dan peningkatan di sisi produksi. Proses produksi yang awalnya sebagian besar dikerjakan secara manual sekarang sudah mampu dikerjakan secara otomatis. Perubahan ini menghasilkan jumlah produksi yang lebih banyak dan kualitas produksi yang lebih baik.

2.2. *Pressure Process* Rig 38-714 [4]

Pressure Process Rig 38-714 merupakan peralatan laboratorium atau trainer yang digunakan sebagai media pembelajaran untuk menunjukkan prinsip kerja dari proses pengukuran dan kontrol tekanan

yang ada di industri. Pada Gambar 2.1 merupakan peralatan *Pressure Process* Rig 38-714.



Gambar 2.1 *Pressure Process* Rig 38-714

Pada *trainer Pressure Process* Rig 38-714 terdapat peralatan seperti *pneumatic control valve*, *orifice block*, dan *pressure tapping* yang terhubung pada saluran pipa udara. Peralatan pendukung yang digunakan untuk pengoperasian *Pressure Process* Rig 38-714 yaitu I/P (*current to pressure*) *converter* yang mengubah sinyal listrik 4-20 mA dan mengubahnya menjadi sinyal pneumatik sebesar 3-15 psi. Pengoperasian *Pressure Process* Rig 38-714 memerlukan beberapa perlatan pendukung seperti *Compressor*, *Process Interface* 38-200, *Pressure Transmitter* 38-416 dan *Digital Display Module* 38-490. Berikut ini merupakan komponen-komponen penyusun dari sistem *Pressure Process* Rig 38-714.

a. *Pneumatic Control Valve*

   Pneumatic Control Valve dikendalikan oleh I/P (*current to pneumatic*) *converter* yang mengubah sinyal listrik 4-20 mA dan menjadi sinyal pneumatik 3-15 psi. *Pneumatic control valve* ini

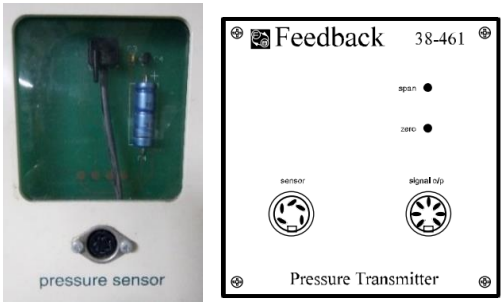
jika diberikan tekanan maksimum maka *control valve* akan menutup maksimum. Berikut ini merupakan Gambar 2.2(a) *pneumatic control valve* dan (b) I/P *converter*.

(a) (b)

Gambar 2.2 (a) *Pneumatic Control Valve* (b) I/P *Converter*

b. *Pressure Sensor*

Elemen pengukur yang digunakan pada peralatan *Pressure Process* Rig 38-714 adalah *pressure* sensor. Sensor tekanan berfungsi untuk mengukur tekanan udara pada proses. Pressure sensor ini juga dilengkapi dengan modul *Pressure transmitter* 38-462. *Pressure transmitter* ini mengubah sinyal pengukuran sensor menjadi sinyal listrik 4-20 mA. Berikut ini merupakan Gambar 2.3(a) *Pressure* sensor dan Gambar 2.3(b) *Pressure transmitter*.

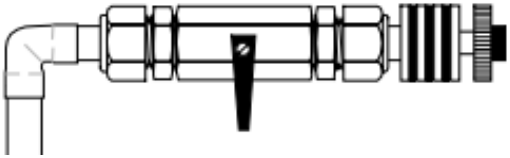


(a) (b)

Gambar 2.3 (a) *Pressure* Sensor (b) *Pressure Transmitter*

c. Katup Manual

Pada *Pressure Process* Rig 38-714 terdapat 6 katup manual. V1, V2, dan V3 digunakan untuk proses yang menggunakan air receiver, sedangkan V4, V5, dan V6 digunakan untuk variasi beban (gangguan). Berikut ini merupakan Gambar 2.4 Katup Manual.



Gambar 2.4 Katup Manual

d. Tangki Penampungan

Tangki penampungan digunakan untuk menjaga kestabilan dan mendistribusikan aliran udara dari susunan buka tutup katup manual. Untuk menggunakan tangki penampungan ini maka katup manual V1 dan V3 dibuka. Dengan mengunakan tangki penampungan ini maka respon akan menjadi lebih lambat. Gambar 2.5 merupakan tangki penampungan.

Gambar 2.5 Tangki Penampungan

e. *Gauge Pressure*

Gauge pressure adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan fluida (gas atau cairan) dalam tabung tertutup. Satuan dalam alat ukur ini berupa psi (*pound per square inch*) atau bar. Prinsip kerja dari *gauge pressure* yang menggunakan tabung

bourdon yang berbentuk C atau spiral atau berbentuk *coil*. Saat terdapat tekanan tabung bourdon akan mengembang dan menyebabkan pergerakan pada tip. Adanya perubahan pada tip menyebabkan jarum bergerak secara rotasi yang menunjukkan tekanan yang terukur saat ini. Gambar 2.6 merupakan alat ukur gauge *pressure*.

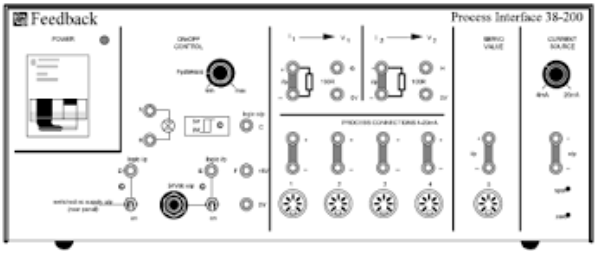
Gambar 2.6 *Gauge Pressure*

f. Regulator

Regulator merupakan pengatur bukaan saluran udara untuk membatasi tekanan udara yang akan melawati saluran tertentu yang diatur secara manual dengan memutarnya. Pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 terdapat dua regulator. Regulator yang pertama diatur sebesar 25 psi untuk menggerakan *pneumatic control valve* sedangkan pada regulator yang kedua diatur sebesar 10 psi untuk masuk kedalam proses yang nantinya akan dikendalikan. Gambar 2.7 merupakan manual regulator yang digunakan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714.

Gambar 2.7 Regulator Manual

g. *Process Interface* 38-200
Process Interface 38-200 menyediakan 4 terminal *input* dan 1 terminal *output*. *Process interface* 38-200 juga menyediakan sumber arus 4-20 mA dan 2 terminal pengkondisian sinyal dari arus ke tegangan dengan resistor 100 ohm. Berikut ini Gambar 2.8 *Process Interface* 38-200.



Gambar 2.8 *Process Interface* 38-200

2.3. Identifikasi Sistem [5]

Identifikasi sistem merupakan proses untuk mendapatkan nilai parameter dan model dari suatu sistem yang akan dikendalikan. Model sistem sangat penting agar dapat menentukan jenis kontroler yang tepat untuk digunakan. Berdasarkan proses pengukuran, proses identifikasi parameter dibedakan menjadi dua yaitu proses *offline* dan proses *online*. Proses *offline* merupakan proses identifikasi yang dilakukan dengan memberikan sinyal masukan pada sistem ketika *open loop* dan melakukan pengukuran pada keluarannya. Gambar 2.9 merupakan proses identifikasi *offline*.

Gambar 2.9 Proses identifikasi *offline*

Proses identifikasi *offline* dibagi menjadi dua metode yaitu identifikasi statis dan identifikasi dinamis. Identifikasi statis menggunakan metode pendekatan respon waktu dengan memberikan sinyal uji berupa sinyal step, sinus, dan impuls dengan waktu terbatas untuk mendapatkan parameter dari sistem. Pada proses identifikasi statis

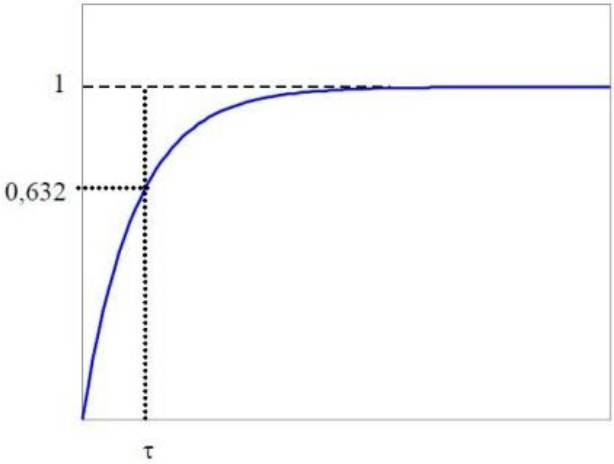
ini, sistem didekati dengan persamaan sistem orde satu. Persamaan sistem orde satu ditunjukkan pada persamaan (2.1).

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \qquad (2.1)$$

Dimana,
K = *gain overall*
τ = konstanta waktu

Karakterisitik sistem orde satu dibedakan menjadi karakteristik respon *transient* dan karakteristik respon *steady state*. Respon sistem orde satu terhadap masukan sinyal uji step ditunjukkan pada Gambar 2.10.

Untuk nilai K = 1

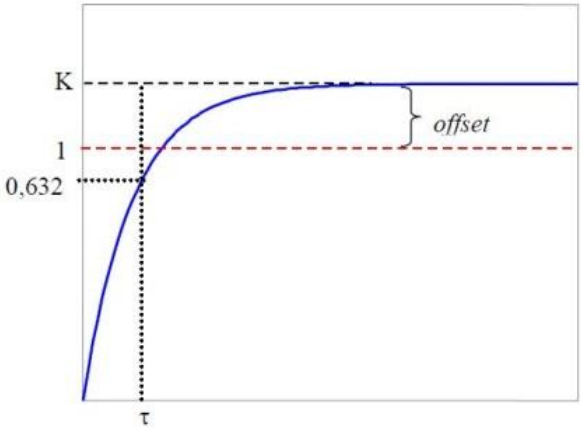


Gambar 2.10 Respon sistem orde satu *zero offset*

Keluaran sistem c(t) mula-mula bernilai nol dan kemudian terus naik hingga mencapai nilai 1. Perlu diingat karakteristik sistem orde satu yaitu ketika t = τ maka nilai c(t) adalah 0,632 atau respon dari c(t) telah mencapai 63,2 % dari nilai akhirnya. Pada gambar diatas tidak terdapat *offset* sehingga sistem K=1 merupakan sistem *zero offset*.

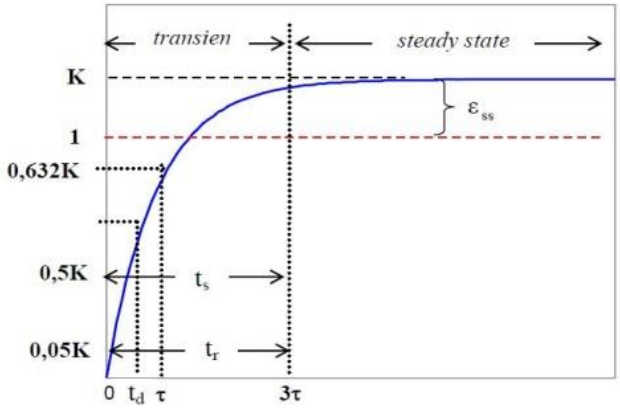
Untuk nilaik K≠1

Keluaran sistem c(t) mula-mula nol kemudian menjadi sama dengan *K*. Sehingga pada t = τ nilai c(t) adalah 0,632*K*. Pada Gambar 2.11 terdapat *offset* pada respon sistem sehingga sistem ini merupakan sistem orde satu *non zero offset*.



Gambar 2.11 Respon sistem orde satu *non zero offset*

Offset adalah *error system* pada keadaan *steady state* atau juga sering disebut *error steady state* (e_{ss}). Karakteristik respon *transient* dan respon *steady state* sistem orde satu ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Respon *transient* dan respon *steady state* sistem orde satu

Karakteristik respon transien sistem orde satu terdiri dari :

a. Konstanta waktu (τ) adalah waktu yang dibutukan respon mulai t = 0 sampai dengan respon mencapai 63,2% dari respon *steady state*. Konstanta waktu menyatakan kecepatan respon sistem. Konstanta waktu yang lebih kecil akan mempercepat respon sistem.
b. Waktu tunak atau *settling time* (t_s) adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah stabil (dapat dianggap stabil) Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ, maka t_s dapat diformulasikan sebagai berikut :
   $t_s(\pm 5\%) = 3\tau$
   $t_s(\pm 2\%) = 4\tau$
   $t_s(\pm 0{,}5\%) = 5\tau$
c. Waktu naik atau *rise time* (t_r) adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan tunak (*steady state*) Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ, maka t_r dapat diformulasikan sebagai berikut :
   $t_r(5\% - 95\%) = \tau \ln 19$
   $t_r(10\% - 90\%) = \tau \ln 9$
d. Waktu tunda atau *delay time* (t_d) adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai t = 0 sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan tunak (*steady state*). Waktu tunda menyatakan besarnya faktor keterlambatan respon akibat proses sampling. Jika dihubungkan dengan konstanta waktu τ, maka t_r dapat diformulasikan sebagai berikut :
   $t_d = \tau \ln 2$

Karakteristik respon keadaan tunak (*steady state*) sistem orde satu diukur berdasarkan kesalahan pada keadaan tunak atau *error steady state* (e_{ss}) Besarnya kesalahan pada keadaan tunak dituliskan pada persamaan (2.2).

$$e_{ss} = C_{ss} - R_{ss} \tag{2.2}$$

Dimana C_{ss} dan R_{ss} masing-masing adalah keluaran dan masukan sistem pada keadaan tunak yang besarnya ditunjukkan pada persamaan (2.3). dan (2.4).

$$C_{ss} = \lim_{t\to\infty} c(t) = \lim_{s\to\infty} s\, C(s) = \lim_{s\to\infty} s \left(\frac{K}{s(\tau s + 1)}\right) = K \quad (2.3)$$

dan

$$R_{ss} = \lim_{t\to\infty} r(t) = \lim_{s\to\infty} s\, R(s) = \lim_{s\to\infty} s \left(\frac{1}{s}\right) = 1 \quad (2.4)$$

Sehingga persamaan besarnya kesalahan pada keadaan tunak dapat dituliskan pada persamaan (2.5).

$$e_{ss} = 1 - K \quad (2.5)$$

2.4. Logika Fuzzy [6]

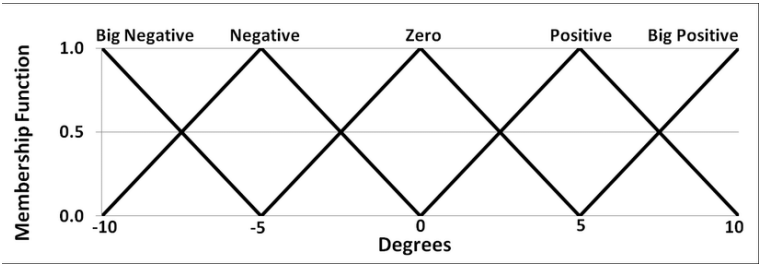
Logika fuzzy pertama kali diperkenalkan dan dikembangkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 tentang teori himpunan fuzzy. Prinsip logika fuzzy banyak diterapkan pada peralatan-peralatan elektronik seperti mesin cuci, AC, dan lain-lain. Logika fuzzy juga diterapkan pada banyak bidang mulai dari bidang kendali (*control*) sampai bidang kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Sebelum teori logika fuzzy muncul terdapat teori logika tegas (*Crisp Logic*) yang memiliki nilai benar atau salah secara tegas. Sedangkan pada logika fuzzy merupakan sebuah logika yang memiliki nilai kesamaran antara benar dan salah.

2.4.1. Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy dalam teori logika fuzzy merupakan pengelompokan sesuatu berdasarkan variabel yang dinyatakan dalam fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan dari suatu himpunan fuzzy bernilai antara 0.0 sampai dengan 1.0.

2.4.2. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan pada suatu himpunan fuzzy dinyatakan dengan derajat keanggotaan suatu nilai terhadap nilai tegasnya yang bernilai antara 0.0 sampai dengan 1.0. Misalkan nilai keanggotaan dari suatu item x dalam suatu himpunan A dapat ditulis dengan notasi μA[x] yaitu terdapat 2 kemungkinan, jika μA[x] = 1 maka x adalah anggota penuh dari himpunan A atau μA[x] = 0 maka x bukan anggota himpunan A. Fungsi keanggotaan suatu himpunan fuzzy dapat ditentukan dengan fungsi segitiga (*Triangle*), trapesium (*Trapezoidal*) atau fungsi Gauss (*Gaussian*). Gambar 2.13 merupakan contoh dari fungsi keanggotaan dari fuzzy dengan kurva segitiga.



Gambar 2.13 Struktur fungsi keanggotaan fuzzy

2.4.3. Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses pembacaan kondisi dari *plant* yang kemudian dinyatakan kedalam derajat keanggotaan yang bersesuaian dengan basis aturan. Fungsi keanggotaan harus mencakup keseluruhan dari kemungkinan nilai tegas dari masukan sehingga mampu memodelkan dinamika sistem sepenuhnya kedalam logika fuzzy. Fungsi yang umum digunakan adalah adalah fungsi segitiga, fungsi Gaussian dan fungsi trapesium.

Fungsi keanggotaan segitiga dituliskan pada persamaan (2.6).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & b \le x \le c \\ 0 & c \le x \end{cases} \tag{2.6}$$

Dimana x merupakan masukan nilai tegas pada fungsi keanggotaan, a dan c menyatakan nilai batas dari segitiga dan b menyatakan nilai puncak.

Fungsi keanggotaan Gaussian merupakan fungsi eksponensial dengan pangkat negatif. Persamaan fungsi keanggotaan Gauss dituliskan pada persamaan (2.7).

$$\mu(x) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \tag{2.7}$$

Dimana c merupakan titik puncak dan σ menyatakan lebar fungsi Gaussian. Fungsi keanggotaan trapesium dituliskan pada persamaan (2.8).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ 1 & b \le x \le c \\ \dfrac{c-x}{c-b} & c \le x \le d \\ 0 & d \le x \end{cases} \tag{2.8}$$

Dimana a dan b merupakan batas terluar dari trapesium dengan nilai derajat keanggotaan 0, dan b sampai c merupakan batas dari trapesium dengan nilai derajat keanggotaan 1.

2.4.4. Sistem Inferensi Fuzzy

Mekanisme inferensi adalah proses pengambilan keputusan dari masing-masing premis sesuai dengan aturan fuzzy. Sehingga dibutuhkan basis aturan fuzzy untuk memetakan masukan fuzzy yang diperoleh dari masukan proses fuzzifikasi terhadap keluaran fuzzy. Terdapat 3 tahap mekanisme inferensi fuzzy yaitu operasi himpunan fuzzy, aplikasi metode implikasi, dan aplikasi metode agregasi.

