



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714 DENGAN  
MENGUNAKAN *FUZZY GAIN SCHEDULING PI*  
*CONTROLLER (FGS-PI)***

Hasbi Dzikri Khairilshidqi  
NRP 0711174500044

Dosen Pembimbing  
Ir. Ali Fatoni, M.T.  
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 FUZZY  
GAIN SCHEDULING PI CONTROLLER (FGS-PI)***

Hasbi Dzikri Khairilshidqi  
NRP 07111745000044

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

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

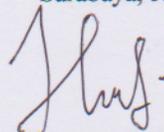


## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun kesefuruhan Tugas Akhir saya dengan “**Pengaturan Tekanan pada Rig 38-714 dengan Menggunakan Fuzzy Gain Scheduling PI Controller (FGS-PI)**” 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



Hasbi Dzikri Khairilshidqi  
NRP: 07111745000044

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

**PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714 DENGAN  
MENGUNAKAN FUZZY GAIN SCHEDULING  
PI CONTROLLER (FGS-PI)**

**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 Fatchi, MT.**  
NIP.19620603 1989031002

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



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# **PENGATURAN TEKANAN PADA RIG 38-714 DENGAN MENGGUNAKAN *FUZZY GAIN SCHEDULING PI CONTROLLER (FGS-PI)***

Nama : Hasbi Dzikri Khairilshidqi  
Pembimbing 1 : Ir. Ali Fatoni, MT.  
Pembimbing 2 : Eka Iskandar, ST., MT

## **ABSTRAK**

Dalam sistem pengaturan proses di industri terdapat beberapa variabel yang dapat diatur dalam suatu proses, salah satunya ialah udara bertekanan. Tekanan udara diatur hingga mencapai suatu titik kerja tertentu, lalu dipertahankan pada titik kerja tersebut. Dalam pengendalian variabel tersebut, permasalahan yang sering dijumpai adalah terjadinya pembebanan yang bervariasi yang mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik sistem. Kontroler PID yang menjadi standar dalam suatu sistem pengaturan memiliki respon lambat dalam menyelesaikan permasalahan tersebut. Sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut digunakan kontroler *Fuzzy Gain Scheduling PI* yang memiliki performansi yang lebih baik jika dibandingkan dengan kontroler PI. Dari hasil implementasi pada *plant Pressure Process Rig 38-714* didapat data hasil pengujian untuk unjuk kerja dari kontroler *Fuzzy Gain Scheduling PI* dengan *settling time* (5%) terdapat nilai eror sebesar 0,125% pada beban nominal, pada beban maksimal nilai eror sebesar 0,425% dan pada saat beban minimal nilai eror sebesar 0,35%. Waktu *recovery* pada saat terjadi perubahan beban berkisar 200 detik dengan *overshoot* maksimal kurang dari 50%.

**Kata kunci :** *Fuzzy Gain Scheduling PI, Pressure Control, Rig 38-714, Sistem Pengaturan Proses.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# ***PRESSURE CONTROL FOR RIG 38-714 USING FUZZY GAIN SCHEDULING PI CONTROLLER (FGS-PI)***

*Name* : Hasbi Dzikri Khairilshidqi  
*Supervisor 1* : Ir. Ali Faton, MT  
*Supervisor 2* : Eka Iskandar, ST., MT

## ***ABSTRACT***

*In industrial process control systems there are several variables that can be regulated in a process, one of which is air pressure. Air pressure is set to reach a certain work point, then maintained at that work point. In controlling this variable, the problem that is often encountered is the occurrence of varying load, which results can changes the characteristics of system. PID controllers that become standard in a regulatory system have a slow response in solving this problem. So, to overcome this problem, Fuzzy Gain Scheduling PI controller is used which has better performance compared to PI controller. From the implementation of plant Pressure Process Rig 38-714 obtained data test results for the performance of the Fuzzy Gain Scheduling PI controller with settling time (5%) there is an error value of 0.125% at nominal load, at the maximum load error value of 0.425% and when the load is minimal the error value is 0.35%. Recovery time when load changes occur in 200 seconds with maximum overshoot of less than 50%.*

***Keywords*** : *Fuzzy Gain Scheduling PI, Pressure Control, Process Control System, Rig 38-714.*

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## KATA PENGANTAR

Segala puji serta syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga tugas akhir yang berjudul “**Pengaturan Tekanan Pada Rig 38-714 Dengan Menggunakan Fuzzy Gain Scheduling PI Controller (FGS-PI)**” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan dan penyelesaian karya tulis ini khususnya penulis sampaikan kepada:

1. Kedua orangtua yang senantiasa selalu mendukung dan mendoakan.
2. Bapak Ali Fatoni dan Bapak Eka Iskandar selaku pembimbing tugas akhir yang telah banyak memberi masukan dan nasihat yang berarti bagi penulis.
3. Rekan-rekan Lintas Jalur angkatan 2017 khususnya program studi Teknik Sistem Pengaturan.
4. Rekan-rekan Tugas Akhir bimbingan Bapak Ali Fatoni dan Bapak Eka Iskandar yang selalu memberikan semangat dan saling mendukung.
5. Seluruh sahabat penghuni kontrakan serta alumni yang selalu mendukung dan menyemangati.
6. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang ikut andil dalam penyusunan karya tulis ini.

Harapan penulis semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya bagi para pembaca, serta dapat menambah wawasan dan ilmu pengetahuan dalam bidang sistem pengaturan.

Surabaya, Juni 2019

Hasbi Dzikri Khairilshidqi  
NRP 07111745000044

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....</b>	<b>v</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
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 .....	4
1.7. Relevansi atau Manfaat .....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>7</b>
2.1. Sistem Pengaturan Proses.....	7
2.2. <i>Pressure Process</i> Rig 38-714 [4] .....	8
2.3. Teori Logika Fuzzy .....	13
2.3.1. Himpunan Fuzzy.....	13
2.3.2. Fungsi Keanggotaan.....	14
2.3.2.1. <i>Fungsi Keanggotaan Segitiga</i> .....	14
2.3.2.2. <i>Fungsi Keanggotaan Trapesium</i> .....	15
2.3.2.3. <i>Fungsi Keanggotaan Gaussian</i> .....	15
2.3.2.4. <i>Fungsi Keanggotaan Generalized Bell</i> .....	17
2.3.3. Operasi Himpunan Fuzzy .....	17
2.3.4. Sistem Inferensi Fuzzy .....	20
2.4. <i>Gain Scheduling</i> .....	22
2.5. Kontroler PID [11] .....	22
2.5.1. Aksi Proposional .....	23
2.5.2. Aksi Integral.....	24
2.5.3. Aksi Derivatif.....	24
2.6. Kriteria Kesalahan [12] .....	24
2.6.1. <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i> .....	24
2.7. LabVIEW [13] .....	25
<b>BAB 3 PERANCANGAN SISTEM .....</b>	<b>29</b>

3.1.	Perancangan Konfigurasi Sistem .....	29
3.1.1.	Komputer/PC .....	31
3.1.2.	Kalibrasi Sensor .....	32
3.1.3.	Konfigurasi ADAM 5000L/TCP .....	33
3.1.4.	Metode Pembebanan .....	37
3.2.	Identifikasi Sistem <i>Open Loop</i> .....	37
3.2.1.	Pemodelan Sistem Kondisi Beban Minimal .....	38
3.2.2.	Pemodelan Sistem Kondisi Beban Nominal .....	40
3.2.3.	Pemodelan Sistem Kondisi Beban Maksimal .....	42
3.3.	Perancangan Kontroler PI.....	43
3.4.	Perancangan <i>Fuzzy Gain Scheduling</i> .....	45
3.4.1.	Fungsi Keanggotaan.....	46
3.4.2.	Basis Aturan.....	46
3.5.	Perancangan Simulasi dan Implementasi .....	48
<b>BAB 4</b>	<b>PENGUJIAN DAN ANALISA .....</b>	<b>51</b>
4.1.	Simulasi .....	51
4.1.1.	Pengujian Simulasi Kontroler Beban Minimal .....	51
4.1.2.	Pengujian Simulasi Kontroler Beban Nominal .....	53
4.1.3.	Pengujian Simulasi Kontroler Beban Maksimal .....	54
4.1.4.	Uji Kontroler <i>Fuzzy</i> pada Simulasi .....	56
4.1.5.	Uji Respon Kontroler pada Simulasi dengan Variasi Beban .....	56
4.2.	Implementasi.....	59
4.2.1.	Pengujian Implementasi Kontroler PI pada Beban Minimal .....	60
4.2.2.	Pengujian Implementasi Kontroler PI pada Beban Nominal .....	60
4.2.3.	Pengujian Implementasi Kontroler PI pada Beban Maksimal .....	61
4.2.4.	Uji Respon Kontroler pada Implementasi dengan Variasi Beban .....	62
<b>BAB 5</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>67</b>
5.1.	Kesimpulan .....	67
5.2.	Saran .....	68
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		<b>69</b>
<b>LAMPIRAN</b> .....		<b>71</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....		<b>77</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> <i>Pressure Process Rig</i> 38-714 .....	8
<b>Gambar 2.2.</b> Bagian-bagian pada <i>Pressure Process Rig</i> 38-714.....	9
<b>Gambar 2.3.</b> (a) <i>Pneumatic control valve</i> ; (b) <i>I/P converter</i> . .....	11
<b>Gambar 2.4.</b> Susunan katup pembebanan. ....	11
<b>Gambar 2.5.</b> <i>Air Receiver</i> . ....	12
<b>Gambar 2.6.</b> (a) Sensor tekanan; (b) Sensor aliran. ....	12
<b>Gambar 2.7.</b> <i>Process Interface</i> 38-200.....	13
<b>Gambar 2.8.</b> Penggambaran dari himpunan <i>fuzzy</i> . [7].....	14
<b>Gambar 2.9.</b> Fungsi Keanggotaan Segitiga dengan $\{a,b,c\}=\{2,5,8\}$ ...	15
<b>Gambar 2.10.</b> Fungsi Keanggotaan Trapesium dengan $\{a,b,c,d\}=\{1,3,7,9\}$ .....	16
<b>Gambar 2.11.</b> Fungsi Keanggotaan <i>Gaussian</i> dengan $\{c,\sigma\} = \{2,5\}$ ..	16
<b>Gambar 2.12.</b> Fungsi Keanggotaan <i>Generalized Bell</i> dengan $\{a,b,c\}=\{2,4,6\}$ .....	17
<b>Gambar 2.13.</b> Himpunan <i>fuzzy</i> A dan B .....	18
<b>Gambar 2.14.</b> Operasi Union pada himpunan <i>fuzzy</i> A dan B .....	19
<b>Gambar 2.15.</b> Operasi Interseksi pada himpunan <i>fuzzy</i> A dan B.....	19
<b>Gambar 2.16.</b> Operasi Komplemen dari himpunan <i>fuzzy</i> B.....	20
<b>Gambar 2.17.</b> Sistem Kontroler <i>Fuzzy</i> [8].....	21
<b>Gambar 2.18.</b> Blok diagram kontroler PID <i>gain scheduling</i> .....	23
<b>Gambar 2.19.</b> Contoh tampilan dari <i>front panel</i> .....	26
<b>Gambar 2.20.</b> <i>Front panel</i> dan <i>block diagram</i> yang terhubung.....	27
<b>Gambar 3.1.</b> P&ID dari <i>Pressure Process Rig</i> 38-714.....	29
<b>Gambar 3.2.</b> Skema Sistem.....	30
<b>Gambar 3.3.</b> Konfigurasi <i>plant Pressure Process Rig</i> 38-714.....	31
<b>Gambar 3.4.</b> Rangkaian kalibrasi <i>differential pressure sensor</i> .....	32
<b>Gambar 3.5.</b> Rangkaian kalibrasi <i>pressure sensor</i> .....	33
<b>Gambar 3.6.</b> <i>Window software</i> ADAM5000TCP/6000 Utility.....	35
<b>Gambar 3.7.</b> <i>Setting</i> modul analog <i>input</i> dan kanal yang digunakan... 36	36
<b>Gambar 3.8.</b> <i>Setting</i> modul analog <i>output</i> dan kanal yang digunakan. 36	36
<b>Gambar 3.9.</b> Pembebanan pada sistem <i>Pressure Proses Rig</i> 38-714 .. 37	37
<b>Gambar 3.10.</b> Skema identifikasi sistem .....	37
<b>Gambar 3.11.</b> Grafik Respon Sistem <i>Open Loop</i> Beban Minimal..... 39	39
<b>Gambar 3.12.</b> Perbandingan Respon <i>Plant</i> dan Respon Model..... 40	40
<b>Gambar 3.13.</b> Grafik Sistem <i>Open Loop</i> Beban Nominal .....	41
<b>Gambar 3.14.</b> Perbandingan Respon <i>Plant</i> dan Respon Model Beban Nominal .....	41

<b>Gambar 3.15.</b> Grafik Respon Sistem <i>Open Loop</i> Beban Maksimal .....	42
<b>Gambar 3.16.</b> Perbandingan Respon <i>Plant</i> dan Respon Model Beban Maksimal .....	43
<b>Gambar 3.17.</b> Diagram blok Sistem <i>Fuzzy Gain Scheduling</i> PI.....	46
<b>Gambar 3.18.</b> Fungsi Keanggotaan Masukan <i>Fuzzy</i> .....	47
<b>Gambar 3.19.</b> Fungsi Keanggotaan Keluaran <i>Fuzzy</i> .....	48
<b>Gambar 3.20.</b> Diagram <i>Simulink</i> Hasil Perancangan Sistem Kontrol ..	49
<b>Gambar 3.21.</b> Subsistem <i>Fuzzy Logic</i> .....	49
<b>Gambar 3.22.</b> Subsistem Kontroler PI.....	50
<b>Gambar 3.23.</b> Susbsitem <i>Plant</i> .....	50
<b>Gambar 4.1.</b> Respon <i>plant</i> tanpa kontroler pada beban minimal. ....	52
<b>Gambar 4.2.</b> Respon <i>plant</i> kontroler PI pada beban minimal. ....	52
<b>Gambar 4.3.</b> Respon <i>plant</i> tanpa kontroler beban nominal. ....	53
<b>Gambar 4.4.</b> Respon <i>plant</i> kontroler PI beban nominal. ....	54
<b>Gambar 4.5.</b> Respon <i>plant</i> tanpa kontroler beban maksimal.....	55
<b>Gambar 4.6.</b> Respon <i>plant</i> kontroler PI beban maksimal.....	55
<b>Gambar 4.7.</b> Hasil pengujian kontroler logika <i>fuzzy</i> .....	56
<b>Gambar 4.8.</b> Respon <i>plant</i> dengan kontroler PI ketika diberi beban pada keadaan transien .....	57
<b>Gambar 4.9.</b> Respon <i>Plant</i> dengan kontroler PI ketika diberi beban pada keadaan <i>steady state</i> .....	57
<b>Gambar 4.10.</b> Respon <i>plant</i> dengan kontroler FGS-PI ketika diberikan beban pada keadaan transien.....	58
<b>Gambar 4.11.</b> Respon <i>plant</i> dengan kontroler FGS-PI ketika diberikan beban pada keadaan <i>steady state</i> .....	59
<b>Gambar 4.12.</b> Respon <i>plant</i> kontroler PI beban minimal .....	60
<b>Gambar 4.13.</b> Respon <i>plant</i> kontroler PI beban nominal .....	61
<b>Gambar 4.14.</b> Respon <i>plant</i> kontroler PI beban maksimal.....	61
<b>Gambar 4.15.</b> Respon <i>plant</i> dengan kontroler PI ketika diberi beban pada keadaan transien .....	62
<b>Gambar 4.16</b> Respon <i>plant</i> dengan kontroler PI diberikan variasi beban pada keadaan <i>steady state</i> .....	63
<b>Gambar 4.17.</b> Respon <i>plant</i> dengan kontroler FGS-PI dengan pemberian beban pada keadaan transien.....	64
<b>Gambar 4.18.</b> Respon <i>plant</i> dengan kontroler FGS-PI dengan beban bervariasi .....	65

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1.</b> Fungsi Alih Sistem Beban Minimal .....	39
<b>Tabel 3.2.</b> Fungsi Alih Sistem Beban Nominal .....	41
<b>Tabel 3.3.</b> Fungsi Alih Sistem Beban Maksimal .....	42
<b>Tabel 3.4.</b> Fungsi Alih <i>Plant</i> pada Setiap Kondisi Pembebanan .....	44
<b>Tabel 3.5.</b> Nilai Parameter Kontroler PI Beban Minimal .....	45
<b>Tabel 3.6.</b> Nilai Parameter Kontroler PI Beban Nominal .....	45
<b>Tabel 3.7.</b> Nilai Parameter Kontroler PI Beban Maksimal .....	45
<b>Tabel 3.8.</b> Basis Aturan Gain K.....	47
<b>Tabel 4.1.</b> Performansi Kontroler PI pada Simulasi .....	58
<b>Tabel 4.2.</b> Performansi Kontroler FGS-PI pada Simulasi .....	59
<b>Tabel 4.3.</b> Performansi Kontroler PI pada Implementasi .....	63
<b>Tabel 4.4.</b> Performansi Kontroler FGS-PI pada Implementasi.....	65

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Udara terkompresi atau udara bertekanan adalah udara sekitar yang dimampatkan sebagai bentuk konversi energi yang digunakan untuk kebutuhan manusia. Penggunaan udara bertekanan ini sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam penggunaannya di industri. Contoh sederhana dari penggunaan udara bertekanan dalam kehidupan sehari-hari adalah penggunaan pada ban kendaraan. Dalam dunia industri penggunaan udara bertekanan memiliki tujuan untuk meningkatkan produktifitas dan efisiensi. Industri yang menggunakan udara bertekanan ini diantaranya industri *packing*, industri rokok, pengisian botol, percetakan, tekstil, farmasi dan juga digunakan sebagai media pemindah suatu benda.

Dalam dunia industri terdapat proses produksi dimana proses ini dikendalikan oleh sistem pengaturan proses yang merupakan pengaturan otomatis untuk menjaga suatu proses agar berjalan sesuai yang diinginkan. Salah satu variabel yang dapat dikendalikan oleh sistem pengaturan proses ini adalah udara bertekanan. Tekanan akan dikendalikan untuk mencapai titik kerja tertentu, lalu dipertahankan pada titik kerja tersebut. Terdapat keunggulan dari sistem yang menggunakan udara bertekanan, bila dibandingkan dengan penggunaan peralatan kelistrikan, diantaranya udara bertekanan dapat digunakan pada daerah operasi rawan percikan api, kemudian penggunaan udara bertekanan di nilai lebih murah jika dibandingkan dengan biaya penggunaan peralatan listrik.

Meskipun memiliki beberapa keunggulan, suatu proses produksi yang menggunakan udara bertekanan sebagai sumber penggerak tetap memiliki permasalahan. Salah satu permasalahan yang ditemui ialah apabila beban yang terdapat pada proses produksi tersebut bervariasi, maka tekanan udara yang digunakan untuk setiap beban yang berubah harus disesuaikan. Untuk mencari solusi dari permasalahan tersebut dilakukan suatu perancangan kontroler untuk pengaturan tekanan pada *plant* Rig 38-714, sebagai salah satu contoh *plant* yang menggunakan tekanan udara sebagai sumber penggerak.

Metode kontrol yang digunakan untuk pengaturan tekanan pada *plant* Rig 38-714 adalah metode kontrol *Fuzzy Gain Scheduling* PI.

Mengacu pada *paper* [1], penggunaan metode kontrol *Fuzzy Gain Scheduling* ini di implementasikan pada *plant* pengaturan level secara *real time*. Pada *plant* yang memiliki signifikansi kritis, dimana *overshoot* tidak dapat diterima dan kecepatan dalam mencapai *setpoint* sangat penting, kontroler PID konvensional yang tidak adaptif tidak dapat memberikan respon yang diinginkan. Dari pembahasan pada *paper* [1], metode *Fuzzy Gain Scheduling* digunakan untuk mengontrol level tangki memiliki keuntungan untuk menyesuaikan diri agar sistem dikontrol secara efisien, serta respon transien ditunjukkan lebih cepat daripada PID konvensional ketika aliran masuk pada tangki berubah dari waktu ke waktu. Begitupun yang dijelaskan pada *paper* [2], metode *Fuzzy Gain Scheduling PI* memiliki performansi yang lebih baik dari pengendali PI yaitu memiliki *settling time* 322 detik dan *maximum overshoot* 0,004%. Pada tugas akhir yang dikerjakan memiliki persoalan yang sama dengan *paper* [1] [2], yaitu mengatasi perubahan parameter pada *plant*, hanya saja *plant* yang digunakan berbeda, yaitu *plant* Rig 38-714.

## **1.2. Permasalahan**

Dalam *pressure process*, pengendalian tekanan menggunakan kontroler PI, namun karena terdapat pembebanan bervariasi sehingga tidak dapat menggunakan kontroler PI biasa, untuk itu perlu dilakukan perancangan kontroler PI sehingga dapat beradaptasi dengan kondisi beban yang dihadapi. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk merancang kontroler PI agar nilai parameternya dapat sesuai dengan kondisi beban yang dihadapi.

Pada tugas akhir ini, hal yang menjadi fokus permasalahan adalah tentang bagaimana merancang kontrol adaptif cerdas dengan menggunakan metode *Fuzzy Gain Scheduling PI Controller* (FGS-PI) pada proses pengaturan tekanan *plant Pressure Process* Rig 38-714.

## **1.3. Tujuan**

Tujuan dari tugas akhir ini adalah analisis kemampuan kontrol adaptif cerdas dengan metode *Fuzzy Gain Scheduling PI Controller* dalam menyelesaikan permasalahan variasi beban pada *PROCON Pressure Process* Rig 38-714.

## **1.4. Batasan Masalah**

Pada tugas akhir ini, permasalahan dibatasi pada *plant Pressure Process* Rig 38-714. *Plant* tersebut merupakan modul pelatihan untuk

pengaturan proses tekanan. Dengan metode kontrol yang digunakan adalah metode kontrol adaptif cerdas *Fuzzy Gain Scheduling PI Controller* (FGS-PI), pada sistem pengaturan tekanan yang mengalami perubahan karakteristik yang diakibatkan oleh perubahan beban yang bervariasi.