Operasi himpunan fuzzy dilakukan saat masukan fuzzy lebih dari satu variabel masukan untuk menyatakan kombinasi logika yang akan digunakan. Terdapat dua tipe operasi yang digunakan yaitu operasi *and* dan *or*. Operasi *and* menggunakan operasi *algebric product* atau minimum yaitu pengalian nilai derajat keanggotaan dan kemudian mengambil nilai derjat keanggotaan terkecil. Sedangkan operasi *or* menggunakan operasi *algebric sum* atau maksimum yaitu penjumlahan nilai derajat keanggotaan dan kemudian mengambil nilai derajat keanggotaan yang terbesar.

Metode implikasi merupakan proses yang menyatakan besarnya konsekuen yang bersesuaian dengan premis berdasarkan derajat keanggotaan. Pada model Mamdani, jika hasil operasi himpnan fuzzy menghasilkan derajat keanggotaan sebesar α_1 dan konsekuen yang bersesuaian adalah $u = C_1$ dalam fungsi keanggotaan, maka hasil aplikasi adalah α_1 dari luasan fungsi keanggotaan konsekuen C_1.

Metode agregasi merupakan proses penggabungan nilai konsekuen sebelum masuk pada proses defuzifikasi. Pada model Mamdani, proses penggabungan tersebut adalah penggabungan luasan dari fugsi keanggotaan konsekuen.

2.4.5. Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi adalah proses mengubah nilai fuzzy hasil dari proses inferensi fuzzy menjadi suatu nilai yang tegas. Salah satu proses defuzzifikasi yang sering digunakan adalah model Mamdani. Terdapat beberapa metode defuzzifikasi dengan model Mamdani diantaranya *center of gravity* (COG) dan *center of average* (COA).

Metode *center of average* (COA) yaitu menghitung keluaran tegas berdasarkan rata-rata bobot dari gabungan seluruh hasil implikasi fuzzy. Perhitungan untuk metode *center of average* (COA) dituliskan dalam persamaan (2.9).

$$u = \frac{\sum_{j=1}^{n} b_j . y_j}{\sum_{j=1}^{n} y_j} \tag{2.9}$$

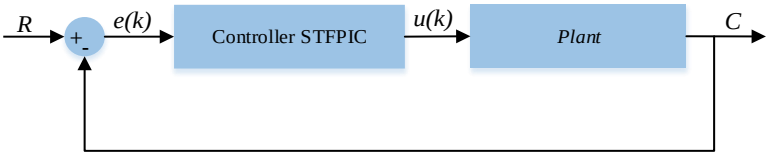
Metode *center of gravity* (COG) yaitu kombinasi perhitungan titik tengah dari fungsi keanggotaan serta luas dari fungsi keanggotaan. Dengan *b* sebagai titik tengah dan *y* sebagai fungsi keanggotaan konsekuen. Perhitungan untuk metode *center of gravity* (COG) dituliskan dalam persamaan (2.10).

$$u = \frac{\sum_{j=1}^{n} b_j \int y_j}{\sum_{j=1}^{n} \int y_j} \tag{2.10}$$

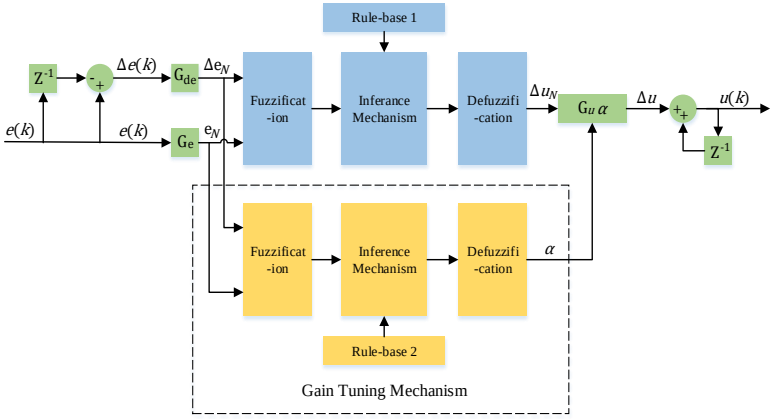
2.5. Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) [7]

Melalui hasil pengamatan bahwa penggunaan kontrol logika fuzzy konvensional dengan faktor penskalaan konstan dan basis aturan yang tetap memiliki kinerja yang terbatas pada *plant* nonlinier. Penelitian yang telah dilakukan pada kontrol logika fuzzy dimana faktor penskalaan masukan (*Scalling Factor Input*), faktor penskalaan keluaran (*Scalling Factor Output*) dan basis aturan disetel untuk mencapai tujuan kontrol yang diinginkan. Disini hanya faktor penskalaan keluaran (*Scalling*

Factor Output) yang disetel karena pengaruhnya yang kuat pada kinerja dan stabilitas sistem. Dalam skema ini, faktor penskalaan keluaran (*Scalling Factor Output*) disesuaikan secara *on-line* sesuai dengan keadaan proses yang sedang dikendalikan. Secara khusus penyetelan faktor penskalaan keluaran (*Scalling Factor Output*) didasarkan pada nilai kesalahan (e) dan perubahan kesalahan (Δe). Diagram blok *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC) ditunjukkan pada Gambar 2.14. dan Gambar 2.15.



Gambar 2.14 Blok Diagram Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC)



Gambar 2.15 Blok Diagram Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC)

Dengan menggunakan mekanisme *self-tuning*, faktor penskalaan keluaran (*Scalling Factor Output*) akan dimodifikasi secara *on-line* setiap perubahan waktu oleh faktor pembaruan nilai α. Proses ini tergantung pada perubahan yang terjadi pada proses yang dikendalikan dan nilai α diperoleh dengan menggunakan basis aturan fuzzy yang telah ditetapkan.

Berbeda dengan kontrol logika fuzzy konvensional yang hanya memiliki satu blok logika fuzzy, STFPIC memiliki dua blok logika fuzzy.

Blok logika fuzzy yang teratas pada Gambar 2.15 digunakan untuk menghitung kontrol utama dari kontrol logika fuzzy (Δu) sedangkan blok logika fuzzy yang kedua digunakan untuk menghitung nilai α.

Pada skema *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* ini, nilai sinyal kontrol dapat dihitung dengan persamaan (2.11).

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \tag{2.11}$$

Pada skema ini nilai α dihitung secara *on-line* dengan masukan nilai kesalahan (e) dan perubahan kesalahan (Δe). Hubungan antara variabel *scalling factor input* dan variabel *scalling factor output* pada proses *self-tuning* dituliskan dalam persamaan (2.12), (2.13), dan (2.14).

$$e_N = G_e . e \tag{2.12}$$
$$\Delta e_N = G_{\Delta e} . \Delta e \tag{2.13}$$
$$\Delta u = (\alpha . G_u) . \Delta u_N \tag{2.14}$$

2.6. Kriteria Kesalahan

Kriteria kesalahan merupakan salah satu tolak ukur untuk melihat performansi dari suatu kontroler berdasarkan nilai kesalahan (*error*) dari suatu sistem yang dikendalikan. Adapun juga kriteria kesalahan ini digunakan untuk validasi suatu sistem antara nilai sebenarnya dengan nilai yang diperkirakan. Berikut ini merupakan perhitungan yang digunakan untuk melihat performansi dari suatu kontroler berdasarkan nilai kesalahannya dan validasi dari suatu sistem antara nilai yang sebenarnya dengan nilai yang diperkirakan.

2.6.1. *Integral of Absolute Error* (IAE)

Integral of absolute error (IAE) merupakan salah satu tolak ukur untuk melihat performansi dari suatu kontroler ketika terdapat perubahan *set point* atau perubahan beban berdasarkan pada integral nilai *absolute error* sistem. Periode waktu perhitungan cukup sampai ketika sistem sudah mencapai keadaan tunak (*steady state*). IAE dapat dinyatakan dengan persamaan (2.15).

$$IAE = \int_0^N |e(t)| dt \tag{2.15}$$

2.6.2. *Integral of Square Error* (ISE)

Integral of sqaure error (ISE) merupakan salah satu tolak ukur untuk melihat performansi dari suatu kontroler ketika terdapat perubahan *set point* atau perubahan beban hampir menyerupai dengan IAE, namun ISE berdasarkan pada integral dari *error* kuadrad sistem. Periode waktu perhitungan cukup sampai ketika sistem sudah mencapai keadaan tunak (*steady state*). ISE dapat dinyatakan dengan persamaan (2.16).

$$ISE = \int_0^N e^2(t)dt \tag{2.16}$$

2.6.3. *Integral of Time Multiplied Absolute Error* (ITAE)

Integral of time multiplied absolute error (ISE) merupakan salah satu tolak ukur untuk melihat performansi dari suatu kontroler ketika terdapat perubahan *set point* atau perubahan beban hampir menyerupai dengan IAE, namun berdasarkan pada integral dari niali *absolute error* sistem dikalikan dengan komponen waktu. Periode waktu perhitungan cukup sampai ketika sistem sudah mencapai keadaan tunak (*steady state*). ITAE dapat dinyatakan dengan persamaan (2.17).

$$ITAE = \int_0^N t|e(t)|dt \tag{2.17}$$

2.6.4. *Root Mean Square Error* (RMSE)

Root mean square error (RMSE) merupakan salah satu 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. RMSE dapat dinyatakan dengan persamaan (2.18).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y_t - Y_m)^2}{N}} \tag{2.18}$$

Dimana :

Y_t = nilai sebenarnya

Y_m = nilai perkiraan

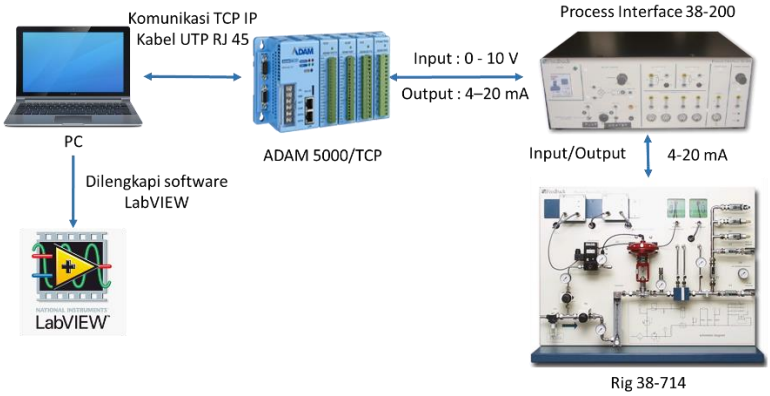
N = jumlah iterasi

BAB 3
PERANCANGAN SISTEM

Bab ini membahas tentang perancangan sistem pengaturan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714. Perancangan ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu perancangan arsitektur sistem, perancangan perangkat akuisisi data, proses identifikasi, desain kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) dan perancangan simulasi kontroler.

3.1. Perancangan Arsitektur Sistem

Skema yang digunakan pada sistem pengaturan proses untuk pengaturan tekanan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 adalah *direct digital control* (DDC). Aristektur ini dibangun dari beberapa komponen yaitu komputer yang dilengkapi *software* LabVIEW 2016, perangkat akuisisi data menggunakan ADAM 5000L/TCP, dan jaringan komunikasi menggunakan kabel utp rj45. Gambar 3.1 merupakan arsitektur sistem pengaturan tekanan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714.



Gambar 3.1 Arsitektur Sistem

3.1.1. Komputer

Komputer menjadi bagian yang sangat penting dalam skema *direct digital control* (DDC) pada sistem pengaturan tekanan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 sebagai kontroler. Komputer juga sudah dilengkapi dengan *software* LabVIEW 2016 dan modul DSC dan Real

Time yang sudah ter-*install*. Perangkat lunak tersebut digunakan untuk proses implementasi metode kontrol melalui perangkat akuisisi data. Berikut ini merupakan spesifikasi dari komputer yang digunakan dalam proses pengaturan tekanan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714.

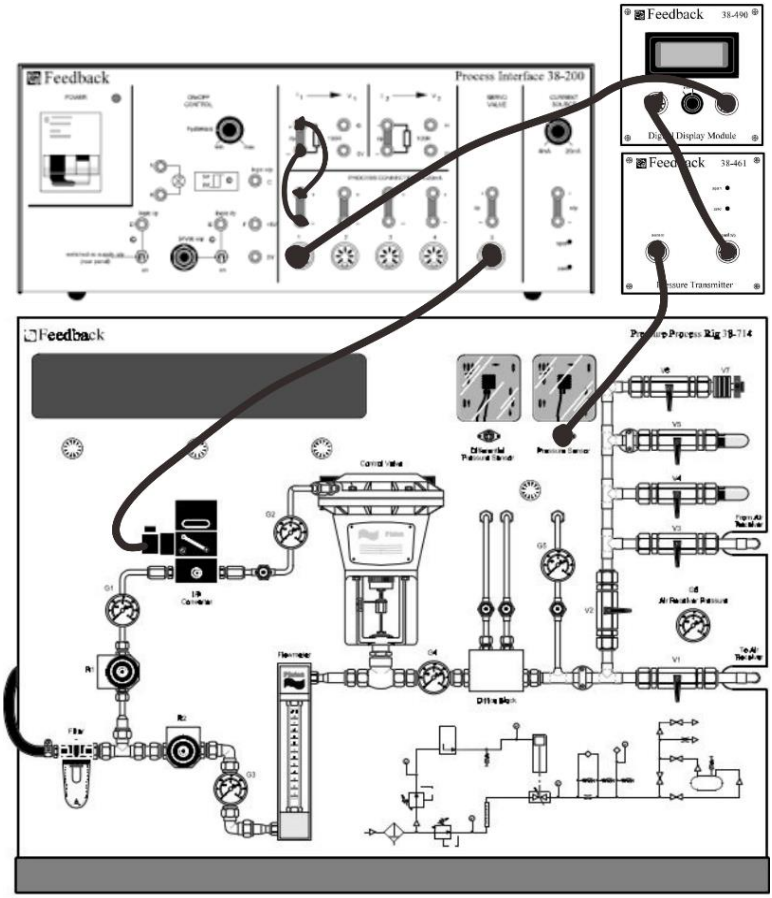
Processor	: Intel(R) Core(TM) i3 M380 2.53GHz
RAM	: 6,00 GB (5,80 GB usable)
Operating System	: Windows 10 64 bit
USB Port	: 3 x USB 2.0
Ethernet	: *Yes*

3.1.2. Konfigurasi *Plant*

Plant yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah *Pressure Process* Rig 38-714 yang merupakan alat peraga untuk proses pengukuran dan pengaturan tekanan di industri. *Plant* ini digunakan untuk mendapatkan data dari sistem pengaturan proses yang akan dibangun. Proses pengaturan tekanan pada *Pressure Process* Rig 38-714 membutuhkan perangkat tambahan seperti kompresor dan *Process Interface* 38-200. *Plant Pressure Process* Rig 38-714 memiliki 6 buah katup yang digunakan untuk pembebanan.

Pada *plant* ini, yang akan dikendalikan nantinya adalah bukaan dari *pneumatic control valve*. Sinyal kontrol berupa sinyal listrik 4-20 mA terlebih dahulu diubah ke bentuk sinyal pneumatik 3-15 psi menggunakan I/P (*current to pressure*) *converter* untuk mengendalikan *pneumatic control valve*. Sensor yang digunakan pada *plant* ini adalah *pressure* sensor, hasil pengukuran dari *pressure* sensor ini dikonversi oleh *pressure transmitter* untuk kemudian diubah ke besaran sinyal listrik 4-20 mA. *Plant Pressure Process* Rig 38-714 juga memiliki 2 buah regulator yang digunakan untuk mengatur besarnya tekanan udara yang masuk. Regulator yang pertama (R1) digunakan untuk mengatur besarnya tekanan udara yang berfungsi untuk pembukaan pada *pneumatic control valve*. Sedangkan regulator yang kedua (R2) digunakan untuk mengatur besarnya tekanan udara yang masuk ke dalam proses.

Berikut ini Gambar 3.2 merupakan konfigurasi dari *plant Pressure Process* Rig 38-714 yang akan dikendalikan :



Gambar 3.2 Konfigurasi pengkabelan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714

Kondisi *plant* saat beroperasi :

Pembebanan :

- Katup manual terbuka : V1, V3, V4, dan V5
- Katup manual tertutup: V2 dan V6

Kompressor : Diatur tepat pada 40 psi

Regulator :

- Regulator 1 (R1) diatur tepat pada 25 psi
- Regulator 2 (R2) diatur tepat pada 10 psi

3.1.3. Jaringan Ethernet

Proses pengendalian *plant* dilakukan dengan menggunakan jaringan ethernet kabel UTP RJ-45 sebagai media komunikasi antara komputer dengan perangkat akuisisi data ADAM 5000l/TCP. Panjang kabel UTP RJ-45 yang digunakan adalah 2 meter.

3.1.4. Konfigurasi ADAM 5000L/TCP

Untuk pengolahan data hasil pengukuran dan proses kontrol diperlukan perangkat penghubung antara *plant* dengan komputer. Perangkat akuisisi data yang digunakan adalah ADAM 5000L/TCP. Perangkat ini dilengkapi dengan satu slot modul analog *input* dan dua slot modul analog *output*. Modul analog *input* (ADAM 5017) memiliki 8 kanal *input* tegangan dengan satuan milivolt (±150 mV dan ±500 mV) dan volt (±1, ±5 dan ±10). Modul analog output (ADAM 5024) memiliki 4 kanal *output* berupa tegangan (0-10 V) dan 4 kanal output berupa arus (4-20 mA dan 0-20 mA). Satu kanal *input* dengan operasi (0-10 V) digunakan untuk sinyal dari hasil pengukuran *pressure* sensor. Satu kanal *output* digunakan untuk memberikan sinyal kontrol pada *pneumatic control valve*.

Pada proses akuisisi data terdapat proses penyekalaan data pada ADAM 5000L/TCP untuk menyatakan representasi dari data *input* dan data *output*. Berikut ini tabel 3.1 merupakan representasi penyekalaan data *input* dan *output* pada ADAM 5000L/TCP.