## 1.5. Metodologi

Metode yang digunakan pada tugas akhir ini antara lain:

- Studi Literatur  
Studi literatur perlu dilakukan untuk menunjang penguasaan bahasan mengenai tugas akhir yang dikerjakan melalui media cetak berupa buku sumber, *paper* ataupun jurnal. Hal yang dipelajari meliputi:
  - Konsep dari sistem pengaturan tekanan.
  - Instruksi penggunaan dari *plant pressure process* Rig 38-714.
  - Identifikasi *plant pressure process* Rig 38-714.
  - Konsep perancangan kontroler *Fuzzy Gain Scheduling PI*.
- Identifikasi *Plant*  
Pada identifikasi *plant*, dilakukan pengambilan data dari masukan dan keluaran tekanan udara pada *Pressure Process* Rig 38-714 yang dilakukan secara *open loop* untuk menentukan struktur dari model dan parameter-parameter yang dibutuhkan. Proses identifikasi *plant* yang dilakukan ialah menggunakan metode identifikasi statis.
- Perancangan Kontroler  
Setelah proses identifikasi *plant* akan diperoleh fungsi transfer dari *Pressure Process* Rig 38-714 yang selanjutnya dilakukan perancangan kontroler dengan metode kontrol adaptif cerdas yang digunakan yaitu *Fuzzy Gain Scheduling PI Controller*. Metode kontrol tersebut digunakan untuk mengatasi perubahan beban pada *plant*, yang menyebabkan karakteristik *plant* berubah sehingga parameter PI yang digunakan pun harus mengikuti perubahan tersebut. Perubahan beban dilakukan dengan cara mengatur bukaan *manual valve* pada *Pressure Process* Rig 38-714.
- Simulasi  
Setelah perancangan kontroler berhasil ditempuh, kemudian dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk memeriksa performansi dari kontroler dalam mengatasi perubahan variasi beban pada *plant*. Sehingga jika performansi sudah dirasa sesuai dengan yang diinginkan dilanjutkan pada tahap implementasi.

- Implementasi  
Setelah hasil simulasi telah sesuai dengan kriteria yang ditetapkan dan dirasa aman untuk dilakukan implementasi pada plant, maka implementasi hasil perancangan kontroler pada *plant* baru dapat dilakukan.
- Analisis  
Setelah dilakukan implementasi maka selanjutnya dilakukan pengolahan data dari hasil simulasi dengan hasil dari implementasi, analisa yang dilakukan berupa perbandingan antara spesifikasi desain dengan hasil respon dari kontroler *Fuzzy Gain Scheduling PI* dalam mengatasi perubahan variasi beban.
- Penyusunan Laporan Tugas Akhir  
Pada tahap selanjutnya yaitu penulisan dan penyusunan laporan tugas akhir, yang terdiri dari bab pendahuluan, tinjauan pustaka, perancangan sistem, pengujian dan analisa, dan penutup.

## 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 meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, metodologi penelitian, sistematika laporan dan relevansi.
- Bab II : Tinjauan Pustaka  
Bab ini membahas tinjauan pustaka yang membantu penelitian, diantaranya adalah teori dari sistem pengaturan tekanan, *Pressure Process Rig 38-714*, teori *Fuzzy Gain Scheduling PI Controller* (FGS-PI).
- Bab III : Perancangan Sistem  
Bab ini membahas perancangan sistem yang meliputi proses pengambilan data dari *plant*, pemodelan *plant*, perancangan *Fuzzy Gain Scheduling PI Controller* (FGS-PI) dan perancangan skema pengaturan yang digunakan untuk mengendalikan tekanan pada *Pressure Process Rig 38-714*.
- Bab IV : Pengujian dan Analisa  
Bab ini membahas pengujian sistem hasil implementasi *Fuzzy Gain Scheduling PI Controller* (FGS-PI) pada *Pressure*

*Process Rig 38-714*, beserta analisis performa sistem terhadap perubahan beban.

Bab V : Penutup

Bab ini merupakan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

### **1.7. Relevansi atau Manfaat**

Manfaat dari tugas akhir ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya dalam bidang sistem pengaturan proses khususnya untuk permasalahan perubahan variasi beban pada proses tertentu, yang diimplementasikan pada alat laboratorium PROCON *Pressure Process Rig 38-714*.

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi tentang dasar teori yang digunakan sebagai landasan dalam mengerjakan tugas akhir ini. Dasar teori yang digunakan meliputi Sistem Pengaturan Proses, pengenalan *Pressure Process Rig* 38-714, metode identifikasi, logika *fuzzy*, metode *Gain Scheduling*, dan kontroler PI.

#### **2.1. Sistem Pengaturan Proses**

Selama lebih dari dua dekade terakhir telah terjadi perubahan dramatis dalam industri proses. Proses industri sekarang terintegrasi sehubungan dengan energi dan aliran material, semakin dibatasi oleh spesifikasi produk berkualitas tinggi, dan harus mematuhi keamanan yang semakin ketat terhadap peraturan emisi lingkungan. Kondisi operasi yang lebih ketat ini seringkali menempatkan kendala baru pada fleksibilitas operasi proses. Semua faktor ini menghasilkan tambahan pengeluaran biaya untuk sistem kontrol dengan kinerja tinggi yang handal pada industri modern.

Untungnya, masalah kontrol proses yang lebih menantang ini muncul pada waktu ketika era komputer *digital real time* murah dan tersedia untuk menerapkan strategi kontrol yang lebih canggih. Sebagian besar pabrik baru di industri kimia, perminyakan, kertas, baja, dan industri terkait lainnya dirancang dan dibangun dengan jaringan mini mikrokomputer untuk melakukan akuisisi data dan kontrol proses. Ini biasanya berupa sistem kontrol terdistribusi yang tersedia secara komersial. Dengan demikian akuisisi data komputer digital, pemantauan proses, dan kontrol proses adalah suatu aturan yang harus dipenuhi dalam praktik kontrol proses industri saat ini.

Dalam suatu proses industri, sistem kontrol proses adalah entitas yang dibebankan tanggung jawab untuk memantau keluaran, membuat keputusan tentang cara terbaik untuk memanipulasi input agar dapat diperoleh perilaku keluaran yang diinginkan, dan secara efektif mengimplementasikan keputusan tersebut pada suatu proses. Oleh karena itu, mudah untuk memecah tanggung jawab sistem kontrol proses ke dalam tiga tugas utama berikut:

- Memantau variabel *output* proses dengan pengukuran.

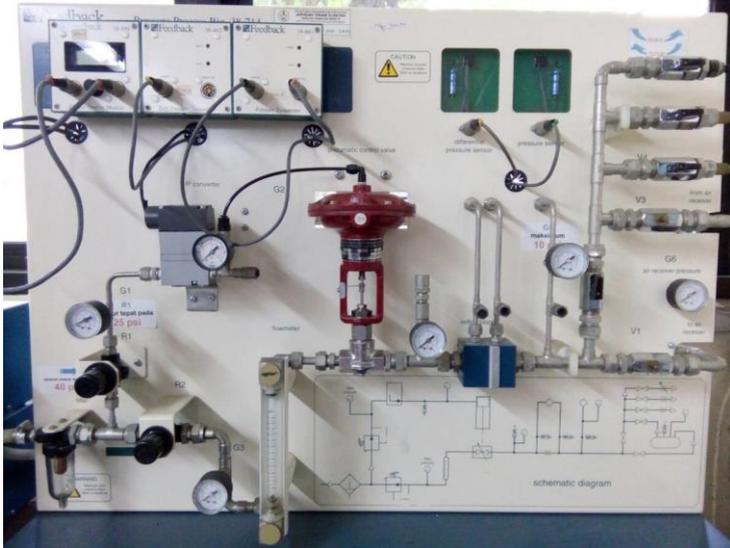
- Membuat keputusan rasional mengenai tindakan korektif apa yang dibutuhkan berdasarkan informasi tentang keadaan saat ini dan keadaan yang diinginkan proses.
- Secara efektif menerapkan keputusan tersebut pada proses.

Ketika tugas-tugas tersebut dilakukan secara manual oleh operator manusia, maka sistem kontrol tersebut disebut juga sistem kontrol manual. Kemudian di sisi lain, sistem kontrol di mana tugas-tugas tersebut dilakukan secara otomatis oleh mesin, maka dikenal sebagai sistem kontrol otomatis; khususnya, ketika mesin yang terlibat adalah komputer, maka dikenal sebagai sistem kontrol komputer.

Dengan kemungkinan pengecualian dari sistem kontrol manual, semua sistem kontrol lainnya memerlukan elemen perangkat keras tertentu untuk melakukan masing-masing tugas yang diperinci di atas. [3]

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

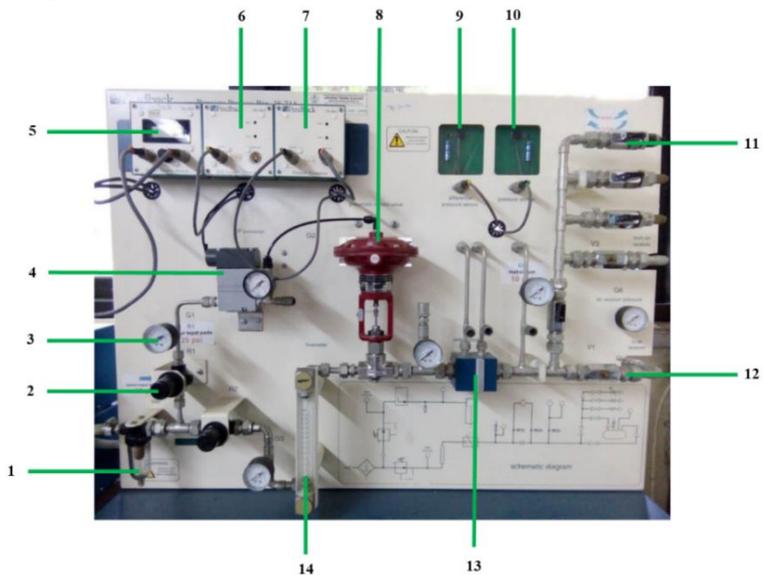
*Pressure Process Trainer Rig 38-714* merupakan peralatan laboratorium atau *trainer* yang memiliki fungsi sebagai media pembelajaran serta untuk memperkenalkan dan menunjukkan prinsip dari proses pengukuran dan pengaturan tekanan yang ada di industri. Panel depan dari *Pressure Process Rig 38-714* ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1.** *Pressure Process Rig 38-714*

Adapun cara kerja dari *Pressure Process Rig* 38-714 adalah sebagai berikut:

Pada pengoperasian *process control trainer* Rig 38-714, kompresor bekerja menghasilkan udara bertekanan, udara bertekanan ini kemudian masuk ke *plant* yang terbagi pada dua jalur pipa, yaitu jalur untuk *pneumatic control valve* dengan besarnya tekanan diatur oleh regulator 1, sedangkan jalur lainnya untuk proses dengan besarnya tekanan diatur oleh regulator 2. *Pneumatic control valve* pada *trainer* dioperasikan oleh *current to pressure converter (I/P)* yang merupakan pengubah sinyal elektrik menjadi sinyal pneumatik. *I/P Converter* menerima sinyal kontrol sebesar 4-20 mA dan mengubahnya menjadi sinyal pneumatik sebesar 3-15 psi. Lalu, udara yang terdapat pada jalur proses dikendalikan tekanannya oleh *pneumatic control valve*. Udara dapat dibuang langsung pada tekanan atmosfer atau dapat ditampung pada penampung udara. Penggunaan penampung udara tergantung dari susunan katup manual yang dapat disusun secara seri, paralel, atau tidak digunakan. Sedangkan, bagian-bagian yang terdapat pada *Pressure Process Rig* 38-714 ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



**Gambar 2.2.** Bagian-bagian pada *Pressure Process Rig* 38-714.

Berikut penjelasan dari nomer yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, mengenai bagian-bagian dari *Pressure Process Rig* 38-714:

1. Filter
2. *Regulator*
3. *Gauge Pressure*
4. *I/P converter*
5. Modul *display*
6. *Differential pressure transmitter*
7. *Pressure transmitter*
8. *Pneumatic control valve*
9. *Differential pressure sensor*
10. *Pressure sensor*
11. *Manual valve*
12. *Air receiver*
13. *Orifice block*
14. *Flowmeter*

Terdapat beberapa peralatan pendukung pada *Pressure Process Rig* 38-714 agar dapat dilakukan pengendalian pada saat *plant* beroperasi. Peralatan pendukung tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a) *Pneumatic Control Valve*

*Pneumatic control valve* merupakan sebuah katup yang mampu mengatur tekanan udara yang dialirkan dalam suatu pipa, dimana katup ini dioperasikan oleh *I/P converter*. *I/P converter* merupakan suatu alat pengubah sinyal listrik menjadi sinyal pneumatik. *I/P converter* menerima sinyal kontrol sebesar 4-20 mA dan diubahnya menjadi sinyal pneumatik 3-15 psi. Sinyal pneumatik ini yang menentukan seberapa besar bukaan dari *pneumatic control valve* dimana katup ini memiliki sifat *air to close*, yaitu semakin besar tekanan yang diberikan maka katup akan semakin tertutup. *Pneumatic control valve* ditunjukkan pada Gambar 2.3(a), sedangkan *I/P converter* ditunjukkan pada Gambar 2.3(b).

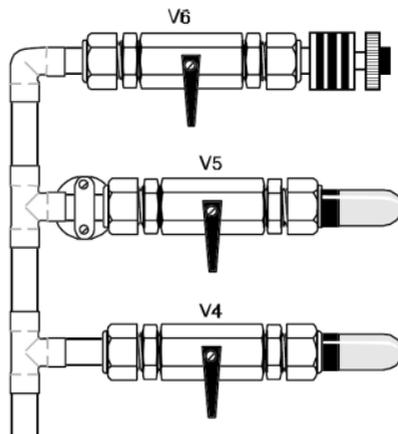
b) Katup Manual

*Pressure Process Rig* 38-714 memiliki 6 buah katup manual, diantaranya adalah katup 1 dan katup 3 untuk dihubungkan pada *air receiver*, katup 2 merupakan katup yang terhubung dengan katup 4, katup 5, dan katup 6 yang terhubung langsung dengan tekanan atmosfer melewati penyaring udara terlebih dahulu. Penyaring udara ini berfungsi sebagai penghambat dengan nilai hambatan pada katup 4 dan katup 5 adalah tetap, sedangkan nilai hambatan pada katup 6 dapat diubah.

Sehingga katup 4, katup 5, dan katup 6 merupakan difungsikan sebagai beban/gangguan pada *plant*. Pada Gambar 2.4 diperlihatkan susunan dari katup 4, katup 5, dan katup 6, sehingga didapatkan beberapa kemungkinan pembebanan pada *plant*.



**Gambar 2.3.** (a) *Pneumatic control valve*; (b) *I/P converter*.



**Gambar 2.4.** Susunan katup pembebanan.

c) *Air Receiver*

*Air receiver* memiliki fungsi sebagai tempat penampungan udara, dimana alat ini digunakan untuk menjaga kestabilan dari tekanan udara ketika tekanan udara diberikan perubahan pembebanan yang diatur berdasarkan susunan katup manual. Jika *air receiver* digunakan (katup 1 dan katup 3 terbuka), maka tekanan akan memiliki respon

yang lebih lambat. Pada Gambar 2.5 ditunjukkan *air receiver* pada *Pressure Process Rig* 38-714.



**Gambar 2.5.** *Air Receiver.*

d) *Pressure Sensor Pack* 38-460

*Pressure Sensor Pack* 38-460 memiliki fungsi sebagai instrumen pengukuran pada proses pengendalian tekanan, sehingga didapatkan nilai dari tekanan dan aliran pada saat proses sedang berlangsung. Sensor tekanan maupun sensor aliran telah dilengkapi dengan rangkaian pengkondisi sinyal. *Pressure transmitter* 38-461 (sensor tekanan) ditunjukkan pada Gambar 2.6(a), dan *differential pressure transmitter* 38-462 (sensor aliran udara) ditunjukkan pada Gambar 2.6(b).



(a)



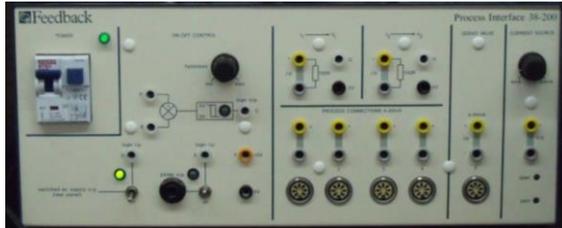
(b)

**Gambar 2.6.** (a) Sensor tekanan; (b) Sensor aliran.

e) *Process Interface* 38-200 [5]

*Process Interface* 38-200 merupakan suatu alat pendukung yang memiliki sumber daya untuk sensor, *process interface*, dan *process controller*. *Process Interface* memiliki 4 terminal *input* dan 1 terminal *output*, memiliki sumber arus 4-20 mA yang digunakan untuk

mengatur bukaan pada *pneumatic control valve*, lalu terdapat 2 rangkaian konverter I/V atau konverter dari arus menjadi tegangan. *Process Interface 38-200* ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



**Gambar 2.7.** *Process Interface 38-200*.

### 2.3. Teori Logika *Fuzzy*

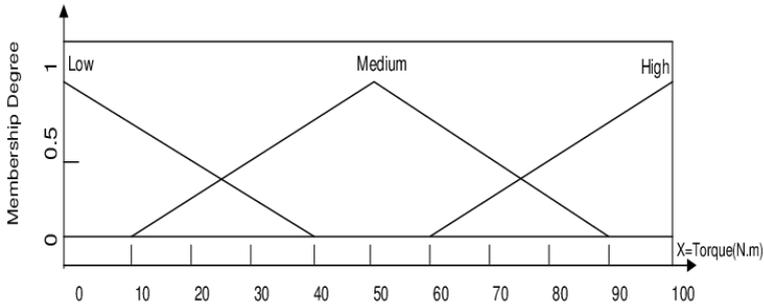
Dalam kehidupan sehari-hari kita terbiasa menghadapi permasalahan yang tidak bisa di selesaikan dengan jawaban ‘iya’ atau ‘tidak’ yang sederhana. Misalnya, apakah seseorang ‘tinggi’, mungkin tidak bisa dijawab secara tegas dan dibagi kepada dua jawaban yang bertentangan antara ‘ya’ dan ‘tidak’. Pada tahun 1965 L.A Zadeh dari Universitas California Barkeley memperkenalkan teori logika *fuzzy* dalam makalah seminarnya yang berjudul ‘*Fuzzy Set*’. Zadeh menyarankan teori himpunan yang dimodifikasi dimana seorang individu bisa memiliki tingkat keanggotaan yang berkisar pada rangkaian suatu nilai, daripada hanya menjadi 0 atau 1.

Keuntungan utama dari teori *fuzzy* ini adalah memungkinkan deskripsi sistem dan kinerja yang diinginkan dalam istilah linguistik (bahasa) daripada dalam hal hubungan antara nilai numerik yang tepat. [6]

#### 2.3.1. Himpunan *Fuzzy*

Dalam teori *fuzzy* dikenal himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*) yang didasarkan pada gagasan untuk memperluas rentang karakteristik fungsi sehingga mencakup bilangan real dalam interval  $[0,1]$ . Dengan himpunan *fuzzy*, nilai kebenaran dari suatu anggota himpunan memiliki rentang yang lebih luas daripada hanya ‘benar’ atau ‘salah’. Setiap anggota himpunan memiliki nilai derajat keanggotaan yang bernilai diantara 0 dan 1. Nilai derajat keanggotaan menentukan seberapa kuat posisi anggota

himpunan didalam himpunan tersebut. Gambar 2.8 merupakan gambaran dari nilai derajat keanggotaan dalam himpunan *fuzzy*. [6]



**Gambar 2.8.** Penggambaran dari himpunan *fuzzy*. [7]

### 2.3.2. Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan merupakan suatu fungsi yang didefinisikan untuk suatu anggota himpunan *fuzzy* yang menggambarkan derajat kebenaran suatu kejadian dari semesta pembicaraan  $X$  (*universe of discourse*), dinyatakan dalam tingkat keanggotaan (*grade of membership*) dengan nilai antara 0 hingga 1 [6]. Jika  $A$  adalah himpunan *fuzzy*,  $\mu_A$  adalah fungsi keanggotaan, dan  $X$  merupakan semesta pembicaraan, maka fungsi keanggotaan dapat dinyatakan sebagai berikut:

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

Fungsi keanggotaan dari suatu anggota himpunan *fuzzy* dapat ditentukan dengan fungsi segitiga, fungsi trapesium, fungsi gaussian, dan fungsi *generalized bell*. [8]

#### 2.3.2.1. Fungsi Keanggotaan Segitiga

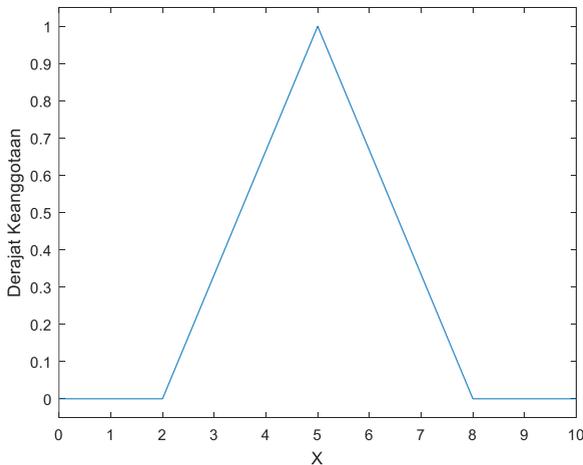
Fungsi keanggotaan segitiga ditunjukkan oleh Gambar 2.9 yang bergantung pada nilai parameter  $\{a, b, c\}$ , dimana  $a < b < c$ . Derajat keanggotaan dapat dihitung secara matematis dengan menggunakan Persamaan (2.2).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c - x}{c - b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (2.2)$$

### 2.3.2.2. Fungsi Keanggotaan Trapesium

Fungsi keanggotaan trapesium ditunjukkan pada Gambar 2.10 bergantung pada nilai parameter  $\{a,b,c,d\}$ , dimana  $a < b < c < d$ . Secara matematis derajat keanggotaan dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (2.3)$$



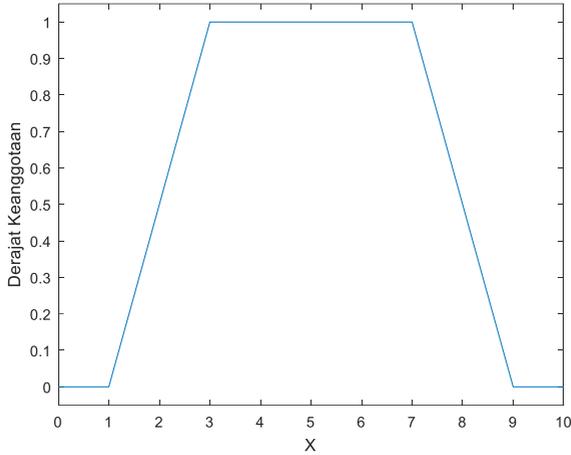
**Gambar 2.9.** Fungsi Keanggotaan Segitiga dengan  $\{a,b,c\}=\{2,5,8\}$

### 2.3.2.3. Fungsi Keanggotaan Gaussian

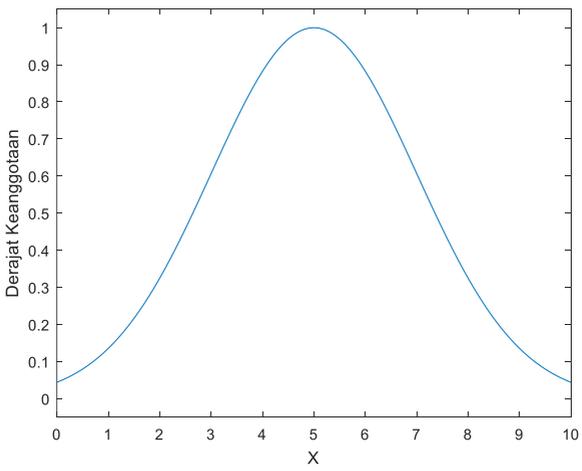
Fungsi keanggotaan *gaussian* ditunjukkan pada Gambar 2.11 dengan bergantung pada nilai parameter  $\{c,\sigma\}$ . Untuk menghitung nilai derajat keanggotaan dari fungsi keanggotaan *gaussian* secara matematis digunakan Persamaan (2.4).

$$\mu(x) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.4)$$

dengan parameter  $c$  digunakan untuk merepresentasikan pusat dari fungsi keanggotaan dan  $\sigma$  (standar deviasi) merepresentasikan lebar dari fungsi keanggotaan.