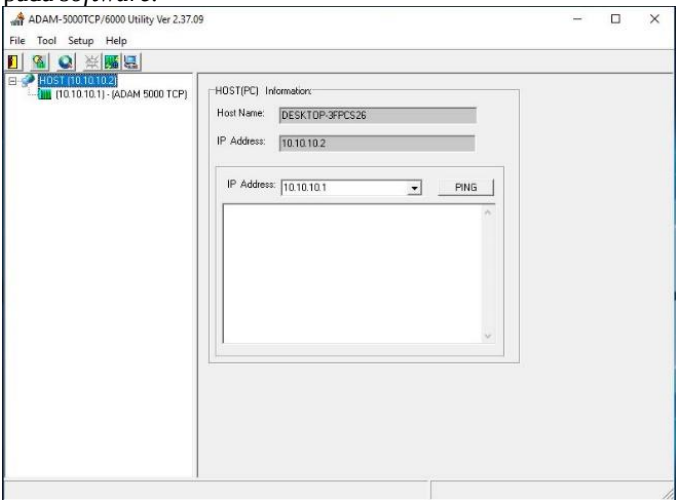
Tabel 3.1 ADAM 5000L/TCP AI/AO

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
Analog Output 5024	V	0	10	0	4095	U12B
	mA	4	20	0	4095	U12B
	mA	0	20	0	4095	U12B

Sebelum menggunakan perangkat akuisisi data ADAM 5000L/TCP terlebih dahulu dilakukan penyetelan modul *analog input* dan *analog output* yang akan digunakan. Proses penyetelan pada ADAM 5000L/TCP menggunakan *software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09.

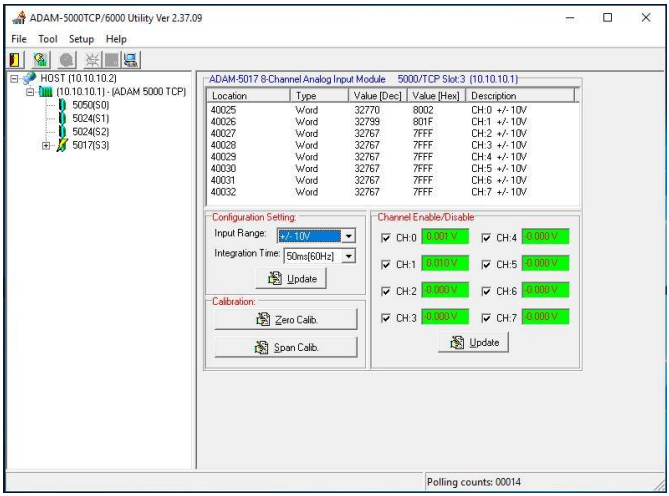
Proses penyetelan ini meliputi penentuan IP *address* yang digunakan agar ADAM 5000L/TCP dapat diakses oleh komputer. IP *addres* yang digunakan adalah 10.10.10.1. Untuk *address analog input* yang digunakan yaitu 40025 dan *address analog output* yang digunakan yaitu 40009. Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam penyetelan modul *input* dan modul *output* yang akan digunakan pada ADAM 5000L/TCP sesuai *address* yang akan digunakan.

1. Buka *software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09
   Saat *software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 akan muncul window seperti Gambar 3.3 yang menunjukkan tampilan awal pada *software*.



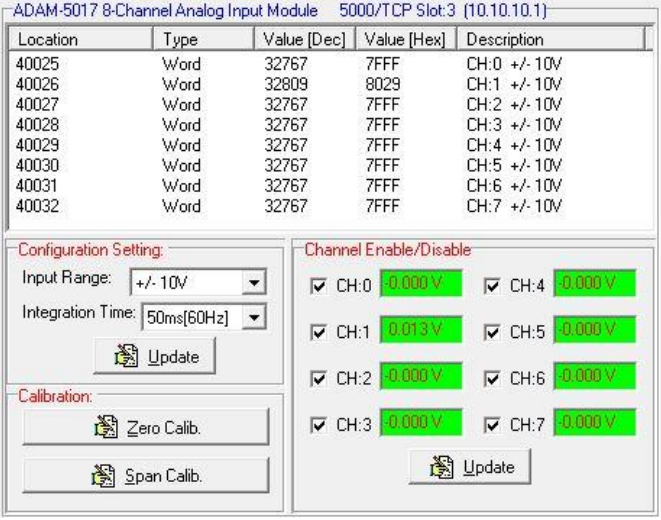
Gambar 3.3 *Windows Software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09

2. Untuk masuk ke penyetelan modul *input* dan modul *output*, klik "(10.10.10.1 ADAM 5000 TCP)" maka akan muncul modul analog *input* (5017) dan modul analog *output* (5024) seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Window Software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 dengan pilihan modul analog *input* dan modul analog *output*

3. Untuk penyetelan modul analog *input* dan kanal yang akan digunakan. Gambar 3.5. menunjukkan tampilan penyetelan kanal analog *input*.

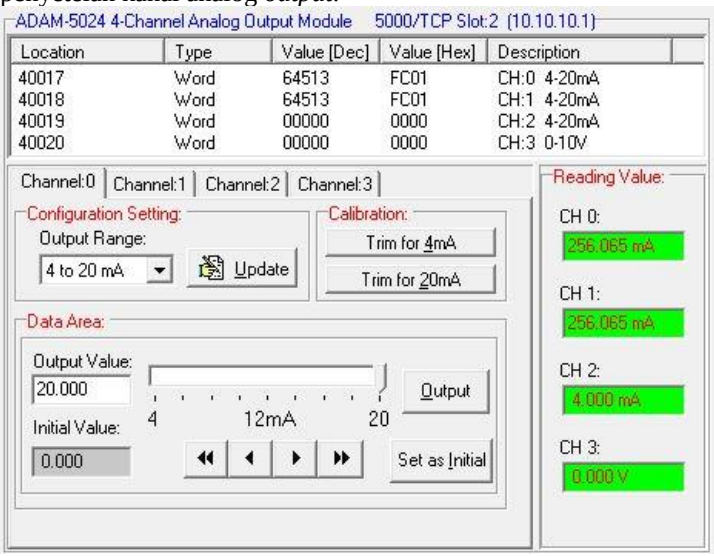


Gambar 3.5 *Window Software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 untuk penyetelan modul analog *input* dan kanal yang digunakan

Berikut ini merupakan penyetelan modul analog *input*:

Address : 40025
Configuration setting : pilih *input range* (+/- 10 V)
Channel Enable : ceklist pada channel yang akan digunakan

4. Untuk penyetelan modul analog *output* dan kanal yang akan digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.6. yang merupakan tampilan penyetelan kanal analog *output*.



Gambar 3.6 *Window Software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 untuk penyetelan modul analog *output* dan kanal yang digunakan

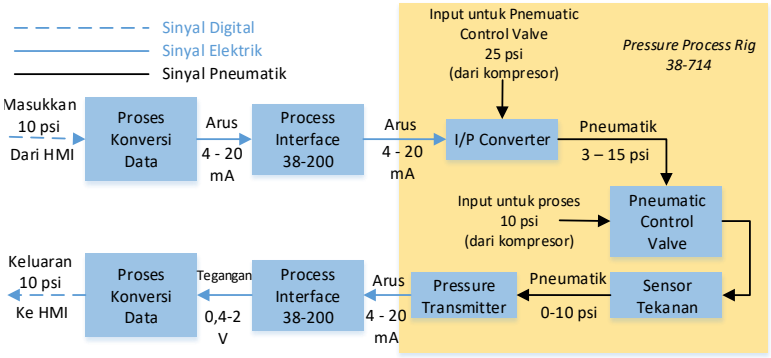
Berikut ini merupakan penyetelan modul analog *output*:

Address : 40009
Configuration setting : pilih *output range* (4-20 mA)
Channel : *channel* yang digunakan (*channel* 1)

3.2. Identifikasi Sistem *Open Loop*

Identifikasi *plant* merupakan tahapan yang penting dalam sistem pengaturan. Identifikasi *plant* ditujukan untuk mendapatkan model dari *plant Pressure Process* Rig 38-714. Model dari *plant* yang diperoleh akan digunakan untuk mencari parameter kontroler untuk mendapatkan hasil

respon sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 3.7 merupakan skema identifikasi sistem yang digunakan.



Gambar 3.7 Skema identifikasi sistem

3.2.1. Identifikasi Statis Sistem *Open Loop*

Metode identifikasi yang digunakan untuk mendapatkan model sistem dari *plant Pressure Process* Rig 38-714 adalah metode identifikasi statis. Metode ini dilakukan dengan cara memberikan sinyal masukan *unit step* pada *plant* kemudian data respon *plant* digunakan untuk mendapatkan model dari *plant*. Pengambilan data respon *open loop plant* dilakukan sebanyak 5 kali. Berikut ini merupakan kondisi dari *plant* kondisi beban nominal ketika proses identifikasi dilakukan :

Masukkan *plant*	: 3 psi (1,52 V / 15,2 mA)
Jumlah data yang diambil	: 15000 sampel
Kondisi pembebanan	:
Katup manual terbuka	: V1,V3, V4, dan V5
Katup manual tertutup	: V2 dan V6
Tangki penampungan	: digunakan

Dan untuk kondisi dari *plant* ketika kondisi beban minimal diatur sebagai berikut :

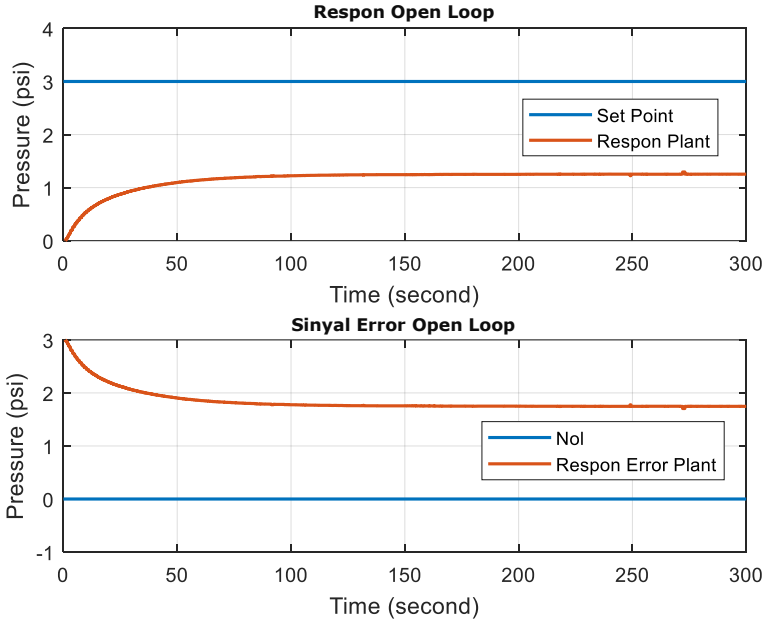
Masukkan *plant*	: 6,875 psi (0,9 V / 9 mA)
Jumlah data yang diambil	: 15000 sampel

Kondisi pembebanan :
Katup manual terbuka : V1,V3, dan V4
Katup manual tertutup : V2, V5 dan V6
Tangki penampungan : digunakan

3.2.2. Formulasi Model Sistem

Hasil dari pengambilan data respon *open loop plant* sebanyak 5 kali tersebut diambil nilai rata-ratanya sebelum dilakukan proses identifikasi.

Pada kondisi beban nominal, respon *open loop* kondisi beban nominal (hasil rata-rata dari 5 kali pengambilan data) dari *plant Pressure Process* Rig 38-714 ditunjukkan pada Gambar 3.8. Dilihat dari respon keluaran *plant*, model dari *plant* dapat didekati dengan persamaan sistem orde satu karena respon dari *plant* menyerupai sistem orde satu.



Gambar 3.8 Grafik respon *open loop plant* kondisi beban nominal *Pressure Process* Rig 38-714

Sistem orde pertama secara umum memiliki fungsi alih dituliskan pada persamaan 3.1 :

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \tag{3.1}$$

Parameter-parameter dari sistem yang akan dicari adalah *gain overall* (*K*) dan *time constant* (τ). Perhitungan *gain overall* dicari dengan menggunakan persamaan (3.2).

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \tag{3.2}$$

Y_{ss} merupakan respon sistem pada saat kondisi *steady state* (psi), sedangkan X_{ss} merupakan masukan sistem pada saat *steady state* (psi). Respon mencapai kondisi *steady state* pada pada nilai 1,250 psi dan masukan pada sistem mencapai kondisi *steady state* pada nilai 3 psi. Sehingga nilai *gain overall* (*K*) didapatkan :

$$\begin{aligned} K &= \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} \\ &= \frac{1{,}250}{3} \\ &= 0{,}4166 \end{aligned}$$

Setelah nilai *gain overall* didapatkan, parameter selanjutnya yang dicari adalah *time constant* (τ). Nilai τ dicari dengan melihat waktu ketika respon mencapai kondisi 63,2% dari keadaan *steady state*.

$Y_{ss}\ x\ 63{,}2\% = 0{,}79$

Waktu ketika respon mencapai 63,2% kondisi *steady state* adalah 19.61 detik. Sehingga fungsi alih dari *plant* dapat dinyatakan pada persamaan (3.3).

$$G(s) = \frac{0{,}4166}{19{,}61s + 1} \tag{3.3}$$

Langkah yang sama dilakukan pada kondisi beban minimal dan didapatkan fungsi alih *plant* yang dinyatakan dalam persamaan 3.4.

$$G(s) = \frac{1{,}0590}{37{,}58s + 1} \tag{3.4}$$

3.2.3. Validasi Model

Model sistem yang telah didapatkan dari hasil identifikasi pada kondisi beban nominal dan beban minimal dibandingkan dengan respon keluaran pada *plant* dan dilakukan proses validasi menggunakan kriteria *root mean square error* (RMSE) dimana semakin kecil nilai RMSE maka semakin baik model yang telah dibuat. RMSE dapat dinyatakan dengan persamaan (3.5).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(Y_t - Y_m)^2}{N}} \tag{3.5}$$

Dimana :
Y_t = nilai sebenarnya
Y_m = nilai perkiraan
N = jumlah iterasi

Hasil validasi fungsi alih kondisi beban nominal dan kondisi beban minimal menggunakan RMSE ditunjukkan pada Tabel 3.2.

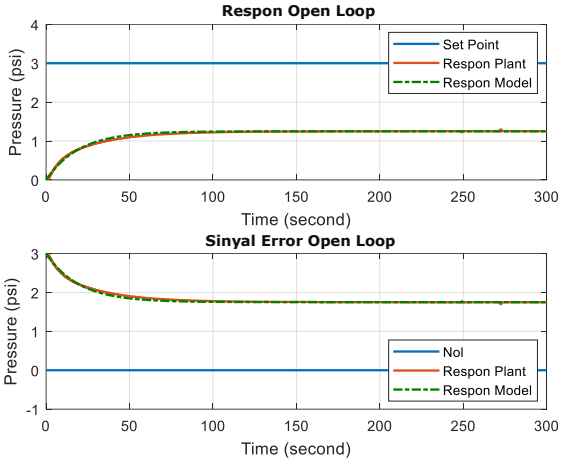
Tabel 3.2 Data hasil identifikasi *plant Pressure Process* Rig 38-714

No.	Data	Model hasil identifikasi	RMSE
1	Beban Nominal	$G(s) = \frac{0{,}4166}{19{,}61s + 1}$	0.0235
2	Beban Minimal	$G(s) = \frac{1{,}059}{37{,}58s + 1}$	0.0991

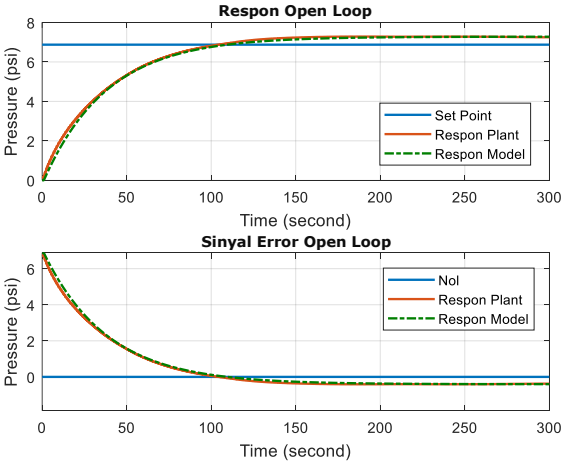
Fungsi alih dari data pada Tabel 3.2 akan digunakan untuk mendesain kontroler untuk sistem pengaturan pada *plant Pressure Process Rig* 38-714.

Sebelum mendesain kontroler, model pada kondisi beban nominal dan beban minimal yang ditunjukkan pada Tabel 3.2 harus terlebih dahulu diuji. Hal ini diperlukan untuk mengetahui seberapa baik model yang telah dibuat. Gambar 3.9 menunjukkan perbandingan antara respon *plant*

dengan respon model pada kondisi nominal dan Gambar 3.10 menunjukkan perbandingan antara respon *plant* dengan respon model pada kondisi beban minimal.



Gambar 3.9 Perbandingan respon *plant* dengan respon model pada kondisi beban nominal



Gambar 3.10 Perbandingan respon *plant* dengan respon model pada kondisi beban minimal

3.3. Perancangan Kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC)

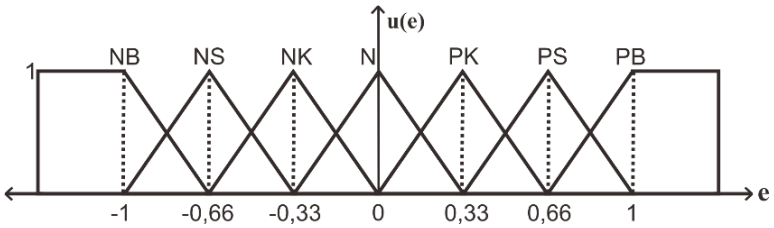
Untuk perancangan *self-tuning fuzzy pi controller* (STFPIC) ini terdapat beberapa prosedur yang harus dijalankan yaitu diantaranya menetapkan fungsi keanggotaan (masukan dan keluaran), menetapkan *gain scalling factor*, menetapkan titik kerja sistem (*operating point*), operasi fuzzifikasi, menetapkan *rule base* dan sistem inferensinya, dan operasi defuzzifikasi. Kontroler ini diharapkan mampu memenuhi spesifikasi yang sudah direncanakan sebagai berikut :

- *Error steady state* (%Ess) mendekati nol
- % *overshoot* kurang dari 10% ketika kondisi beban nominal
- Ketahanan (*robustness*) dari sistem ketika terjadi perubahan beban dilihat dari *time recovery* yang paling cepat.
- Perubahan tekanan ketika sistem mengalami perubahan beban tidak lebih dari 50%

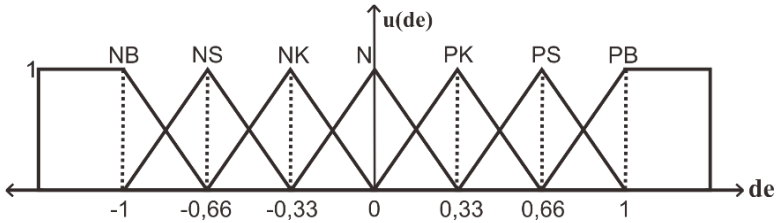
Skema *self-tuning fuzzy pi controller* (STFPIC) dapat dilihat pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.12 pada Bab 2.