**Gambar 2.10.** Fungsi Keanggotaan Trapesium dengan  $\{a,b,c,d\}=\{1,3,7,9\}$

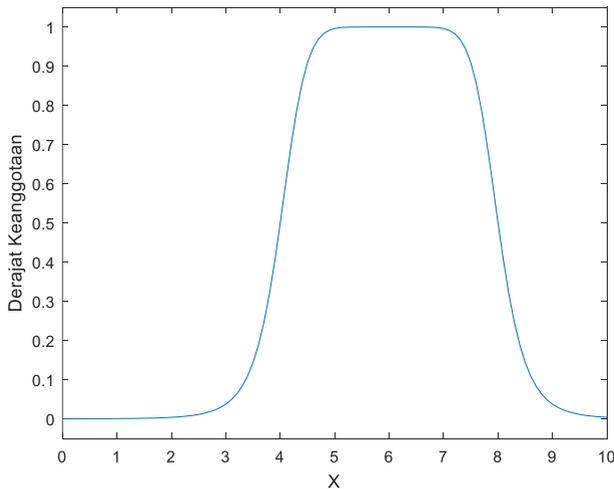


**Gambar 2.11.** Fungsi Keanggotaan *Gaussian* dengan  $\{c,\sigma\} = \{2,5\}$

#### 2.3.2.4. Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

Fungsi keanggotaan *generalized bell* bergantung pada nilai parameter {a,b,c} yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12 untuk perhitungan nilai derajat keanggotaan digunakan Persamaan (2.5).

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.5)$$



**Gambar 2.12.** Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell* dengan {a,b,c}={2,4,6}

#### 2.3.3. Operasi Himpunan *Fuzzy*

Penggunaan himpunan *fuzzy* memberikan dasar untuk memanipulasi suatu sistem yang samar menggunakan operasi himpunan *fuzzy* yang dilakukan dengan cara memanipulasi fungsi keanggotaan satu dengan yang lainnya. Jika A dan B pada Gambar 2.13 merupakan himpunan *fuzzy* dari semesta pembicaraan X dengan fungsi keanggotaan  $\mu_A(x)$  dan  $\mu_B(x)$ , maka operasi himpunan *fuzzy* dapat didefinisikan sebagai berikut:

a. Union (*OR*)

Union (gabungan) dari dua himpunan *fuzzy* A dan B dengan fungsi keanggotaan  $\mu_A(x)$  dan  $\mu_B(x)$  adalah  $\mu_{A \cup B}(x)$  yang ditunjukkan oleh

Gambar 2.14 serta secara matematis ditunjukkan oleh Persamaan (2.6).

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \text{ untuk } x \in X \quad (2.6)$$

b. Interseksi (*AND*)

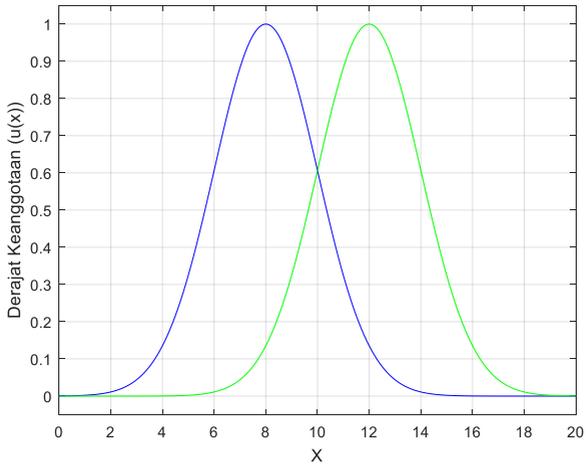
Interseksi dari dua himpunan *fuzzy* A dan B merupakan fungsi keanggotaan yang ditunjukkan oleh Gambar 2.15 serta dinyatakan dengan Persamaan (2.7).

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}, \text{ untuk } x \in X \quad (2.7)$$

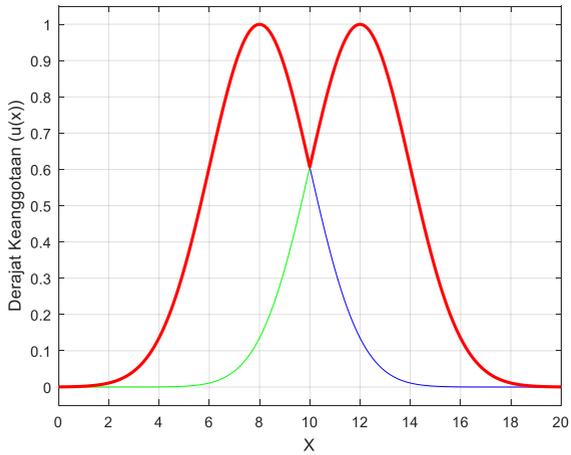
c. Komplemen (*NOT*)

Komplemen dari suatu himpunan *fuzzy* B merupakan fungsi keanggotaan  $\mu_B(x)$  yang ditunjukkan oleh Gambar 2.16 serta dinyatakan dalam Persamaan (2.8).

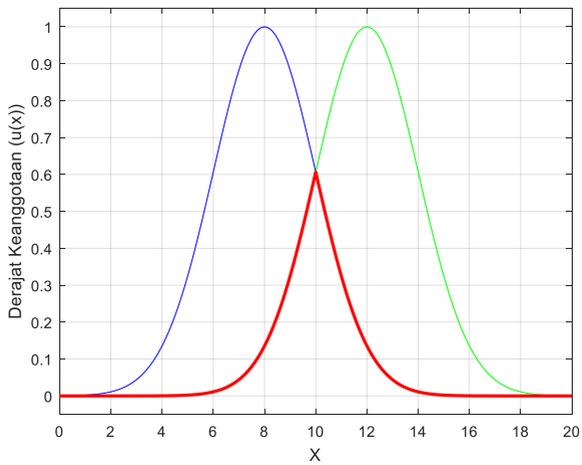
$$\mu_B'(x) = 1 - \mu_B(x), \text{ untuk } x \in X \quad (2.8)$$



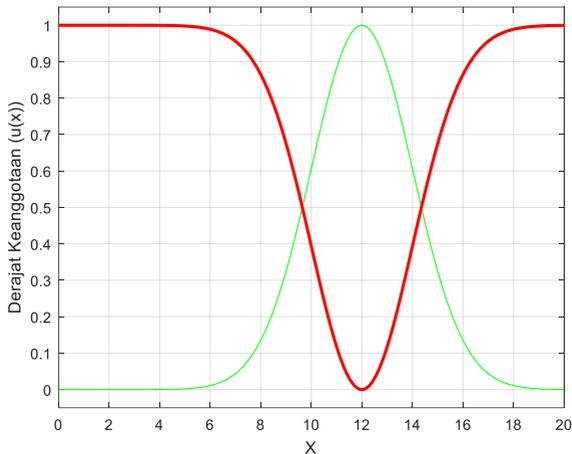
**Gambar 2.13.** Himpunan *fuzzy* A dan B



**Gambar 2.14.** Operasi Union pada himpunan *fuzzy* A dan B



**Gambar 2.15.** Operasi Interseksi pada himpunan *fuzzy* A dan B



**Gambar 2.16.** Operasi Komplemen dari himpunan *fuzzy* B

#### 2.3.4. Sistem Inferensi *Fuzzy*

Sistem inferensi *fuzzy* merupakan suatu proses penalaran dalam pengambilan kesimpulan dalam logika *fuzzy* yang memiliki kemiripan dengan penalaran manusia. Terdapat proses pengambilan keputusan dari suatu premis yang telah ditentukan sesuai aturan *fuzzy*. Sistem inferensi terdiri dari:

- a. Pengetahuan (*knowledge*) merupakan penalaran *fuzzy* yang didefinisikan sebagai aturan dalam bentuk pernyataan ***If-Then*** seperti berikut:

***If premise Then consequent***

***If  $x_1 = A$  AND  $x_2 = B$  Then  $u = C$***

dengan  $x_1$ ,  $x_2$ , dan  $u$  adalah variabel *fuzzy*, serta A, B, dan C merupakan fungsi keanggotaan. Sedangkan AND merupakan logika penghubung (operator).

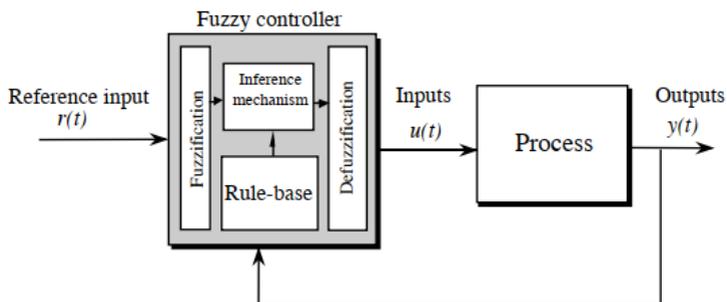
- b. Fakta, adalah masukan *fuzzy* yang kemudian dicari inferensinya dengan melalui aturan *fuzzy*.
- c. Kesimpulan, merupakan hasil dari inferensi yang memiliki kesesuaian berdasarkan fakta dan basis pengetahuan (*knowledge*) *fuzzy*.

Contoh inferensi *fuzzy*:

Pengetahuan	: Jika manusia, maka akan meninggal.
Fakta	: Newton adalah manusia.
Konklusi	: Newton akan meninggal.

Pada kontroler *fuzzy* yang ditunjukkan oleh Gambar 2.17 memiliki empat komponen penting, yaitu:

- Basis aturan, menyimpan pengetahuan dalam bentuk seperangkat aturan *if-then* tentang cara terbaik dalam mengendalikan sistem.
- Mekanisme inferensi (disebut juga *inference engine* atau *fuzzy inference*), mengevaluasi aturan kontrol mana yang relevan pada saat ini dan kemudian memutuskan apa yang harus dimasukkan pada *plant*.
- Fuzzifikasi, memodifikasi masukan sehingga dapat diinterpretasikan serta dibandingkan dengan aturan dalam basis aturan.
- Defuzzifikasi, mengubah kesimpulan yang dicapai oleh mekanisme inferensi menjadi masukan aktual pada *plant*. [8]



**Gambar 2.17.** Sistem Kontroler *Fuzzy* [8]

Mekanisme inferensi pada sistem kontrol yang digunakan untuk mengambil keputusan memiliki beberapa tahapan, diantaranya adalah:

- Fuzzifikasi masukan  
Memodifikasi masukan tegas ke dalam masukan *fuzzy* dengan menentukan derajat keanggotaannya dalam himpunan *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaannya masing-masing.
- Aplikasi operator *fuzzy*  
Penggunaan operator *fuzzy* (*AND*, *OR*, *NOT*) pada premis dari aturan *fuzzy*.
- Aplikasi implikasi  
Pencarian konsekuen dari aturan *fuzzy* (*if-then*) berdasarkan derajat keanggotaan dari premis.

d. Agregasi

Merupakan proses penggabungan dari hasil implikasi dari setiap aturan *fuzzy* untuk mendapatkan keluaran *fuzzy*.

e. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses pengubahan keluaran *fuzzy* ke dalam bentuk keluaran tegas (*crisp*). Terdapat beberapa metode dalam melakukan defuzzifikasi, namun yang sering digunakan hanyalah dua metode, yaitu *center of gravity*, dan *center (weighted) average*. Untuk melakukan defuzzifikasi dengan menggunakan metode *center of gravity* ini dapat dilihat melalui Persamaan (2.9).

$$\mu^{tegas} = \frac{\sum_{i=1}^r b_i \int \mu_{(i)}}{\sum_{i=1}^r \int \mu_{(i)}} \quad (2.9)$$

dengan  $b_i$  merupakan titik tengah dari fungsi keanggotaan, sedangkan  $r$  merupakan banyaknya aturan *fuzzy*, lalu  $\int \mu_{(i)}$  merupakan area dibawah fungsi keanggotaan. Untuk metode *center (weighted) average*, keluaran tegas yang dihasilkan dapat dilihat melalui Persamaan (2.10).

$$\mu^{tegas} = \frac{\sum_{i=1}^r b_i \mu_i}{\sum_{i=1}^r \mu_i} \quad (2.10)$$

## 2.4. Gain Scheduling

*Gain scheduling* merupakan sebuah metode kendali dimana nilai parameter PID yang digunakan oleh modul kendali dijadwal berdasarkan titik kerja atau kondisi operasi yang dihadapi. Secara umum nilai *gain* yang bergantung dari variabel dapat dikatakan sebagai *gain scheduling*. Parameter proporsional, integral dan derivatif kontroler berubah tergantung variabel tertentu. Variabel tertentu yang berubah kontinyu terhadap waktu akan memengaruhi nilai dari *gain* kontroler PID. Metode ini memberikan kemampuan pada *plant* untuk menjadwal besaran parameter kontrolnya. Kemampuan tersebut sangat bermanfaat terutama jika proses yang dikontrol memiliki beberapa titik kerja atau kondisi operasi yang berbeda dan mengalami perubahan beban. Blok diagram dari kontroler PID *gain scheduling* ditunjukkan pada Gambar 2.18. [9] [10]

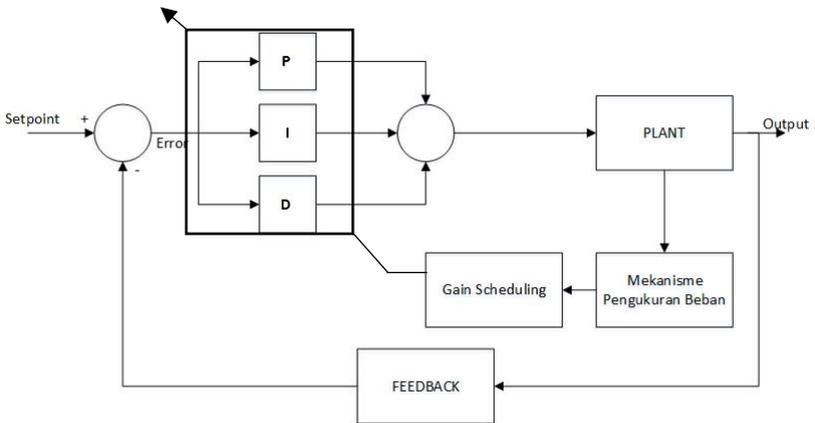
## 2.5. Kontroler PID [11]

Kontroler PID adalah salah satu kontroler yang banyak digunakan di industri. Alasan utamanya yaitu memiliki struktur yang sederhana dan

mudah diaplikasikan. Algoritma kontroler PID dapat di deskripsikan dengan Persamaan (2.11):

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (2.11)$$

Dimana  $u(t)$  merupakan sinyal kontrol dan  $e(t)$  merupakan sinyal error terhadap satuan waktu. Sinyal kontrol merupakan hasil jumlahan dari tiga aksi yaitu: P (proporsional terhadap error), I (proporsional terhadap integral dari error) dan D (proporsional terhadap derivatif dari error). Parameter kontroler adalah gain proporsional ( $K_p$ ), waktu integral ( $T_i$ ), dan waktu derivatif ( $T_d$ ).



**Gambar 2.18.** Blok diagram kontroler PID *gain scheduling*

### 2.5.1. Aksi Proporsional

Kontrol proporsional merupakan kontroler sederhana berupa proporsional terhadap error yang persamaannya dapat dilihat pada Persamaan (2.12).

$$u(t) = K_p e(t) + u_b \quad (2.12)$$

dimana variabel  $u_b$  merupakan variabel bias atau reset, yang digunakan untuk menjadikan nilai sinyal kontrol bernilai nol ketika *set point* telah tercapai. Nilai variabel bias  $u_b$  dapat ditetapkan dengan  $(u_{max} - u_{min})/2$ , ataupun diatur secara manual. Ketika nilai  $K_p$  semakin besar, maka akan terjadi peningkatan kecepatan pada respon sistem dan apabila terlalu besar maka akan mengakibatkan terjadinya *overshoot* pada sistem.

### 2.5.2. Aksi Integral

Aksi integral memiliki peran utama dalam memastikan keluaran sesuai dengan *set point* pada saat keadaan *steady state*. Sebuah aksi integral akan selalu menuntun peningkatan aksi sinyal kontrol ketika terjadi nilai eror positif sekecil apapun, begitupun ketika eror yang terjadi bernilai eror negatif sekecil apapun akan memberi penurunan aksi pada sinyal kontrol. Oleh karena itu, aksi integral akan senantiasa menjadikan nilai eror *steady state* nol, namun memperlambat respon sistem. Persamaan aksi integral ditunjukkan pada Persamaan (2.13).

$$u(t) = \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt \quad (2.13)$$

dimana  $\tau_i$  merupakan variabel dalam aksi integral yang menyatakan *integral time* atau waktu integral. Dari persamaan (2.13) dapat dilihat bahwa aksi integral memiliki nilai keluaran sinyal kontrol proposional terhadap integral dari eror.

### 2.5.3. Aksi Derivatif

Aksi derivatif memiliki tujuan untuk meningkatkan stabilitas loop tertutup. Pada dasarnya aksi derivatif bertujuan agar kontroler tidak terlambat dalam mengoreksi sebuah nilai eror yang berubah yang disebabkan oleh dinamika proses. Aksi derivatif secara matematis ditunjukkan pada Persamaan (2.14).

$$u(t) = T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.14)$$

keluaran sinyal kontrol proposional terhadap derivatif dari eror. Aksi derivatif tidak dapat menghasilkan aksi apabila eror yang terjadi merupakan nilai eror konstan, untuk itu aksi derivatif ini harus berpasangan dengan kontroler P maupun I.

## 2.6. Kriteria Kesalahan [12]

### 2.6.1. Root Mean Square Error (RMSE)

*Root Mean Square Error* (RMSE) merupakan suatu tolak ukur dalam mencari nilai kesalahan antara nilai sebenarnya dengan nilai estimasi atau nilai model, yang berdasarkan kuadratis simpangan antara kedua nilai tersebut. Secara matematis persamaan dari *root mean square error* ditunjukkan pada Persamaan (2.15).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^N e_m^2}{N}} \quad (2.15)$$

dimana variabel  $e_m$  merupakan suatu nilai yang dihasilkan dari selisih antara nilai keluaran sebenarnya  $y(n)$  dengan nilai keluaran estimasi  $\hat{y}(n)$  yang dinyatakan oleh Persamaan (2.16) dengan  $N$  merupakan banyaknya jumlah data.

$$e_m = y(n) - \hat{y}(n) \quad (2.16)$$

## 2.7. LabVIEW [13]

LabVIEW merupakan sebuah bahasa pemrograman grafis yang menggunakan ikon menggantikan baris teks dalam membuat aplikasi. Memiliki perbedaan dengan pemrograman berbasis teks bahasa, dimana instruksi menentukan eksekusi program, LabVIEW menggunakan pemrograman *dataflow* yang mana aliran data menentukan eksekusi.

Pada pemrograman LabVIEW dibangun *user interface* dengan seperangkat *tools* dan *object*. *User interface* dikenal sebagai *front panel* yang kemudian untuk penambahan kode menggunakan representasi grafis dari fungsi untuk mengontrol objek pada *front panel*. Pada bagian *block diagram* mengandung kode tersebut. Dalam beberapa hal *block diagram* menyerupai *flowchart*.

Program LabVIEW disebut *virtual instrument* atau VI, karena penampilan dan operasi dari program LabVIEW meniru instrumen fisik, contohnya seperti osiloskop dan multimeter. Setiap VI menggunakan fungsi yang memanipulasi masukan dari *user interface* atau sumber lain, lalu menampilkan informasi tersebut ataupun memindahkannya ke *file* lain atau komputer lain. Sebuah VI memiliki tiga komponen berikut:

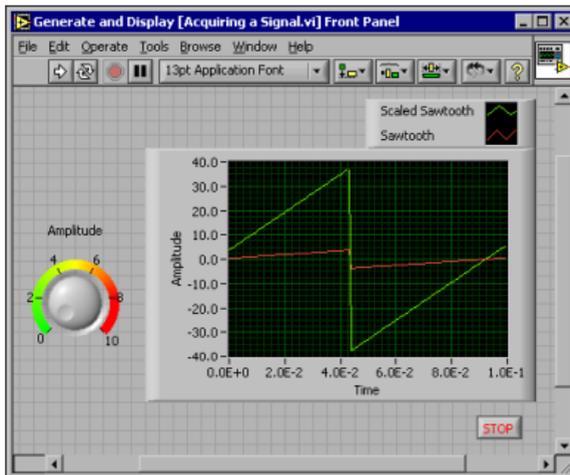
- a. *Front panel*, berfungsi sebagai *user interface*.
- b. *Block diagram*, berisi sumber kode grafis yang menentukan fungsi VI.
- a. *Icon and connector pane*, berfungsi untuk mengidentifikasi VI sehingga dapat menggunakan VI di suatu VI yang lain atau sub-VI dalam VI yang lain. Sub-VI sesuai dengan subrutin dalam bahasa pemrograman berbasis teks.

*Front panel* merupakan *user interface* dari sebuah VI, contoh dari *front panel* ditunjukkan pada Gambar 2.19. *Front panel* dibangun dengan beberapa *control* dan *indicator* yang merupakan terminal masukan dan keluaran interaktif dari VI. Masing-masing dari *control* diantaranya adalah knob, *push button*, *dial*, dan perangkat lainnya. Sedangkan untuk

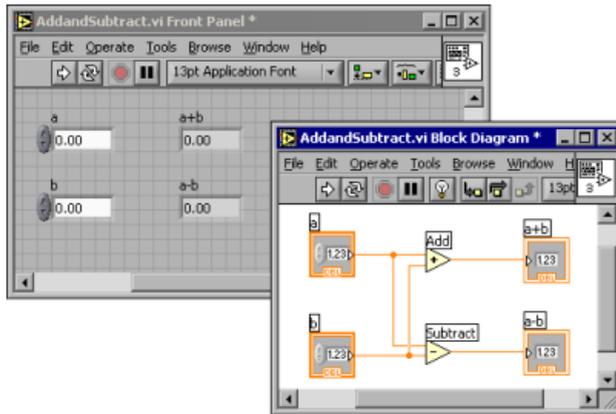
*indicator* diantaranya adalah grafik, LED, dan tampilan lainnya. *Control* mensimulasikan instrumen dari masukan perangkat dan mensuplai data pada *block diagram*. *Indicator* mensimulasikan instrumen dari keluaran perangkat dan menampilkan data yang diperoleh atau dihasilkan oleh *block diagram*.