3.3.1. Fungsi Keanggotaan

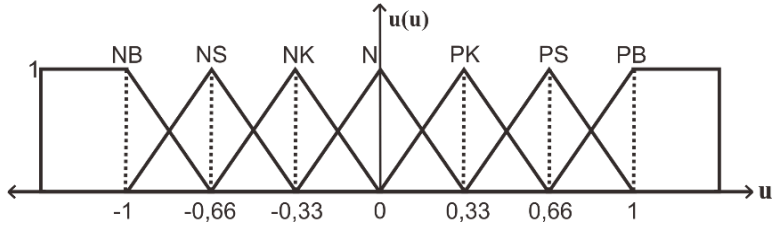
Masukkan dari kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* ini adalah sinyal *error* dan *delta error*. Fungsi keanggotaan untuk menghitung sinyal kontrol utama didefinisikan pada interval [-1 sampai 1], sedangkan untuk menghitung *gain updating factor* didefinisikan pada interval [0 sampai 1]. Berikut ini merupakan fungsi keanggotaan (masukan dan keluaran) untuk kontroler utama dan *gain updating factor* (α) yang dapat dilihat pada Gambar 3.11, 3.12, 3.13, dan 3.14.



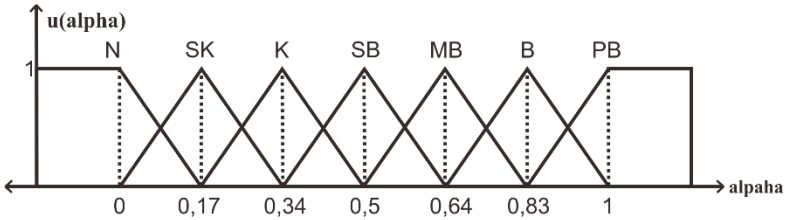
Gambar 3.11 Fungsi keanggotaan masukan sinyal *error*



Gambar 3.12 Fungsi keanggotaan masukan sinyal *delta error*



Gambar 3.13 Fungsi keanggotaan sinyal kontrol ($\Delta \boldsymbol{u}$)



Gambar 3.14 Fungsi keanggotaan keluaran *gain updating factor* ($\boldsymbol{\alpha}$)

Dengan :

NB	: Negatif Besar	N	: Nol
NS	: Negatif Sedang	SK	: Sedikit Kecil
NK	: Negatif Kecil	K	: Kecil
N	: Nol	SB	: Sedikit Besar
PK	: Positif Kecil	MB	: Medium Besar
PS	: Positif Sedang	B	: Besar
PB	: Positif Besar	PB	: Sangat Besar

3.3.2. Basis Aturan

Hasil keluaran sinyal kontrol (Δu) pada skema kontrol fuzzy PI ini didapatkan melalui basis aturan sebagai berikut :

$$if\ e\ and\ \Delta e\ then\ \Delta u$$

Berikut ini merupakan seluruh basis aturan untuk menghitung keluaran sinyal kontrol (Δu) yang dibuat dalam bentuk tabel. Tabel 3.3 merupakan basis aturan untuk menentukan sinyal kontrol (Δu).

Tabel 3.3 Basis aturan untuk menghitung sinyal kontrol ($\Delta \boldsymbol{u}$)

$\Delta e/e$	NB	NS	NK	N	PK	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	NK	NK	N
NS	NB	NS	NS	NS	NK	N	PK
NK	NB	NS	NK	NK	N	PK	PS
N	NB	NS	NK	N	PK	PS	PB
PK	NS	NK	N	PK	PK	PS	PB
PS	NK	N	PK	PS	PS	PS	PB
PB	N	PK	PK	PS	PB	PB	PB

Sedangkan untuk menghitung nilai *gain updating factor* (α) digunakan basis aturan sebagai berikut :

$$if\ e\ and\ \Delta e\ then\ \alpha$$

Berikut ini merupakan seluruh basis aturan untuk menghitung nilai *gain updating factor* (α) yang dibuat dalam bentuk tabel. Tabel 3.4 merupakan basis aturan untuk menentukan *gain updating factor* (α).

Tabel 3.4 Basis aturan untuk menghitung *gain updating factor* ($\boldsymbol{\alpha}$)

$\Delta e/e$	NB	NS	NK	N	PK	PS	PB
NB	PB	PB	PB	B	SB	K	N
NS	PB	PB	B	B	MB	K	SK
NK	PB	MB	B	PB	SK	K	SK
N	K	SB	MB	N	MB	SB	K
PK	SK	K	SK	PB	B	MB	PB
PS	SK	K	MB	B	B	PB	PB
PB	N	K	SB	B	PB	PB	PB

Dari basis aturan yang sudah dibuat dilakukan proses inferensi untuk menarik kesimpulan sinyal kontrol (Δu) dan *gain updating factor* (α) yang akan digunakan. Aturan inferensi yang digunakan menggunakan aturan Mamdani, yaitu mencari nilai maksimum dari nilai minimum dari

sinyal *error* dan *delta error*. Persamaan 3.6 merupakan persamaan inferensi fuzzy dengan menggunakan aturan Mamdani.

$$\mu_u(k) = \max\left[\mu_e\left(input(i)\right), \mu_{de}\left(input(j)\right)\right] \quad (3.6)$$

3.3.3. *Gain Scalling Factor*

Masukan untuk kontroler yang berupa sinyal *error* dan delta *error* (e dan Δe) aktual dan keluaran dari kontroler (Δu_N) harus diskalakan ke dalam interval [-1 sampai 1] sesuai dengan interval fungsi keanggotaan yang sudah ditetapkan. Penentuan nilai *gain scaling factor input* dan *gain scaling factor output* dibuat berdasarkan pengetahuan tentang proses yang akan dikendalikan, penentuan nilai *gain* tersebut juga dapat melalui percobaan *tuning* untuk mencapai kinerja kontrol yang sebaik mungkin. Nilai parameter kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Parameter kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC)

No.	Pengujian	Gain *error*	Gain *delta error*	Gain *output*
1	Pengujian 1	0,33	30	0,05
2	Pengujian 2	0,33	50	0,05
3	Pengujian 3	0,33	100	0,05
4	Pengujian 4	0,33	50	0,3
5	Pengujian 5	0,33	50	0,1
6	Pengujian 6	0,33	50	0,02

3.3.4. Titik Kerja (*Operating Point*)

Penentuan titik kerja (*operating point*) dari sistem yang dikendalikan sangat penting untuk mengetahui berapa besar sinyal kontrol yang diperlukan agar respon mencapai keadaan *steady state* sesuai dengan yang direncanakan pada saat sistem beroperasi. Berikut ini merupakan titik kerja (*operating point*) dari *plant Pressure Process* Rig 38-714 :

Kondisi Beban Nominal :
Masukkan *plant* : 3 psi (1,52 V / 15,2 mA)
Kondisi pembebanan :

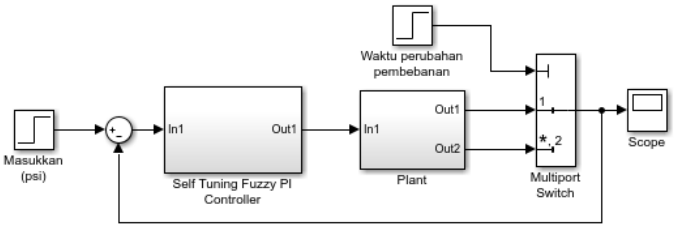
Katup manual terbuka : V1,V3, V4, dan V5
Katup manual tertutup : V2 dan V6
Tangki penampungan : digunakan
Titik kerja : 11 mA

Kondisi Beban Minimal :
Masukkan *plant* : 6,875 psi (0,9 V / 9 mA)
Kondisi pembebanan :
Katup manual terbuka : V1,V3, dan V4
Katup manual tertutup : V2, V5, dan V6
Tangki penampungan : digunakan
Titik kerja : 7,4 mA

Setelah titik kerja (*operating point*) ditentukan maka dapat direncanakan batas minimal dan batas maksimal sinyal kontrol yang akan digunakan pada proses pengendalian. Pada proses pengendalian *plant Pressure Process* Rig 38-714 ini sinyal kontrol yang digunakan yaitu 80% dari kemampuan aktuator (*pneumatic control valve*) yaitu dengan sinyal kontrol pada rentang 5 mA – 17 mA.

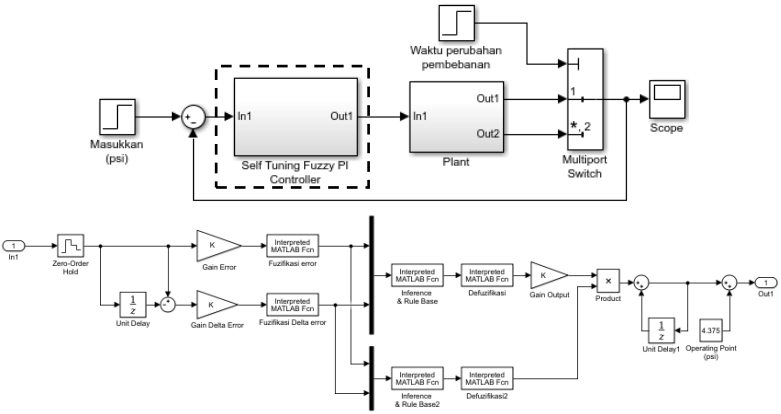
3.4. Perancangan Simulasi Kontroler (STFPIC)

Sebelum melakukan proses implementasi, terlebih dahulu dilakukan proses simulasi. Proses simulasi ini bertujuan untuk memastikan apakah parameter yang akan diujikan pada proses implementasi pada *plant* sudah mampu memenuhi spesifikasi yang direncanakan. Proses simulasi ini dilakukan dengan menggunakan simulink pada *software* MATLAB. Gambar 3.15 merupakan blok diagram simulasi pengaturan *plant Pressure Process* Rig 38-714.



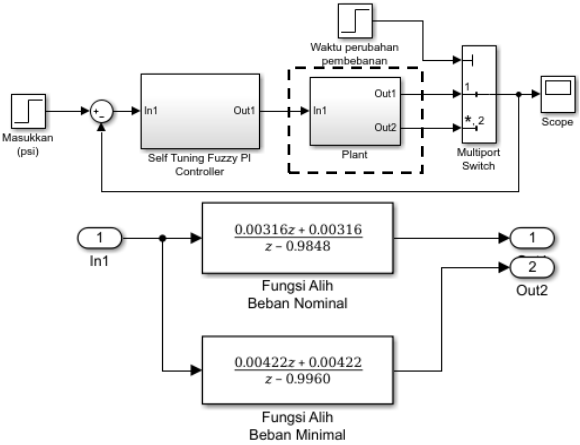
Gambar 3.15 Blok diagram simulasi pengaturan *plant Pressure Process* Rig 38-74

Untuk blok diagram simulasi kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) ditunjukkan pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 Blok diagram simulasi kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC)

Untuk blok diagram fungsi alih *plant Pressure Process* Rig 38-714 digunakan dua fungsi alih yaitu ketika kondisi beban nominal dan kondisi beban minimal (saat terjadi perubahan beban). Blok diagram simulasi fungsi alih *plant Pressure Process* Rig 38-714 ditunjukkan pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Blok diagram fungsi alih *plant* Rig 38-714

Fungsi alih ketika kondisi beban nominal dan kondisi beban minimal ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Fungsi alih ketika kondisi beban nominal dan beban minimal

No.	Kondisi *Plant*	Fungsi Alih
1	Beban Nominal	$G(s) = \frac{0{,}4166}{19{,}61s + 1}$
2	Beban Minimal	$G(s) = \frac{1{,}0590}{37{,}58s + 1}$

Dari persamaan fungsi alih *plant* ketika kondisi beban nominal dan kondisi beban minimal dalam domain kontinyu dapat diubah ke dalam domain diskrit untuk kebutuhan kontroler karena kontroler yang digunakan merupakan kontroler dalam domain diskrit. Pendekatan fungsi alih diskrit menggunakan transformasi bilinear. Persamaan fungsi alih ketika kondisi beban nominal dalam domain diskrit dan ketika kondisi beban minimal dalam domain diskrit dapat dilihat pada persamaan 3.7 dan persamaan 3.8.

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

Fungsi alih beban nominal :
Ts = 0,3 detik

$$G(s) = \frac{0{,}4166}{19{,}61s + 1}$$

$$G(z) = \frac{0{,}4166}{\frac{19{,}61\ x\ 2}{Ts}\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) + 1}$$

$$G(z) = \frac{0{,}4166}{\frac{39{,}22}{0{,}3}\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) + 1}$$

$$G(z) = \frac{0{,}4166}{130{,}73\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) + 1}$$

$$G(z) = \frac{0{,}4166}{\left(\frac{130{,}73 - 130{,}73z^{-1} + 1 + z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right)}$$

$$G(z) = \frac{0{,}4166 + 0{,}4166z^{-1}}{130{,}73 - 130{,}73z^{-1} + 1 + z^{-1}}$$
$$G(z) = \frac{0{,}4166 + 0{,}4166z^{-1}}{131{,}73 - 129{,}73z^{-1}}$$
$$G(z) = \frac{0{,}00316z + 0{,}00316}{z - 0{,}9848} \quad (3.7)$$

Fungsi alih beban minimal :
Ts = 0,3 detik

$$G(s) = \frac{1{,}0590}{37{,}58s + 1}$$
$$G(z) = \frac{1{,}0590}{\frac{37{,}58\ x\ 2}{Ts}\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) + 1}$$
$$G(z) = \frac{1{,}0590}{\frac{75{,}16}{0{,}3}\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) + 1}$$
$$G(z) = \frac{1{,}0590}{250{,}53\left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right) + 1}$$
$$G(z) = \frac{1{,}0590}{\left(\frac{250{,}53 - 250{,}53z^{-1} + 1 + z^{-1}}{1 + z^{-1}}\right)}$$
$$G(z) = \frac{1{,}0590 + 1{,}0590z^{-1}}{250{,}53 - 250{,}53z^{-1} + 1 + z^{-1}}$$
$$G(z) = \frac{1{,}0590 + 1{,}0590z^{-1}}{250{,}53 - 249{,}53z^{-1}}$$
$$G(z) = \frac{0{,}00422z + 0{,}00422}{z - 0{,}9960} \quad (3.8)$$

Persamaan fungsi alih pada domain diskrit (3.7) dan (3.8) akan digunakan untuk proses simulasi pengaturan *plant Pressure Process* Rig 38-714 ketika kondisi beban nominal dan kondisi minimal (ketika terjadi perubahan pembebanan) untuk mengetahui performansi dari kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) sebelum dilakukan proses implementasi pada *plant Pressure Process* Rig 38-714.

Fungsi alih ketika kondisi beban nominal dan kondisi beban minimal dalam domain kontinyu dan diskrit ditunjukkan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Fungsi alih ketika kondisi beban nominal dan beban minimal

No.	Kondisi *Plant*	Fungsi Alih (kontinyu)	Fungsi Alih (diskrit)
1	Beban Nominal	$G(s) = \frac{0{,}4166}{19{,}61s + 1}$	$G(z) = \frac{0{,}00316z + 0{,}00316}{z - 0{,}9848}$
2	Beban Minimal	$G(s) = \frac{1{,}0590}{37{,}58s + 1}$	$G(z) = \frac{0{,}00422z + 0{,}00422}{z - 0{,}9960}$

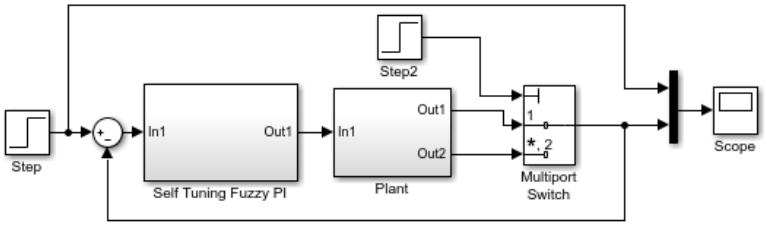
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

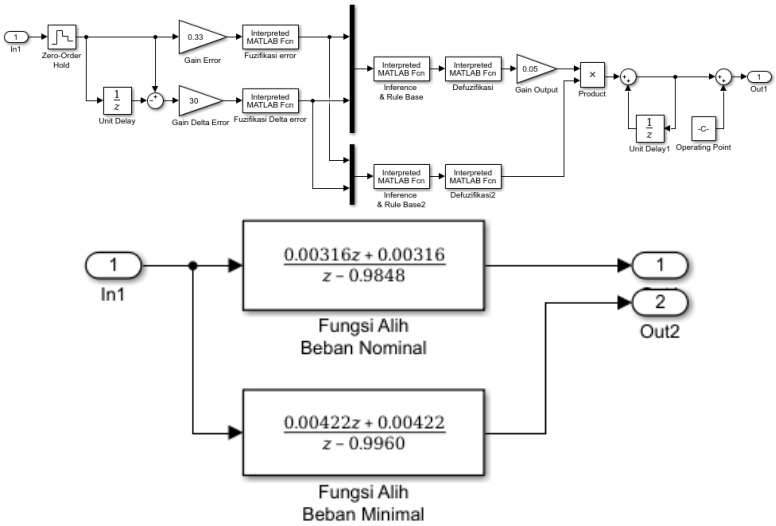
BAB 4
PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini membahas mengenai hasil pengujian sistem yang telah dirancang pada Bab 3 untuk mengetahui performansi dari penerapan kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) pada *plant Pressure Process* Rig 38-714. Pengujian dibagi menjadi dua bagian yaitu pengujian pada kondisi beban nominal dan pengujian dengan adanya perubahan beban pada *plant* baik simulasi maupun implementasi. Performansi dari kontroler yang diterapkan pada *plant* dilihat melalui *error steady state (%Ess), settling time*, *maximum overshoot*, dan *recovery time*. Untuk pembanding digunakan beberapa kriteria *error* yaitu IAE (*integral of absolute error*), ITAE (*integral of time multiplied absolute error*) dan ISE (*integral of square error*). Dari hasil pengujian tersebut dilakukan analisa untuk mengetahui kekurangan dan kelebihan dari metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) yang diterapkan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714.

4.1. Pengujian Simulasi Kondisi Beban Nominal

Pengujian ini bertujuan untuk melihat performansi dari kontroler secara simulasi dengan beberapa nilai parameter kontroler yang sudah dirancang pada Bab 3. Proses simulasi ini harus dilakukan untuk melihat apakah parameter yang digunakan sudah sesuai sebelum diimplementasikan. Dengan menggunakan fungsi alih yang sudah dirancang pada Bab 3 dibuat simulasi menggunakan simulink yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.





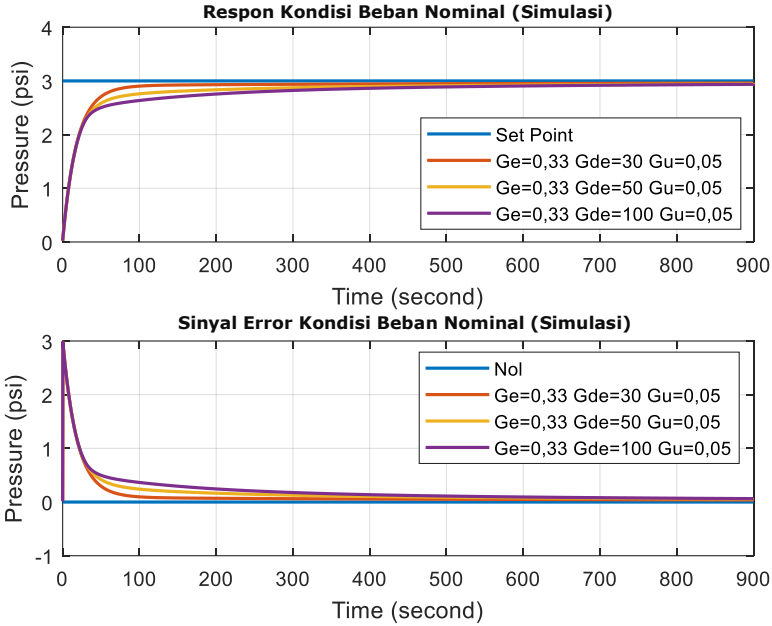
Gambar 4.1 Diagram blok simulasi sistem pengaturan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 pada kondisi beban nominal

Kondisi beban nominal pada *plant* diatur sebagai berikut ini :

Kondisi Nominal :
Masukkan *plant* : 3 psi (1,52 V / 15,2 mA)
Jumlah data yang diambil : 3000 sampel
Kondisi pembebanan :
Katup manual terbuka : V1,V3, V4, dan V5
Katup manual tertutup : V2 dan V6
Tangki penampungan : digunakan

Proses simulasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) pada kondisi beban nominal ini dilakukan dengan waktu periode sampling sebesar 300 milidetik dan dilakukan menggunakan simulink dari *software* MATLAB. Pada proses implementasi, terdapat beberapa variasi parameter yang akan dujikan pada *plant* diataranya variasi *gain delta error* (*Gde*) dan *gain output* (*Gu*). Respon hasil simulasi dengan variasi *gain delta error* (*Gde*), respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* (*Gu*) ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan 4.3. Sedangkan respon hasil

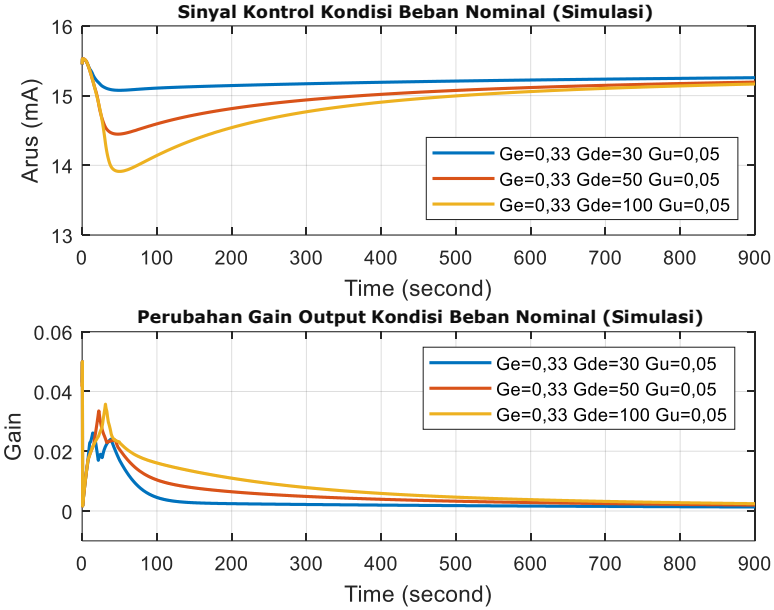
simulasi dengan variasi *gain output* (*Gu*), respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* (*Gu*) ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan 4.5. Tabel 4.1 menunjukkan performansi sistem variasi *gain delta error* (*Gde*) dan Tabel 4.2 menunjukkan performansi sistem dengan variasi *gain output* (*Gu*).



Gambar 4.2 Respon simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error*

Tabel 4.1 Performa simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error*

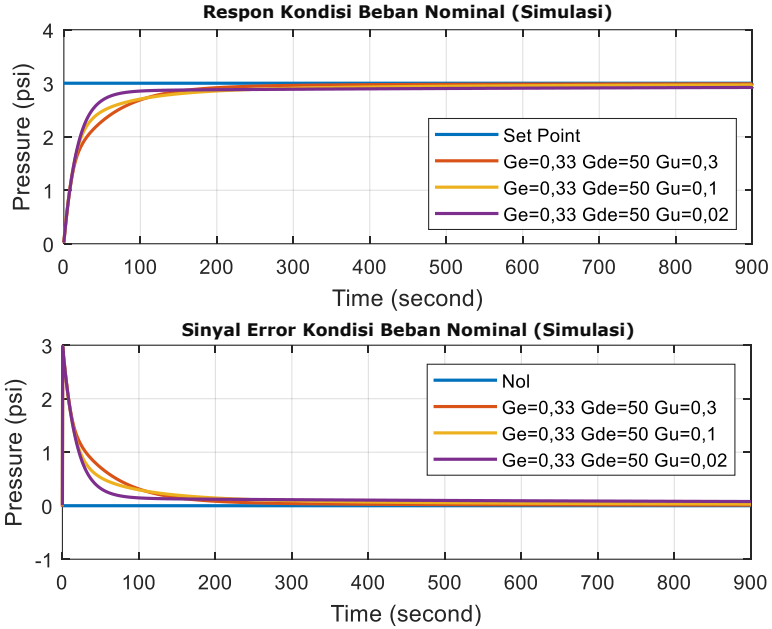
Parameter	*Error steady state* (% Ess)	ts (±5%)	% *overshoot*	*IAE*	*ITAE*	*ISE*
Gde = 30	1,4 %	62,7 s	0 %	364,53	73323	308,65
Gde = 50	1,9 %	121,2 s	0 %	518,92	120267	350,53
Gde = 100	2,24 %	216,3 s	0 %	635,66	152084	400,21



Gambar 4.3 Respon simulasi sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain delta error*

Dari hasil simulasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) saat kondisi beban nominal yang ditunjukkan pada Tabel 4.1, dapat dilihat bahwa adanya perubahan parameter *gain delta error* (*Gde*) mulai dari *gain* sebesar 30, 50, dan 100, respon cenderung tidak mengalami *overshoot* yaitu. Untuk nilai *error steady state* (% Ess) yang paling kecil dimiliki oleh respon yang menggunakan parameter *gain delta error* (*Gde*) = 30 yaitu dengan *error steady state* yang dihasilkan sebesar 1,4 %.

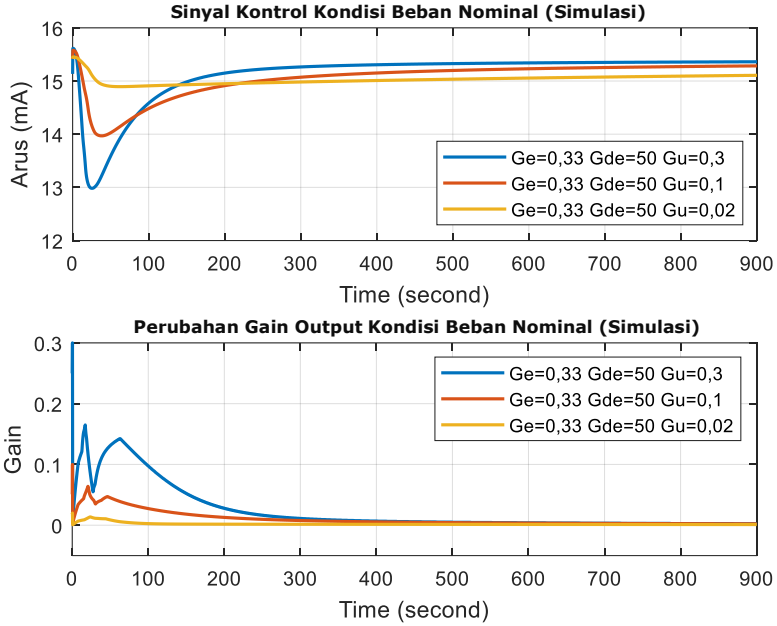
Spesifikasi desain kontroler yang dirancang pada bab 3 adalah sistem tidak boleh mengalami *overshoot* lebih dari 5 % dan *error steady state* (% Ess) mendekati 0. Dengan demikian hasil pengujian yang paling mendekati spesifikasi yang sudah direncanakan adalah desain dengan parameter *gain error (Gu)* = 0,33, *gain delta error (Gde)* = 30 dan *gain output (Gu)* = 0,05 dimana nilai *error steady state* (% Ess) = 1,4 %, nilai % *overshoot* = 0 % dan *settling time* (±5%) = 62,7 detik.



Gambar 4.4 Respon simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output*

Tabel 4.2 Performa simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output*

Parameter	*Error steady state* (%Ess)	ts (±5%)	% *overshoot*	*IAE*	*ITAE*	*ISE*
Gu = 0,3	0,47 %	141,9 s	0 %	415,83	43420	406,27
Gu = 0,1	1,2 %	156,9 s	0 %	474,74	84129	363,69
Gu = 0,02	2,84 %	62,7 s	0 %	487,90	130565	329,69



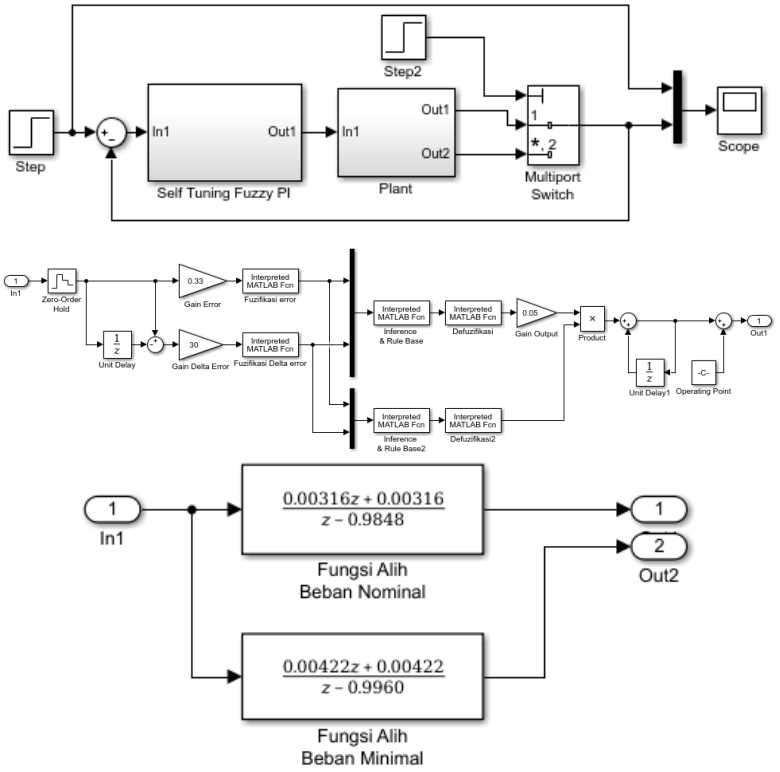
Gambar 4.5 Respon simulasi sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain output*

Dari hasil simulasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) saat kondisi beban nominal yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa dengan adanya perubahan parameter *gain output* (*Gu*) mulai dari *gain* sebesar 0,3, 0,1, dan 0,02, respon cenderung tidak mengalami *overshoot.* Untuk respon dengan nilai *error steady state* (% Ess) paling kecil dimiliki oleh respon dengan parameter *gain output* (*Gu*) = 0,3 dengan nilai *error steady state* = 0,47 %.

Spesifikasi desain kontroler yang dirancang pada bab 3 adalah sistem tidak boleh mengalami *overshoot* lebih dari 5 % dan *error steady state* (% Ess) mendekati 0. Dengan demikian hasil pengujian yang paling mendekati spesifikasi yang sudah direncanakan adalah desain dengan parameter *gain error (Gu)* = 0,33, *gain delta error (Gde)* = 50 dan *gain output (Gu)* = 0,3 dimana nilai *error steady state* (% Ess) = 0,47 %, % *overshoot* = 0 % dan *settling time* (±5%) = 141,9 detik.

4.2. Pengujian Simulasi Kondisi Perubahan Beban

Pengujian ini bertujuan untuk melihat performansi dari kontroler secara simulasi dengan beberapa nilai parameter kontroler yang sudah dirancang pada Bab 3 ketika terjadi perubahan beban. Proses simulasi ini harus dilakukan untuk melihat apakah parameter yang digunakan sudah sesuai sebelum diimplementasikan. Dengan menggunakan fungsi alih yang sudah dirancang pada Bab 3 dibuat simulasi menggunakan simulink yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

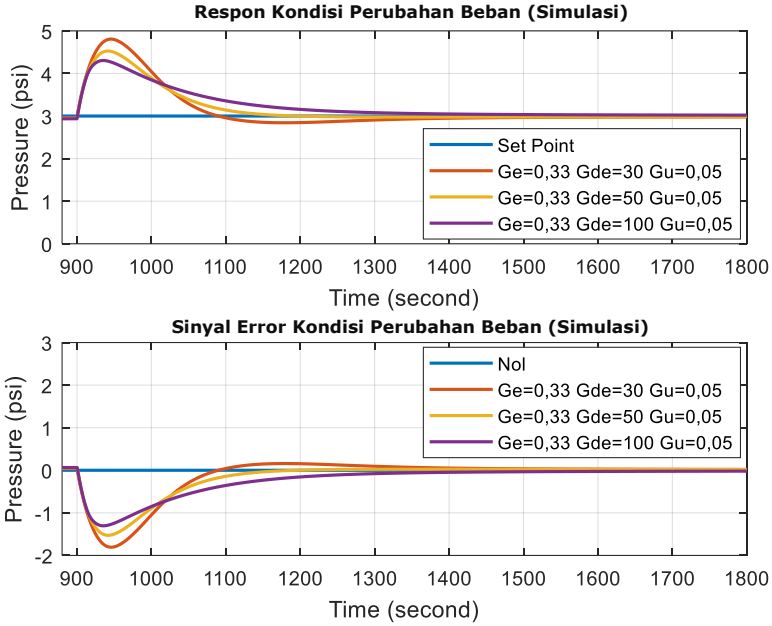


Gambar 4.6 Diagram blok simulasi sistem pengaturan pada *plant Pressure Process* Rig 38-714 pada kondisi perubahan beban

Kondisi beban nominal pada *plant* diatur sebagai berikut ini :

Kondisi Nominal :	
Masukkan *plant*	: 3 psi (1,52 V / 15,2 mA)
Jumlah data yang diambil	: 3000 sampel
Kondisi pembebanan	:
Katup manual terbuka	: V1,V3, V4, dan V5
Katup manual tertutup	: V2 dan V6
Tangki penampungan	: digunakan

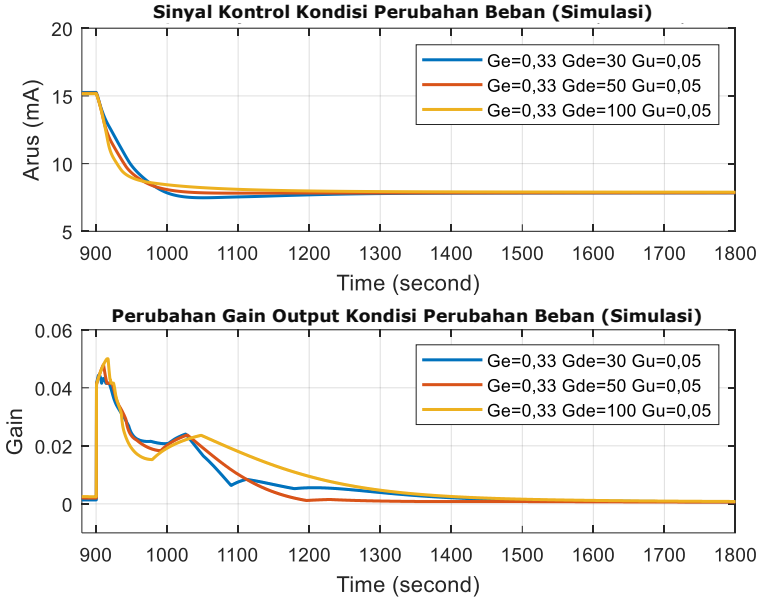
Perubahan pembebanan dilakukan dengan mengganti fungsi alih dari kondisi beban nominal ke kondisi beban minimal. Perubahan pembebanan dilakukan ketika sistem sedang beroperasi dan sudah mencapai keadaan *steady state* yaitu pada waktu sekitar 900 detik. Proses simulasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) dengan adanya perubahan dari kondisi beban nominal ini dilakukan dengan waktu periode sampling sebesar 300 milidetik. Pada proses simulasi, terdapat beberapa variasi parameter yang akan dujikan pada *plant* diataranya variasi *gain delta error* (*Gde*) dan *gain output* (*Gu*). Respon hasil simulasi dengan variasi *gain delta error* (*Gde*) pada kondisi adanya perubahan beban, respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* (*Gu*) ditunjukkan pada Gambar 4.7 dan 4.8. Sedangkan respon hasil simulasi dengan variasi *gain output* (*Gu*) pada kondisi adanya perubahan beban, respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* (*Gu*) ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan 4.10. Tabel 4.3 menunjukkan performansi sistem dengan variasi *gain delta error* (*Gde*) pada kondisi adanya perubahan beban dan Tabel 4.4 menunjukkan performansi sistem dengan variasi *gain output* (*Gu*) pada kondisi adanya perubahan beban.