Setelah berhasil dalam membangun *front panel*, kemudian selanjutnya dilakukan penambahan kode menggunakan representasi gambar dari fungsi untuk mengatur objek pada *front panel*. *Block diagram* mengandung *source code* yang berupa gambar tersebut. Objek *front panel* akan tampil sebagai terminal pada *block diagram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.20.

Terminal merepresentasikan tipe data dari *control* dan *indicator*. Terminal merupakan *port* aliran masuk dan keluar dari suatu informasi yang di dapat antara *front panel* dan *block diagram*. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.21, data yang diberikan pada *control* di *front panel* masuk pada *block diagram* melalui terminal *control*. Kemudian data yang diberikan masuk pada fungsi *add* dan *subtract*, setelah fungsi tersebut selesai melakukan tugasnya, mereka akan mengeluarkan nilai data yang baru. Data kemudian masuk pada terminal *indicator* yang selanjutnya keluar dari *block diagram* dan masuk kembali pada *front panel*, lalu tampil pada *indicator* dari *front panel*.



**Gambar 2.19.** Contoh tampilan dari *front panel*



**Gambar 2.20.** *Front panel dan block diagram yang terhubung*

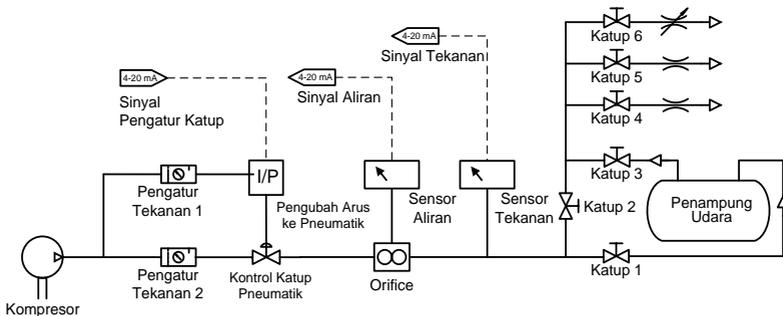
[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## BAB 3 PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini membahas mengenai perancangan sistem pengaturan proses pada *plant Pressure Process Rig 38-714*, yang mana perancangan ini terdiri dari perancangan konfigurasi sistem, proses identifikasi *plant*, desain kontroler yang meliputi penentuan parameter  $K_p$  dan  $K_i$  pada kondisi beban tertentu, serta perancangan logika fuzzy.

### 3.1. Perancangan Konfigurasi Sistem

Pada tugas akhir ini *plant* yang digunakan adalah *Pressure Process Rig 38-714*, yang merupakan peralatan laboratorium atau *trainer* yang memiliki fungsi sebagai media pembelajaran serta untuk memperkenalkan dan menunjukkan prinsip dari proses pengukuran dan pengaturan tekanan yang ada di industri. Pada *plant* ini, nantinya bukaan *pneumatic control valve* akan diatur sehingga diperoleh tekanan sesuai dengan yang diharapkan. Gambaran P&ID dari *plant* dapat dilihat pada Gambar 3.1.

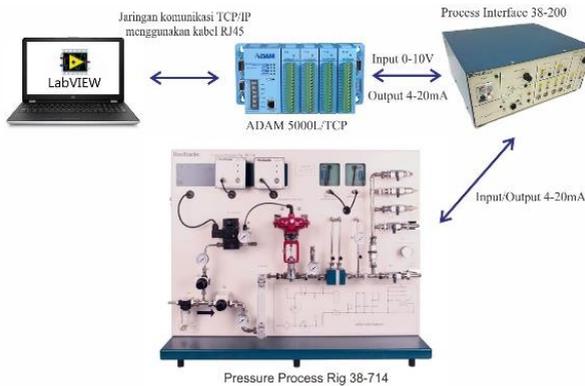


**Gambar 3.1.** P&ID dari *Pressure Process Rig 38-714*.

Pada gambar 3.1 dapat dilihat bahwa *plant pressure process rig 38-714* memiliki 6 buah katup manual. Katup V1, V2 dan V3 digunakan untuk proses yang menggunakan *air receiver*, sedangkan katup V4, V5, dan V6 digunakan sebagai pemberian beban pada suatu proses pengendalian tekanan. Pada katup V4, V5, dan V6 ketika katup dibuka udara akan langsung dibuang ke atmosfer melalui filter terlebih dahulu dengan beban yang berbeda-beda. Katup V1 dan V3 merupakan katup masukan dan keluaran udara dari *air receiver*. Ketika *air receiver*

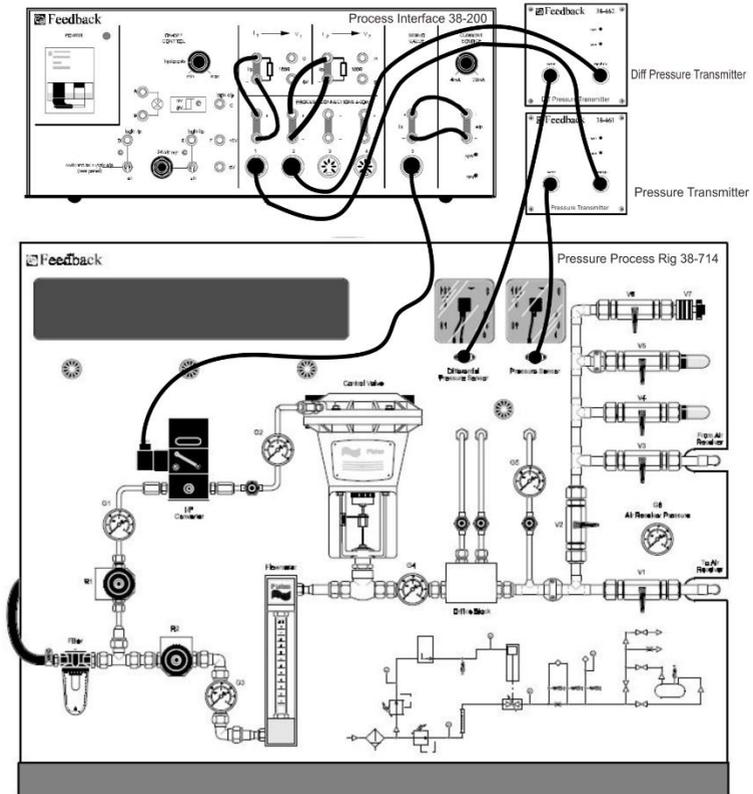
digunakan maka akan mengakibatkan respon proses menjadi lebih lambat karena harus menunggu tangki penampung udara penuh terlebih dahulu. Pada *plant* terdapat sensor *pressure* dan *differential pressure* yang masing-masing sensor telah dilengkapi dengan rangkaian pengkondisi sinyal.

Pada implementasinya dalam melakukan pengendalian tekanan pada *plant Pressure Process Rig* 38-714 dibutuhkan beberapa perangkat pendukung, diantaranya yaitu komputer/PC yang sudah terinstall *software* LabVIEW yang berfungsi sebagai kontroler dan perangkat antarmuka, lalu perangkat akuisisi data yaitu ADAM 5000L/TCP dengan jaringan komunikasi kabel utp RJ45. Pada ADAM 5000L/TCP terdapat modul analog *input* dan analog *output* yang terhubung dengan *process interface* 38-200 agar perilaku respon dari *plant* dapat terbaca atau dapat diatur melalui komputer. Skema yang digunakan dalam sistem pengaturan *Pressure Process Rig* 38-714 ini merupakan *direct digital control* (DDC). Skema yang digunakan pada *plant* dapat dilihat pada Gambar 3.2.



**Gambar 3.2.** Skema Sistem

Dalam pengoperasian *plant* perlu dilakukan konfigurasi atau *wiring* pada *plant* terlebih dahulu yaitu dengan menghubungkan beberapa kabel antara *plant Pressure Process Rig* 38-714 dengan *Process Interface* 38-200. Konfigurasi *plant Pressure Process Rig* 38-714 ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3.** Konfigurasi *plant Pressure Process Rig 38-714*

### 3.1.1. Komputer/PC

Komputer merupakan perangkat yang terpenting dalam sistem pengaturan proses, terutama pada tugas akhir ini. Komputer digunakan sebagai kontroler dalam sistem pengaturan tekanan pada *plant pressure process rig 38-714*, untuk itu spesifikasi dari komputer itu sendiri akan memengaruhi dari performa yang dapat dicapai oleh kontroler. Berikut adalah spesifikasi dari komputer yang digunakan dalam perancangan kontroler pada *plant pressure process rig 38-714*:

Processor : Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU 2.20GHz  
RAM : 4.00 GB

Operating System : Windows 10 64 bit  
 USB Port : 2 x USB 2.0, 1 x USB 3.0  
 Ethernet : Yes

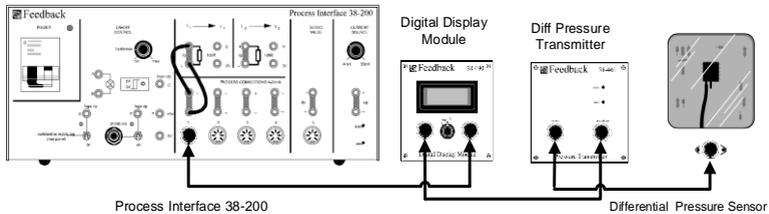
### 3.1.2. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi *pressure sensor* dan *differential pressure sensor* pada *Pressure Process Rig 38-714* dilakukan dengan tujuan:

- Besar tekanan minimal = 0 psi = 4 mA keluaran dari *pressure sensor* dan *differential pressure sensor*.
- Besar tekanan maksimal = 10 psi = 20 mA keluaran dari *pressure sensor* dan *differential pressure sensor*.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan sehingga kondisi *differential pressure sensor* dapat terpenuhi seperti keadaan tersebut adalah sebagai berikut:

- Kondisikan katup V2, V4, V5, V6 terbuka. Dan kondisi katup V1, dan V3 tertutup.
- Koneksikan *plant* seperti pada Gambar 3.4.



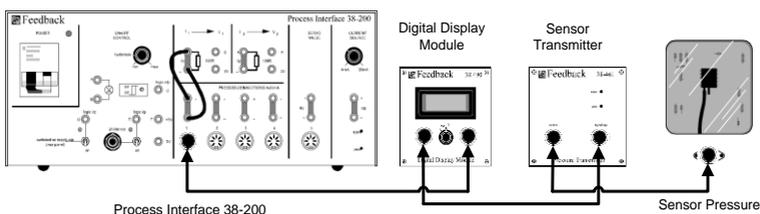
**Gambar 3.4.** Rangkaian kalibrasi *differential pressure sensor*

- Kondisikan R2 dalam keadaan tertutup dengan kondisi katup V2 terbuka, sehingga tidak ada udara yang mengalir.
- Kalibrasi *differential pressure sensor* menggunakan *zero control* sehingga didapat pembacaan 4mA atau 0% pada *digital modul display* yang mengindikasikan kondisi *zero flow*.
- Kondisikan R2 pada keadaan terbuka sehingga didapat perbedaan 10 psi dari pembacaan G4 dan G5.
- Kalibrasi *differential pressure sensor* menggunakan *span control* sehingga didapat pembacaan pada *digital modul display* 20 mA atau 100%. Ketika pembacaan pada G4 adalah 10 psi dan G5 adalah 0 psi, maka *flow meter* akan terbaca mendekati 24 L/min.

- g. Lakukan langkah a-f secara berulang untuk mendapatkan kondisi minimal dan maksimal yang lebih akurat.