Gambar 4.7 Respon simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban

Tabel 4.3 Performa simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban

Parameter	*Error steady state* (%Ess)	*Time Recovery*	*% Perubahan Tekanan*	*IAE*	*ITAE*	*ISE*
Gde = 30	0,77 %	507 s	60,1 %	733,06	102291	791,5
Gde = 50	0,57 %	240 s	50,6 %	594,23	67338	585,1
Gde = 100	0,73 %	491 s	43,3 %	713,88	113034	526,8

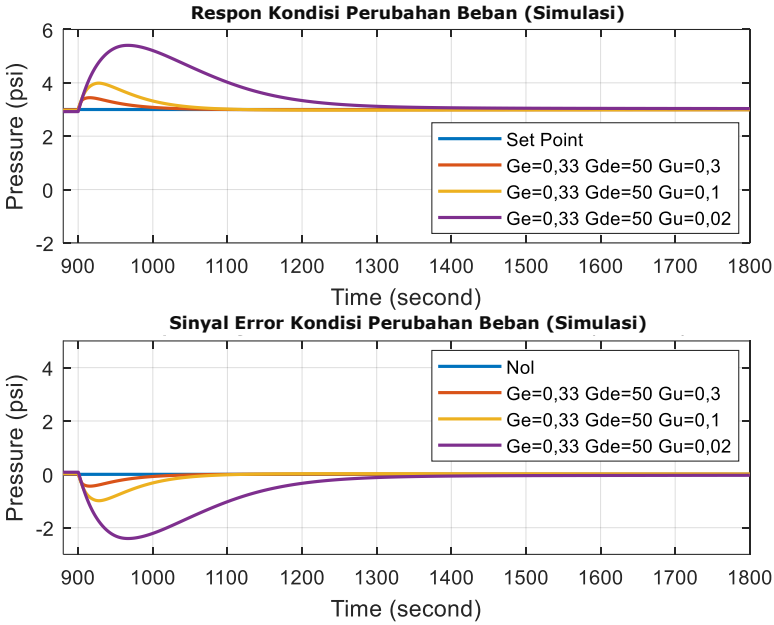


Gambar 4.8 Respon simulasi sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban

Dari hasil simulasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) saat terjadi perubahan beban dari kondisi awal beban nominal dimana sistem telah beroperasi kurang lebih selama 900 detik yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa dengan adanya perubahan parameter *gain delta error* (*Gde*) mulai dari *gain* sebesar 30, 50, dan 100. Respon dengan kenaikan tekanan paling kecil dimiliki oleh respon dengan parameter *gain delta error (Gde)* = 100 yaitu dengan nilai % perubahan tekanan = 50,6 %. Untuk nilai *error steady state* (% Ess) yang paling kecil dimiliki oleh respon yang menggunakan parameter *gain delta error* (*Gde*) = 50 yaitu dengan *error steady state* yang dihasilkan sebesar 0,57 %. Sedangkan untuk *time recovery* atau waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk kembali mencapai nilai *steady state* (Ess sekitar 3,3 %) setelah adanya perubahan beban paling cepat dimiliki oleh respon dengan parameter *gain delta error (Gde)* = 50 yaitu dalam waktu 240 detik.

Spesifikasi desain kontroler yang dirancang pada bab 3 ketika terjadi perubahan beban adalah sistem memiliki *time recovery* yang cepat, nilai

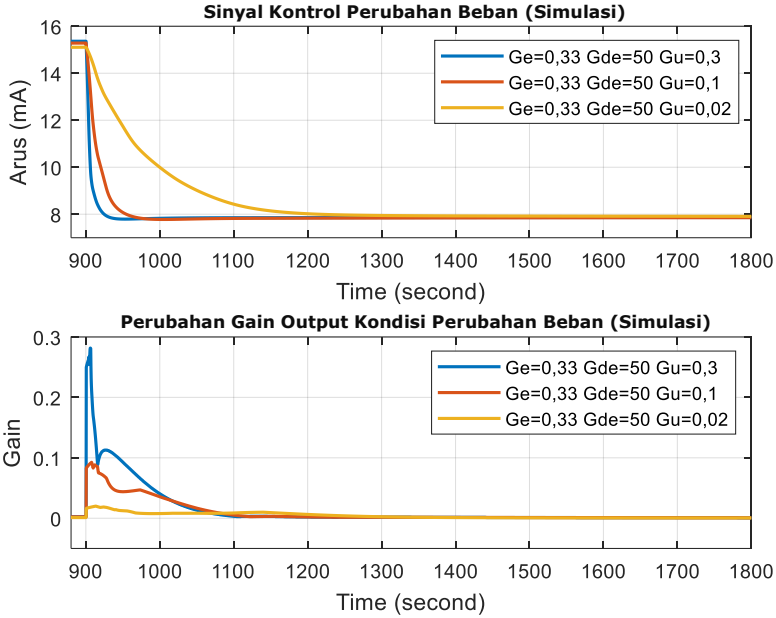
% kenaikan tekanan yang terkecil dan *error steady state* (% Ess) mendekati 0. Dengan demikian hasil pengujian yang paling mendekati spesifikasi yang sudah direncanakan adalah desain dengan parameter *gain error (Gu)* = 0,33, *gain delta error (Gde)* = 50 dan *gain output (Gu)* = 0,05 dimana nilai *error steady state* (% Ess) = 0,57 %, nilai % perubahan tekanan = 50,6 % dan *time recovery* selama 240 detik.



Gambar 4.9 Respon simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban

Tabel 4.4 Performa simulasi kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban

Parameter	*Error steady state* (%Ess)	*Time Recovery*	*% Perubahan Tekanan*	*IAE*	*ITAE*	*ISE*
Gu = 0,3	0,14 %	118 s	14,7 %	106,49	10972	26,93
Gu = 0,1	0,37 %	172 s	32,93 %	301,09	34732	176,8
Gu = 0,02	1,2 %	579 s	80 %	1539,6	240346	2434



Gambar 4.10 Respon simulasi sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban

Dari hasil simulasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) saat terjadi perubahan beban dari kondisi beban nominal dimana sistem telah beroperasi kurang lebih selama 900 detik yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa dengan adanya perubahan parameter *gain output* (*Gu*) mulai dari *gain* sebesar 0,3, 0,1, dan 0,02. Respon dengan kenaikan tekanan paling kecil dimiliki oleh respon dengan parameter *gain output (Gu)* = 0,3 yaitu dengan nilai % perubahan tekanan = 14,7 %. Untuk nilai *error steady state* (% Ess) yang paling kecil dimiliki oleh respon yang menggunakan parameter *gain output* (*Gu*) = 0,3 yaitu dengan *error steady state* yang dihasilkan sebesar 0,14 %. Sedangkan untuk *time recovery* atau waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk kembali mencapai nilai *steady state* (Ess sekitar 3,3 %) setelah adanya perubahan beban paling cepat dimiliki oleh respon dengan parameter *gain output (Gu)* = 0,3 yaitu dalam waktu 118 detik.

Spesifikasi desain kontroler yang dirancang pada bab 3 ketika terjadi perubahan beban adalah sistem memiliki *time recovery* yang cepat, nilai

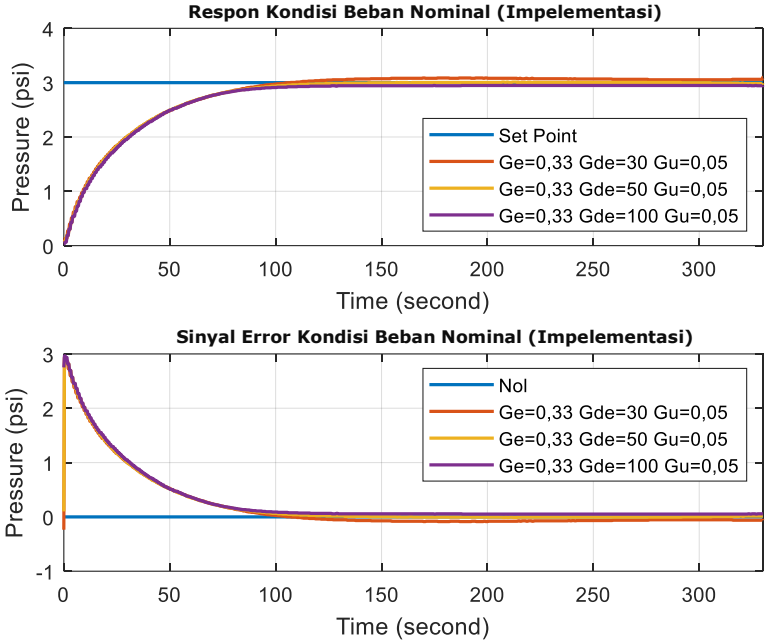
% kenaikan tekanan yang terkecil dan *error steady state* (% Ess) mendekati 0. Dengan demikian hasil pengujian yang paling mendekati spesifikasi yang sudah direncanakan adalah desain dengan parameter *gain error (Gu)* = 0,33, *gain delta error (Gde)* = 50 dan *gain output (Gu)* = 0,3 dimana nilai % perubahan tekanan = 14,7 %, *time recovery* selama 118 detik dan nilai *error steady state* (% Ess) = 0,14 %.

4.3. Pengujian Kondisi Beban Nominal

Pengujian ini bertujuan untuk melihat performansi dari kontroler dengan beberapa nilai parameter kontroler yang sudah dirancang pada Bab 3. Kondisi beban nominal pada *plant* diatur sebagai berikut ini :

Kondisi Nominal :	
Masukkan *plant*	: 3 psi (1,52 V / 15,2 mA)
Jumlah data yang diambil	: 1100 sampel
Kondisi pembebanan	:
Katup manual terbuka	: V1,V3, V4, dan V5
Katup manual tertutup	: V2 dan V6
Tangki penampungan	: digunakan

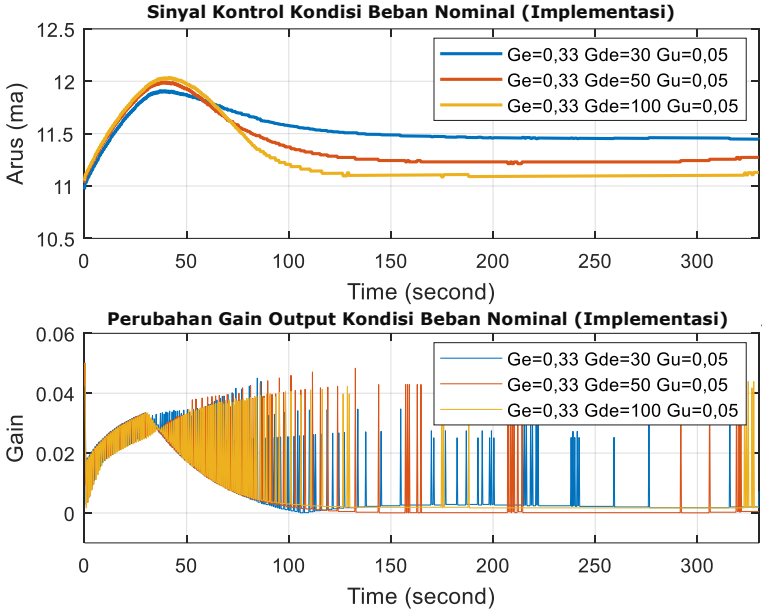
Proses implementasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) pada kondisi beban nominal ini dilakukan dengan waktu periode sampling sebesar 300 milidetik. Pada proses implementasi, terdapat beberapa variasi parameter yang akan dujikan pada *plant* diataranya variasi *gain delta error* (*Gde*) dan *gain output* (*Gu*). Respon hasil implementasi dengan variasi *gain delta error* (*Gde*), respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* (*Gu*) ditunjukkan pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12. Sedangkan respon hasil implementasi dengan variasi *gain output* (*Gu*), respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* (*Gu*) ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13. Tabel 4.5 menunjukkan performansi sistem variasi *gain delta error* (*Gde*) dan Tabel 4.6 menunjukkan performansi sistem dengan variasi *gain output* (*Gu*).



Gambar 4.11 Respon kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error*

Tabel 4.5 Performa kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error*

Parameter	*Error steady state* (% Ess)	ts (±5%)	% *overshoot*	*IAE*	*ITAE*	*ISE*
Gde = 30	1,7 %	85,9 s	2,66 %	307,50	16963	385,06
Gde = 50	0,13 %	80,94 s	0 %	269,20	7776,9	390,38
Gde = 100	1,7 %	75,8 s	0 %	313,19	15770	411,39

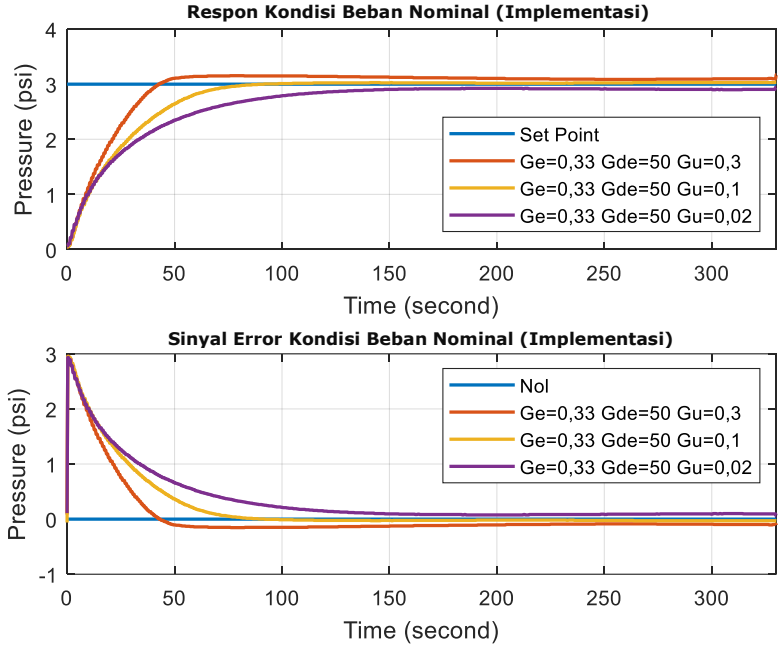


Gambar 4.12 Respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain delta error*

Dari hasil implementasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) saat kondisi beban nominal yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa adanya perubahan parameter *gain delta error* (*Gde*) mulai dari *gain* sebesar 30, 50, dan 100, hanya respon dengan *Gde* = 30 yang mengalami *overshoot* yaitu sebesar 2,66 %. Dengan semakin besarnya nilai *gain delta error* (*Gde*) respon menjadi lebih lambat, hal ini dapat dilihat dari *settling time* respon. Untuk nilai *error steady state* (% Ess) yang paling kecil dimiliki oleh respon yang menggunakan parameter *gain delta error* (*Gde*) = 50 yaitu dengan *error steady state* yang dihasilkan sebesar 0,13%.

Spesifikasi desain kontroler yang dirancang pada bab 3 adalah sistem tidak boleh mengalami *overshoot* lebih dari 5 % dan *error steady state* (% Ess) mendekati 0. Dengan demikian hasil pengujian yang paling mendekati spesifikasi yang sudah direncanakan adalah desain dengan parameter *gain error (Gu)* = 0,33, *gain delta error (Gde)* = 50 dan *gain*

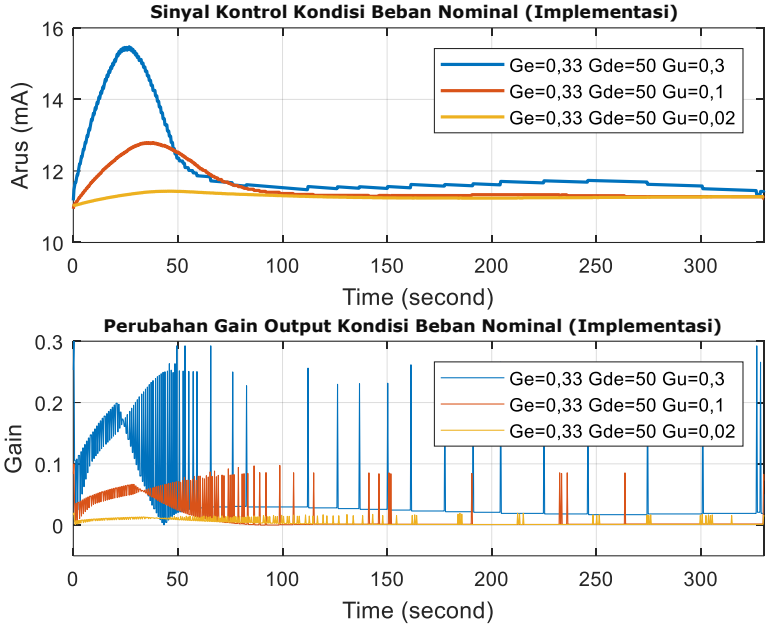
output (Gu) = 0,05 dimana nilai *error steady state* (% Ess) = 0,13 %, nilai % *overshoot* = 0 % dan *settling time* (±5%) = 80,94 detik.



Gambar 4.13 Respon kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output*

Tabel 4.6 Performa kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output*

Parameter	*Error steady state* (%Ess)	ts (±5%)	% *overshoot*	*IAE*	*ITAE*	*ISE*
Gu = 0,3	3,03 %	40,65 s	5,13 %	273,01	20772	312,6
Gu = 0,1	0,96 %	64,72 s	0 %	252,55	8707	381,4
Gu = 0,02	3,17 %	97,05 s	0 %	378,14	24736	438,1



Gambar 4.14 Respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain output*

Dari hasil implementasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) saat kondisi beban nominal yang ditunjukkan pada Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa dengan adanya perubahan parameter *gain output* (*Gu*) mulai dari *gain* sebesar 0,3, 0,1, dan 0,02, hanya respon dengan *Gu* = 0,3 yang mengalami *overshoot* yaitu sebesar 5,13 %. Untuk respon dengan nilai *error steady state* (% Ess) paling kecil dan *settling time* paling cepat dimiliki oleh respon dengan parameter *gain output* (*Gu*) = 0,1 dengan nilai *error steady state* = 0,96 % dan *settling time* = 64,72 detik.

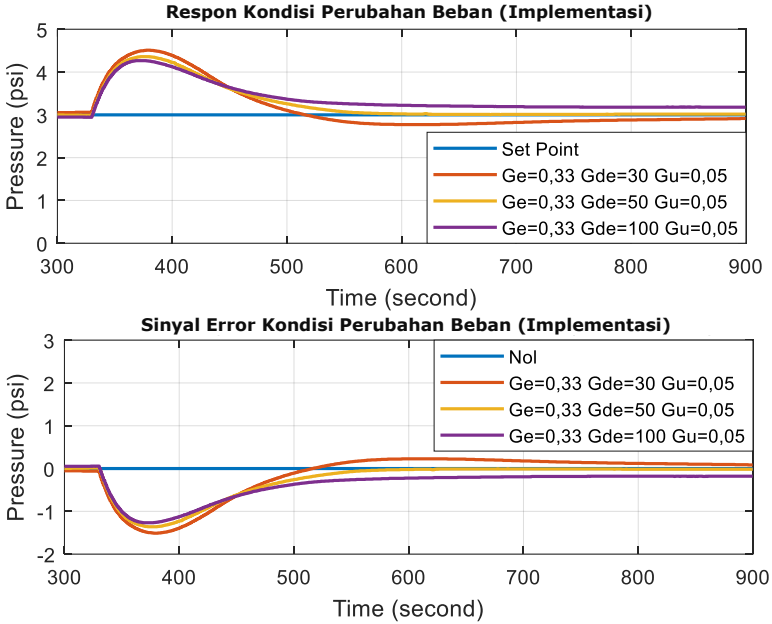
Spesifikasi desain kontroler yang dirancang pada bab 3 adalah sistem tidak boleh mengalami *overshoot* lebih dari 5 % dan *error steady state* (% Ess) mendekati 0. Dengan demikian hasil pengujian yang paling mendekati spesifikasi yang sudah direncanakan adalah desain dengan parameter *gain error (Gu)* = 0,33, *gain delta error (Gde)* = 50 dan *gain output (Gu)* = 0,1 dimana nilai *error steady state* (% Ess) = 0,96 %, % *overshoot* = 0 % dan *settling time* (±5%) = 64,72 detik.

4.4. Pengujian Kondisi Perubahan Beban

Pengujian ini bertujuan untuk melihat performansi dari kontroler dengan beberapa nilai parameter kontroler yang sudah dirancang pada Bab 3 ketika terjadi perubahan beban. Dengan kondisi beban nominal pada *plant* diatur sebagai berikut ini :

Kondisi Nominal :
Masukkan *plant* : 3 psi (1,52 V / 15,2 mA)
Jumlah data yang diambil : 3000 sampel
Kondisi pembebanan :
Katup manual terbuka : V1,V3, V4, dan V5
Katup manual tertutup : V2 dan V6
Tangki penampungan : digunakan

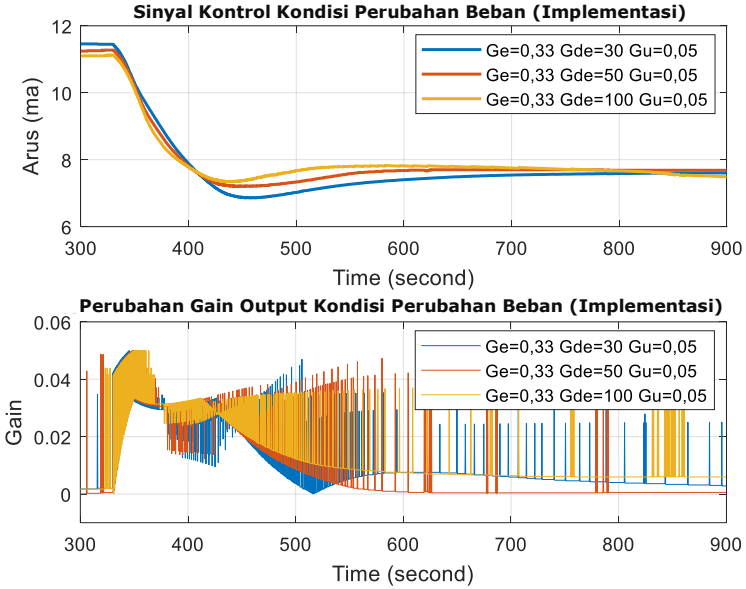
Perubahan pembebanan dilakukan dengan menutup katup manual 5 (V5) ketika sistem sedang beroperasi dan sudah mencapai keadaan *steady state* yaitu pada waktu sekitar 330 detik. Proses implementasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) dengan adanya perubahan dari kondisi beban nominal ini dilakukan dengan waktu periode sampling sebesar 300 milidetik. Pada proses implementasi, terdapat beberapa variasi parameter yang akan dujikan pada *plant* diataranya variasi *gain delta error* (*Gde*) dan *gain output* (*Gu*). Respon hasil implementasi dengan variasi *gain delta error* (*Gde*) pada kondisi adanya perubahan beban, respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* (*Gu*) pada kondisi adanya perubahan beban ditunjukkan pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16. Sedangkan respon hasil implementasi dengan variasi *gain output* (*Gu*) pada kondisi adanya perubahan beban, respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* (*Gu*) pada kondisi adanya perubahan beban ditunjukkan pada Gambar 4.17 dan Gambar 4.18. Tabel 4.7 menunjukkan performansi sistem dengan variasi *gain delta error* (*Gde*) pada kondisi adanya perubahan beban dan Tabel 4.8 menunjukkan performansi sistem dengan variasi *gain output* (*Gu*) pada kondisi adanya perubahan beban.



Gambar 4.15 Respon kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban

Tabel 4.7 Performa kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban

Parameter	*Error steady state* (%Ess)	*Time Recovery*	% *Perubahan Tekanan*	*IAE*	*ITAE*	*ISE*
Gde = 30	2,8 %	513, 3 s	50,36 %	711,5	106126	620,9
Gde = 50	0,56 %	209 s	45,33 %	524,1	46733	491,1
Gde = 100	5,96 %	>570 s	42,20 %	745,7	132825	503,1

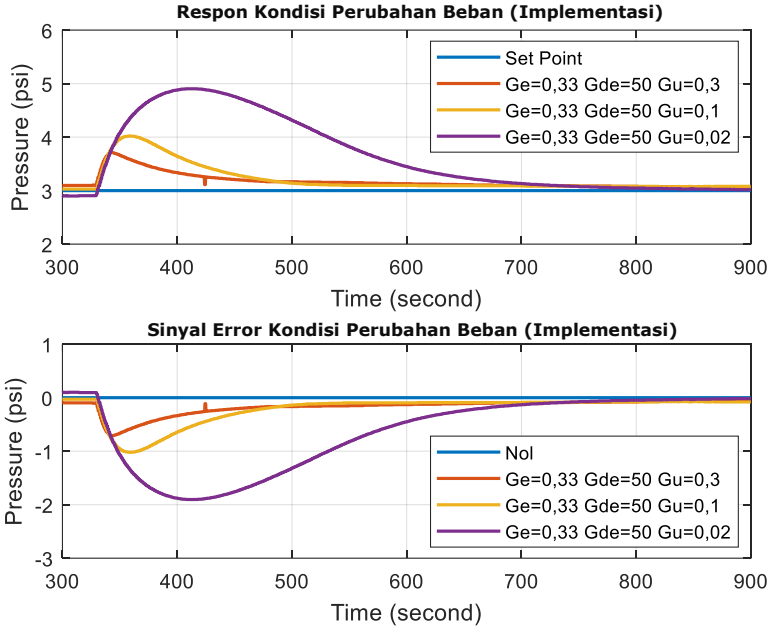


Gambar 4.16 Respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain delta error* pada kondisi adanya perubahan beban

Dari hasil implementasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) saat terjadi perubahan beban dari kondisi awal beban nominal dimana sistem telah beroperasi kurang lebih selama 330 detik yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa dengan adanya perubahan parameter *gain delta error* (*Gde*) mulai dari *gain* sebesar 30, 50, dan 100. Respon dengan *overshoot* paling kecil dimiliki oleh respon dengan parameter *gain delta error (Gde)* = 100 yaitu dengan nilai % perubahan tekanan = 42,20 %. Untuk nilai *error steady state* (% Ess) yang paling kecil dimiliki oleh respon yang menggunakan parameter *gain delta error* (*Gde*) = 50 yaitu dengan *error steady state* yang dihasilkan sebesar 0,56 %. Sedangkan untuk *time recovery* atau waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk kembali mencapai nilai *steady state* (Ess sekitar 3,3 %) setelah adanya perubahan beban paling cepat dimiliki oleh respon dengan parameter *gain delta error (Gde)* = 50 yaitu dalam waktu 209 detik.

Spesifikasi desain kontroler yang dirancang pada bab 3 ketika terjadi perubahan beban adalah sistem memiliki *time recovery* yang cepat, nilai % kenaikan tekanan yang terkecil dan *error steady state* (% Ess)

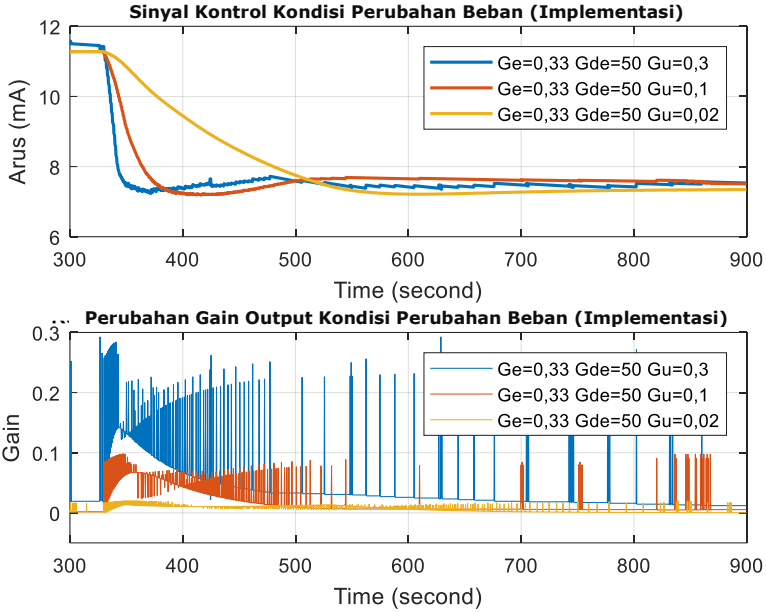
mendekati 0. Dengan demikian hasil pengujian yang paling mendekati spesifikasi yang sudah direncanakan adalah desain dengan parameter *gain error (Gu)* = 0,33, *gain delta error (Gde)* = 50 dan *gain output (Gu)* = 0,05 dimana nilai *error steady state* (% Ess) = 0,56 %, nilai % perubahan tekanan = 45,33 % dan *time recovery* selama 209 detik.



Gambar 4.17 Respon sinyal kontrol dan perubahan *gain output* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban

Tabel 4.8 Performa kontroler *self-tuning fuzzy PI* dengan variasi *gain output* pada kondisi adanya perubahan beban

Parameter	*Error steady state* (%Ess)	*Time Recovery*	% Perubahan Tekanan	*IAE*	*ITAE*	*ISE*
Gu = 0,3	2,03 %	345,8 s	23,43 %	327,94	58212	95,26
Gu = 0,1	2,66 %	214,1 s	34,06 %	417,47	61122	216,87
Gu = 0,02	0,56 %	394,3 s	63,43 %	1278,9	182032	1736,7



Gambar 4.18 Grafik perubahan *gain updating factor* pada kondsi adanya perubahan beban dengan variasi *gain output*

Dari hasil implementasi metode kontrol *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC) saat terjadi perubahan beban dari kondisi beban nominal dimana sistem telah beroperasi kurang lebih selama 330 detik yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa dengan adanya perubahan parameter *gain output* (*Gu*) mulai dari *gain* sebesar 0,3, 0,1, dan 0,02. Respon dengan *overshoot* paling kecil dimiliki oleh respon dengan parameter *gain output (Gu)* = 0,3 yaitu dengan nilai % perubahan tekanan = 23,43 %. Untuk nilai *error steady state* (% Ess) yang paling kecil dimiliki oleh respon yang menggunakan parameter *gain output* (*Gu*) = 0,02 yaitu dengan *error steady state* yang dihasilkan sebesar 0,56 %. Sedangkan untuk *time recovery* atau waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk kembali mencapai nilai *steady state* (Ess sekitar 3,3 %) setelah adanya perubahan beban paling cepat dimiliki oleh respon dengan parameter *gain output (Gu)* = 0,1 yaitu dalam waktu 214,1 detik.

Spesifikasi desain kontroler yang dirancang pada bab 3 ketika terjadi perubahan beban adalah sistem memiliki *time recovery* yang cepat, nilai

% perubahan tekanan yang terkecil dan *error steady state* (% Ess) mendekati 0. Dengan demikian hasil pengujian yang paling mendekati spesifikasi yang sudah direncanakan adalah desain dengan parameter *gain error (Gu)* = 0,33, *gain delta error (Gde)* = 50 dan *gain output (Gu)* = 0,1 dimana nilai % kenaikan tekanan = 19,96 %, *time recovery* selama 214,1 detik dan nilai *error steady state* (% Ess) = 2,66 %.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB 5
PENUTUP

Bagian ini mengulas mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan dan kendala yang dihadapi selama proses pengerjaan ke dalam kesimpulan dan saran.

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan proses penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal, sebagai berikut ini.

a) Pada keadaan nominal, hasil simulasi STFPIC dengan parameter *gain error* = 0,33, *gain delta error* = 30, dan g*ain output* = 0,05 menunjukkan performa yang paling mendekati spesifikasi yang direncanakan yaitu dengan nilai *error steady state* = 0,14 %, nilai % *overshoot* = 0 %, dan *settling time* (±5%) = 121,2 detik.
b) Pada saat terjadi kondisi perubahan beban, hasil simulasi STFPIC dengan parameter *gain error* = 0,33, *gain delta error* = 50, dan g*ain output* = 0,3 menunjukkan performa yang terbaik pada semua kriteria yang digunakan mulai dari IAE, ITAE, dan ISE memiliki nilai terkecil serta *error steady state* = 0,14 %, nilai % perubahan tekanan = 14,7 % dan *time recovery* selama 118 detik.
c) Pada keadaan nominal, hasil implementasi STFPIC dengan parameter *gain error* = 0,33, *gain delta error* = 50, dan g*ain output* = 0,05 menunjukkan performa yang paling mendekati spesifikasi yang direncanakan yaitu dengan nilai *error steady state* = 0,13 %, nilai % *overshoot* = 0 % dan *settling time* (±5%) = 80,94 detik.
d) Pada saat terjadi kondisi perubahan beban, hasil implementasi STFPIC dengan parameter *gain error* = 0,33, *gain delta error* = 50, dan g*ain output* = 0,05 menunjukkan performa yang terbaik pada semua kriteria yang digunakan mulai dari IAE, ITAE, dan ISE memiliki nilai terkecil serta *error steady state* = 0,56 %, nilai % perubahan tekanan = 45,33 % dan *time recovery* selama 209 detik.

5.2. Saran

Beberapa saran yang diusulkan untuk penelitian selanjutnya agar lebih baik, sebagai berikut ini :

a) Sebelum penggunaan peralatan *Pressure Process* Rig 38-714 sebaiknya terlebih dahulu dilakukan kalibrasi pada sensor yang akan digunakan agar sistem berjalan dengan baik sebagaimana mestinya.
b) Penentuan parameter *gain error, gain delta error,* dan g*ain output* sebaiknya ditentukan dengan lebih akurat agar memberikan hasil yang lebih baik.
c) Penentuan waktu sampling pada proses implementasi ini harus dilakukan dengan cermat agar sistem berjalan sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Johnson. Curtis D. "Pneumatic Controllers," in Proces Control Instrumentation Technology, 7th ed., New Jersey, Hyderabad: Pearson Prentice Hall, 2016,pp. 485-485

[2] Rajani K. Mudi and Nikhil. Pal,. 1999. “A Robust Self-Tuning Scheme for PI and PD-Type Fuzzy Controller”. IEE Transaction on Fuzzy System, Vol 7(1).

[3] Feedback Instrument Ltd, Process Control Trainer Level, Flow, & Temperature, Crowborough, pp. 1-1.

[4] Feedback Instrument Ltd, Pressure Control Trainer Instruction Manual, Crowborough: FI Ltd.

[5] Ogata, Katsuhiko. 2010. Modern Control Engineering Fifth Edition. New York : Prentice – Hall, Inc.

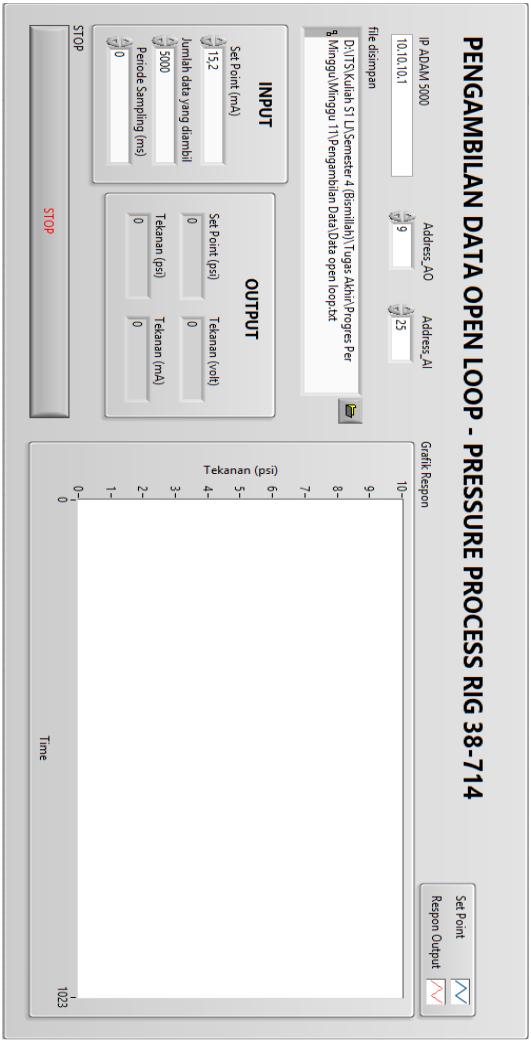
[6] Ross. Timothy J., 2010. "Fuzzy Logic with Engineering Applications Third Edition". United Kingdom : John Wiley & Sons, Ltd.

[7] A.K. Pal, I.Naskar, 2010. "Design of Self-Tuning Fuzzy PI Controller in LABVIEW for Control of a Real Time Process". International Journal of Electronics and Computer Science Engineering, ISSN-2277-1956

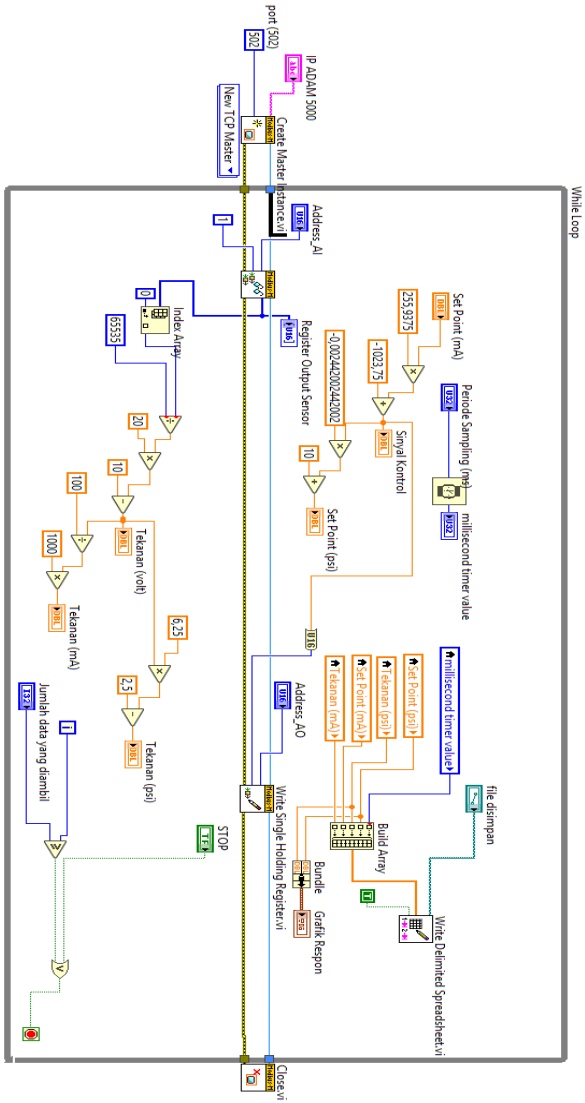
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN

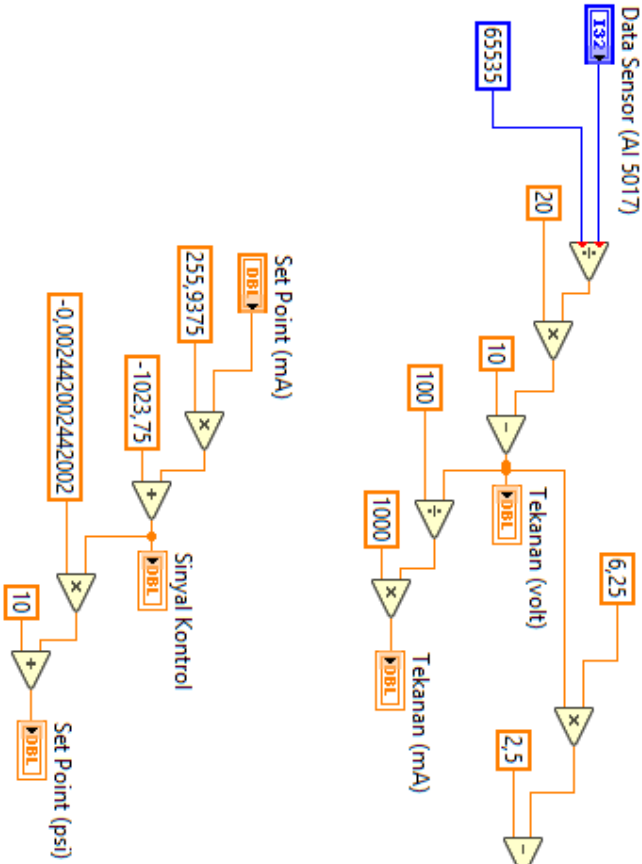
Lampiran 1. Tampilan *Human Machine Interface* (HMI) program pengambilan data sistem *open loop*



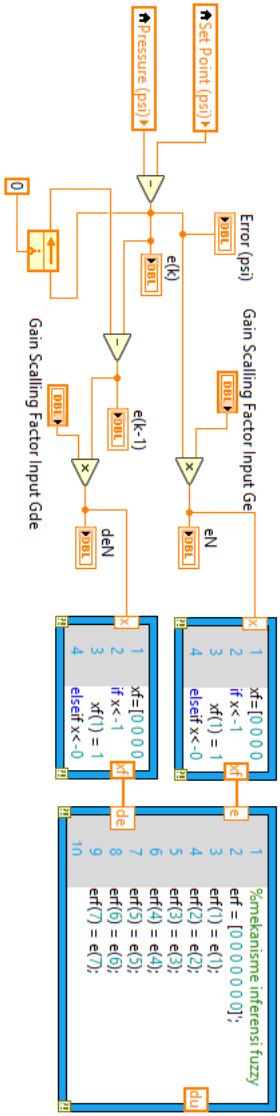
Lampiran 2. Blok diagram program *Human Machine Interface* (HMI) pengambilan data sistem *open loop*



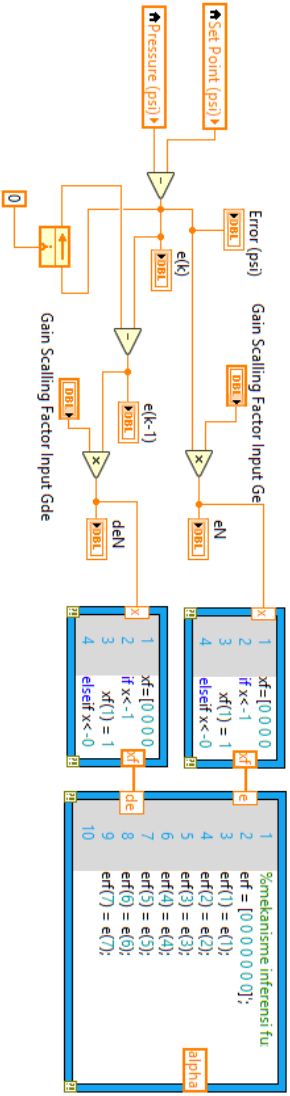
Lampiran 3. Blok diagram program penskalaan masukan dan keluaran sistem akusisi data



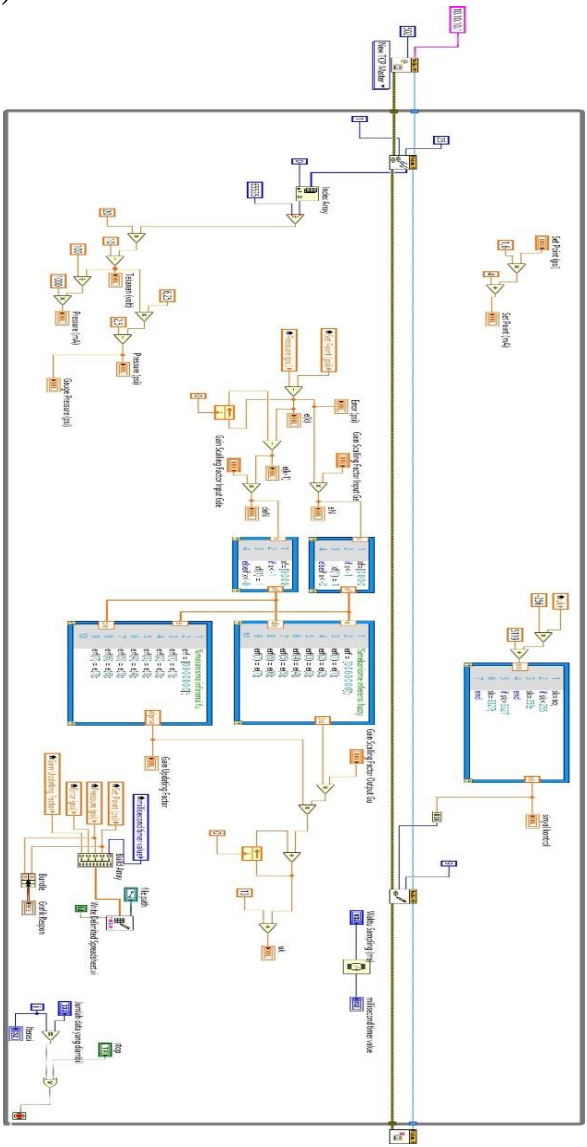
Lampiran 4. Blok diagram program kontroler utama logika fuzzy



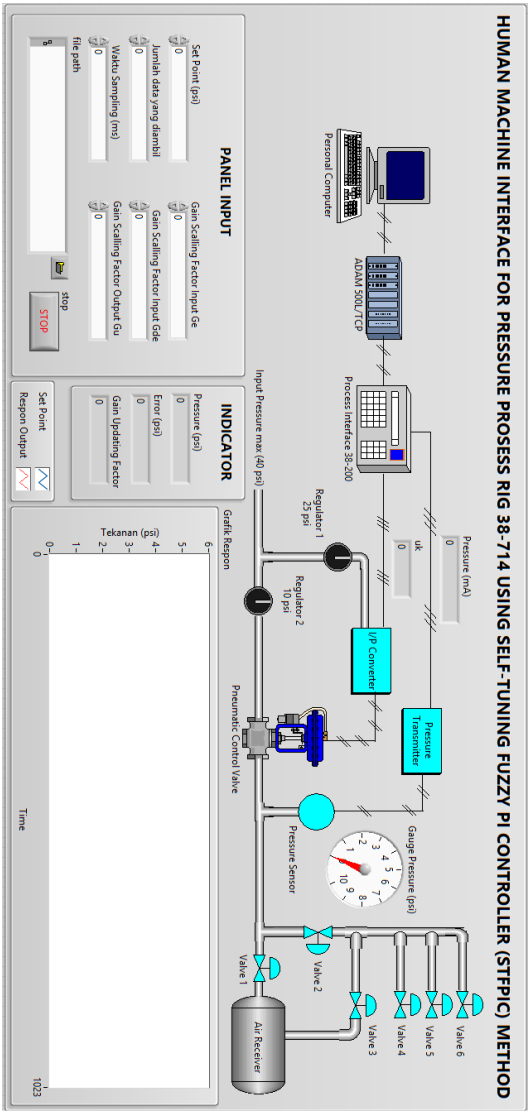
Lampiran 5. Blok diagram program *updating scalling factor* logika fuzzy



Lampiran 6. Blok diagram program *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC)



Lampiran 7. Tampilan *Human Machine Interface* (HMI) program *Self-Tuning Fuzzy PI Controller* (STFPIC)



Lampiran 8. Program MATLAB simulasi kontroler *Self-Tuning Fuzzy PI* (STFPIC)

```
%program_fuzzifikasi
function xf=fuzzy_E(x)
xf=[0 0 0 0 0 0 0];
if x<-1
    xf(1) = 1;
elseif x<-0.6667
    xf(1) = -0.6667-x;
    xf(2) = x-(-1);
elseif x<-0.3333
   xf(2) = -0.3333-x;
   xf(3) = x-(-0.6667);
elseif x<0
    xf(3) = 0-x;
    xf(4) = x-(-0.3333);
elseif x<0.3333
    xf(4) = 0.3333-x;
    xf(5) = x-0;
elseif x<0.6667
    xf(5) = 0.6667-x;
    xf(6) = x-0.3333;
elseif x<1
    xf(6) = 1-x;
    xf(7) = x-0.6667;
else
    xf(7) = 1;
end

%program_inferensi_fuzzy_sinyal_kontrol
function nom = infus(eder)
erf = [0 0 0 0 0 0 0];
erf(1) = eder(1);
erf(2) = eder(2);
erf(3) = eder(3);
erf(4) = eder(4);
erf(5) = eder(5);
erf(6) = eder(6);
```

```
erf(7) = eder(7);

derf = [0 0 0 0 0 0 0];
derf(1) = eder(8);
derf(2) = eder(9);
derf(3) = eder(10);
derf(4) = eder(11);
derf(5) = eder(12);
derf(6) = eder(13);
derf(7) = eder(14);

uf = [0 0 0 0 0 0 0];
rbf=[1 1 1 2 3 3 4
     1 2 2 2 3 4 5
     1 2 3 3 4 5 6
     1 2 3 4 5 6 7
     2 3 4 5 5 6 7
     3 4 5 6 6 6 7
     4 5 5 6 7 7 7];
for i = 1:7
    for j = 1:7
        k = rbf(i,j);
        % Inference Rules Madani
        uf(k) = max(uf(k), min(erf(j),derf(i)));
    end
end
% Normalisasi
nom = [0 0 0 0 0 0 0];
a =
1/(uf(1)+uf(2)+uf(3)+uf(4)+uf(5)+uf(6)+uf(7));
for i=1:7
    nom(i) = a * uf(i);
end

%program_inferensi_fuzzy_gain_updating_factor
function nom = infus_aa(eder)
erf = [0 0 0 0 0 0 0];
erf(1) = eder(1);
erf(2) = eder(2);
```

```
erf(3) = eder(3);
erf(4) = eder(4);
erf(5) = eder(5);
erf(6) = eder(6);
erf(7) = eder(7);

derf = [0 0 0 0 0 0 0];
derf(1) = eder(8);
derf(2) = eder(9);
derf(3) = eder(10);
derf(4) = eder(11);
derf(5) = eder(12);
derf(6) = eder(13);
derf(7) = eder(14);

uf = [0 0 0 0 0 0 0];
rbf=[7 7 7 6 4 3 1
     7 7 6 6 5 3 2
     7 5 6 7 2 3 2
     3 4 5 1 5 4 3
     2 3 2 7 6 5 7
     2 3 5 6 6 7 7
     1 3 4 6 7 7 7];
for i = 1:7
    for j = 1:7
        k = rbf(i,j);
        % Inference Rules Madani
        uf(k) = max(uf(k), min(erf(j),derf(i)));
    end
end
nom = [0 0 0 0 0 0 0];
a =
1/(uf(1)+uf(2)+uf(3)+uf(4)+uf(5)+uf(6)+uf(7));
for i=1:7
    nom(i) = a * uf(i);
end

%program_defuzzifikasi_sinyal_kontrol
function x = defusi(xf)
```

```
C=[-1 -0.6667 -0.3333 0 0.3333 0.6667 1];
pembilang =
(C(1)*xf(1))+(C(2)*xf(2))+(C(3)*xf(3))+(C(4)*xf(
4))+(C(5)*xf(5))+(C(6)*xf(6))+(C(7)*xf(7));
penyebut = sum(xf);
x = pembilang/penyebut;

%program_defuzzifikasi_gain_updating_factor
function x = defusi_a(xf)
C=[0 0.17 0.34 0.5 0.67 0.83 1];
pembilang =
(C(1)*xf(1))+(C(2)*xf(2))+(C(3)*xf(3))+(C(4)*xf(
4))+(C(5)*xf(5))+(C(6)*xf(6))+(C(7)*xf(7));
penyebut = sum(xf);
x = pembilang/penyebut;
```

Lampiran 9. Program MATLAB perhitungan ITAE (*Integral Time Absolute Error*), perhitungan IAE (*Integral Absolute Error*), perhitungan ISE (*Integral of Square Error*)

```
%Menghitung ITAE (Integral Time Absolute Error)
ITAE=zeros(1,6);
for i=1:2000
   ITAE(1,1)=ITAE(1,1)+((data1(i,1))*abs(data1(i,
   4)));%Ge=0,33 Gde=10 Gu=0,05
   ITAE(1,2)=ITAE(1,2)+((data2(i,1))*abs(data2(i,
   4)));%Ge=0,33 Gde=50 Gu=0,05
   ITAE(1,3)=ITAE(1,3)+((data3(i,1))*abs(data3(i,
   4)));%Ge=0,33 Gde=100 Gu=0,05
   ITAE(1,4)=ITAE(1,4)+((data4(i,1))*abs(data4(i,
   4)));%Ge=0,33 Gde=50 Gu=0,5
   ITAE(1,5)=ITAE(1,5)+((data5(i,1))*abs(data5(i,
   4)));%Ge=0,33 Gde=50 Gu=0,1
   ITAE(1,6)=ITAE(1,6)+((data6(i,1))*abs(data6(i,
   4)));%Ge=0,33 Gde=50 Gu=0,02
End

%Menghitung IAE (Integral Absolute Error)
IAE=zeros(1,6);
for i=1:2000
   IAE(1,1)=IAE(1,1)+(abs(data1(i,4)));%Ge=0,33
   Gde=10 Gu=0,05
   IAE(1,2)=IAE(1,2)+(abs(data2(i,4)));%Ge=0,33
   Gde=50 Gu=0,05
   IAE(1,3)=IAE(1,3)+(abs(data3(i,4)));%Ge=0,33
   Gde=100 Gu=0,05
   IAE(1,4)=IAE(1,4)+(abs(data4(i,4)));%Ge=0,33
   Gde=50 Gu=0,5
   IAE(1,5)=IAE(1,5)+(abs(data5(i,4)));%Ge=0,33
   Gde=50 Gu=0,1
   IAE(1,6)=IAE(1,6)+(abs(data6(i,4)));%Ge=0,33
   Gde=50 Gu=0,02
End
```

```
%Menghitung ISE (Integral Square Error)
ISE=zeros(1,6);
for i=2001:5000
   ISE(1,1)=ISE(1,1)+((data1(i,4))^2);%Ge=0,33
   Gde=10 Gu=0,05
   ISE(1,2)=ISE(1,2)+((data2(i,4))^2);%Ge=0,33
   Gde=50 Gu=0,05
   ISE(1,3)=ISE(1,3)+((data3(i,4))^2);%Ge=0,33
   Gde=100 Gu=0,05
   ISE(1,4)=ISE(1,4)+((data4(i,4))^2);%Ge=0,33
   Gde=50 Gu=0,5
   ISE(1,5)=ISE(1,5)+((data5(i,4))^2);%Ge=0,33
   Gde=50 Gu=0,1
   ISE(1,6)=ISE(1,6)+((data6(i,4))^2);%Ge=0,33
   Gde=50 Gu=0,02
end
```

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

RIWAYAT HIDUP

Nama	:	Muhammad Jabber
TTL	:	Jombang, 06 Januari 1997
Jenis Kelamin	:	Laki-laki
Agama	:	Islam
Alamat Rumah	:	Dungmangu, RT/RW 003/011, Desa Kedungloasari, Kec. Tembelang, Kab. Jombang
Telp/HP	:	085749653164
E-mail	:	muhammadjabber06@gmail.com
Hobi	:	Bermusik, Futsal

RIWAYAT PENDIDIKAN

- 2002 – 2008 : SDN Kedunglosari 1 Tembelang Jombang
- 2008 – 2011 : SMPN 1 Tembelang Jombang
- 2011 – 2014 : SMAN Ploso Jombang
- 2014 – 2017 : Bidang Studi Komputer Kontrol, Departemen Elektro Otomasi, Fakultas Vokasi, ITS
- 2017 – 2019 : Bidang Studi Sistem Pengaturan, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, ITS

PENGALAMAN KERJA

- Kerja Praktek di PT. PLN APD Surabaya, Jawa Timur (Agustus – September 2016).
- Kerja Praktek di PT. PJB UP Gresik, Jawa Timur (Juli – Agsutus 2018)

PENGALAMAN ORGANISASI

- Staff Departemen Komunikasi dan Informasi HIMAD3TEKTRO 2015-2016
- Kepala Biro Media Informasi HIMAD3TEKTRO 2016-2017