Selanjutnya adalah langkah-langkah yang dilakukan sehingga kondisi *pressure sensor* dapat terpenuhi seperti keadaan tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Kondisikan R1 dalam keadaan tertutup sehingga katup pneumatik tidak bekerja. Pastikan G1 menunjukkan angka 0 psi.
- b. Koneksikan *plant* seperti pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5.** Rangkaian kalibrasi *pressure sensor*

- c. Kondisikan R2 dalam keadaan tertutup dengan V2, V4, dan V5 dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada tekanan udara yang mengalir. Kondisi ini disebut kondisi tekanan minimal, dengan kondisi G5 menunjukkan 0 psi.
- d. Kalibrasi *pressure sensor* menggunakan *zero control* sehingga didapat pembacaan 4mA atau 0% pada *digital modul display*.
- e. Kondisikan R2 pada keadaan terbuka dengan V1, dan V2 dalam keadaan tertutup, kemudian atur tekanan sampai pembacaan pada G5 menunjukkan 10 psi.
- f. Kalibrasi *pressure sensor* menggunakan *span control* sehingga didapat pembacaan pada *digital modul display* 20 mA atau 100%.
- g. Lakukan langkah a-f secara berulang untuk mendapatkan kondisi minimal dan maksimal yang lebih akurat.

### 3.1.3. Konfigurasi ADAM 5000L/TCP

Dalam pengerjaan tugas akhir ini digunakan perangkat ADAM 5000L/TCP sebagai perangkat akuisisi data. Perangkat tersebut digunakan untuk pembacaan serta pemberian perintah dari komputer sebagai kontroler pada *plant*. ADAM 5000L/TCP memiliki satu slot modul analog *input* dan dua slot modul analog *output*, yang mana modul

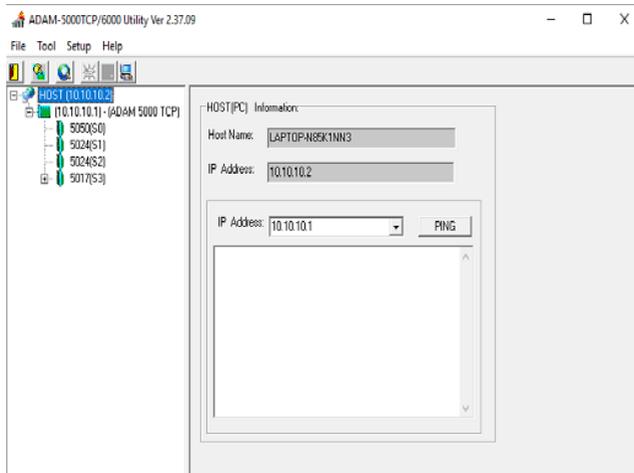
analog *input* (ADAM 5017) memiliki 8 kanal *input* yang mampu membaca tegangan dengan satuan millivolt dan volt ( $\pm 150$  mV,  $\pm 500$  mV dan  $\pm 1$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 10$  V), sedangkan untuk modul analog *output* (ADAM 5024) memiliki 4 kanal *output* yang menghasilkan tegangan 0-10 V dan 4 kanal *output* yang menghasilkan arus 4-20 mA atau 0-20 mA. Satu kanal *input* yang digunakan untuk pembacaan dari hasil pengukuran *pressure sensor* beroperasi pada tegangan 0-10 V, sedangkan kanal *output* yang digunakan untuk memberi sinyal kontrol pada *pneumatic control valve* beroperasi pada arus 4-20 mA. Terdapat proses penyekalaan (*scaling*) data pada proses akuisisi data, agar data yang dikelola direpresentasikan ke dalam format bilangan biner. Tabel 3.1 menunjukkan representasi *scaling* data *input* dan *output* pada ADAM 5000L/TCP.

**Tabel 3.1.** ADAM 5000L/TCP AI/AO *scaling*

Modul	Tipe	Range Low	Range High	Scale Low	Scale High	Format Data
Analog <i>Input</i> 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 <i>Output</i> 5024	V	0	10	0	4095	U12B
	mA	4	20	0	4095	U12B
	mA	0	20	0	4095	U12B

Agar perangkat ADAM 5000L/TCP dapat terkoneksi dengan komputer, perlu dilakukan beberapa langkah penyetelan menggunakan *software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 untuk menentukan IP *address* yang akan digunakan agar perangkat dapat terkoneksi dengan komputer. IP *address* yang digunakan ialah 10.10.10.1 dengan *address* pada analog *output* ialah 40025 dan 40027, dan *address* pada analog *input* 40009. Berikut merupakan langkah-langkah *setting* pada ADAM 5000L/TCP:

1. Buka *software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09, lalu akan muncul *window* seperti pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6.** Window software ADAM5000TCP/6000 Utility

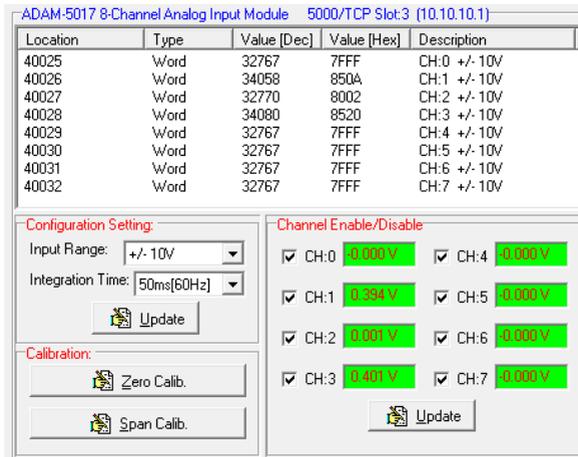
2. Sesuaikan analog *input* dan kanal yang akan digunakan dengan kebutuhan lalu klik 5013(S3) pada *window*, kemudian akan muncul tampilan seperti Gambar 3.7. Berikut merupakan *setting* modul analog *input* yang digunakan pada sistem:

*Address* : 40025  
*Configuration setting* : *input range (+/- 10 V)*  
*Channel Enable* : centang pada kanal yang digunakan

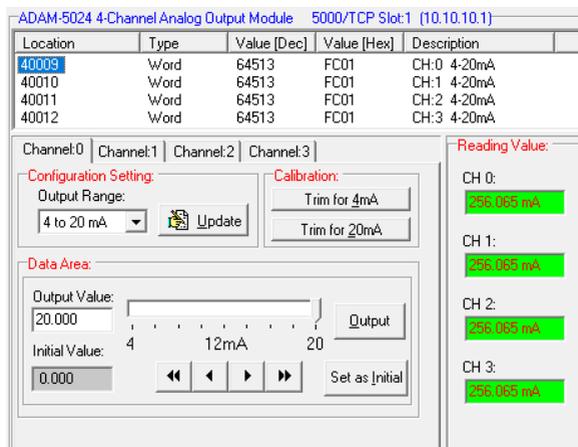
*Address* : 40027  
*Configuration setting* : *input range (+/- 10 V)*  
*Channel Enable* : centang pada kanal yang digunakan

3. Sesuaikan analog *output* dan kanal yang akan digunakan sesuai dengan kebutuhan lalu klik 5024(S1) pada *window* dan akan muncul tampilan seperti Gambar 3.8. Berikut merupakan *setting* modul analog *output* yang digunakan pada sistem:

*Address* : 40009  
*Configuration setting* : *output range (4-20 mA)*



Gambar 3.7. Setting modul analog input dan kanal yang digunakan



Gambar 3.8. Setting modul analog output dan kanal yang digunakan



Minimnya informasi mengenai peralatan yang digunakan mempersulit untuk melakukan pengaturan sistem yang sesuai dengan yang diinginkan. Untuk itu diperlukan identifikasi pada *plant* sehingga didapat model matematika dari *plant*. Dalam mendapatkan model matematika dari *plant Pressure Process Rig 38-714* dilakukan identifikasi sistem secara *open loop* dengan metode yang digunakan adalah metode identifikasi statis. Pada Gambar 3.10 ditunjukkan dari skema identifikasi sistem yang dilakukan.

Identifikasi statis merupakan metode identifikasi yang dilakukan dengan memberikan masukan pada *plant* berupa sinyal konstan. Sinyal yang digunakan merupakan sinyal *unit step*. Model sistem yang didapat memiliki pendekatan dengan model sistem orde 1 karena kurva yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 memiliki kemiripan dengan orde 1. *Delay* pada sistem dapat diabaikan karena memiliki nilai yang sangat kecil. Fungsi alih dari sistem orde satu dapat dilihat pada Persamaan (3.1).

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

Lalu selanjutnya dalam mendapatkan parameter dalam Persamaan 3.1. dilakukan perhitungan *gain overall* ( $K$ ) yang didapatkan dengan menggunakan Persamaan 3.2.

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

dengan  $Y_{ss}$  merupakan respon *plant* pada saat kondisi *steady state* (psi) dan  $X_{ss}$  merupakan masukan sistem pada saat *steady state* (psi). Kemudian setelah nilai *gain overall* diperoleh yang dilakukan selanjutnya yaitu mencari nilai *time response* ( $\tau$ ) dari sistem. Untuk memperoleh nilai *time response* dapat dilihat dari waktu pada saat respon mencapai 63,2% dari keadaan *steady state*. Jika nilai *steady state* adalah 1 psi maka 63,2% dari nilai tersebut adalah 0,632 psi, sehingga *time response* yang dimiliki adalah waktu pada saat kondisi 0,632 psi tersebut terpenuhi.

### 3.2.1. Pemodelan Sistem Kondisi Beban Minimal

Identifikasi statis dilakukan pada keadaan *plant* diberikan pembebanan minimal. Keadaan *plant* serta data yang diambil untuk lebih jelasnya dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Masukan *plant* : 4 psi
  - b. Jumlah data yang diambil : 15000 sampel
  - c. Kondisi minimal :
- Katup terbuka : V1, V3, dan V4 (terbuka sedikit)

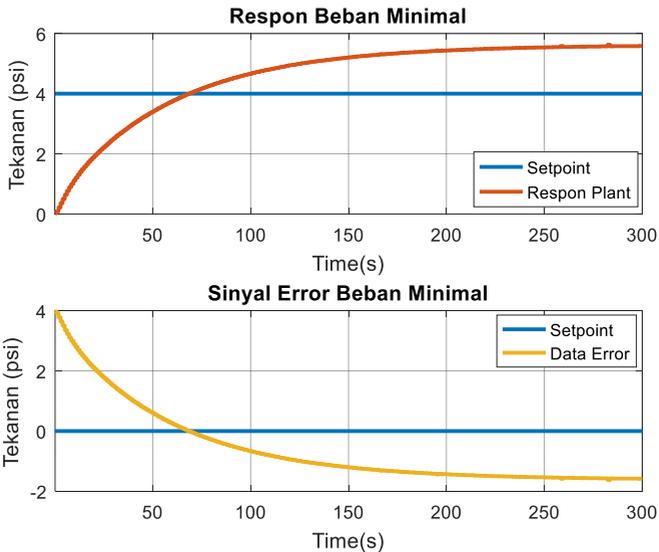
Katup tertutup : V2, V5, dan V6

d. *Air Receiver* : Digunakan

Dengan kondisi seperti yang disebutkan diatas, maka didapatkanlah respon dari *plant* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.11. Dengan menggunakan Persamaan 3.1 dan 3.2 maka didapat fungsi alih pada saat keadaan beban minimal. Percobaan dilakukan sebanyak dua kali untuk mencari nilai RMSE terkecil dari pemodelan yang telah dibuat. Fungsi alih dari respon sistem pada saat keadaan beban minimal ditunjukkan oleh Tabel 3.2.

**Tabel 3.2.** Fungsi Alih Sistem Beban Minimal

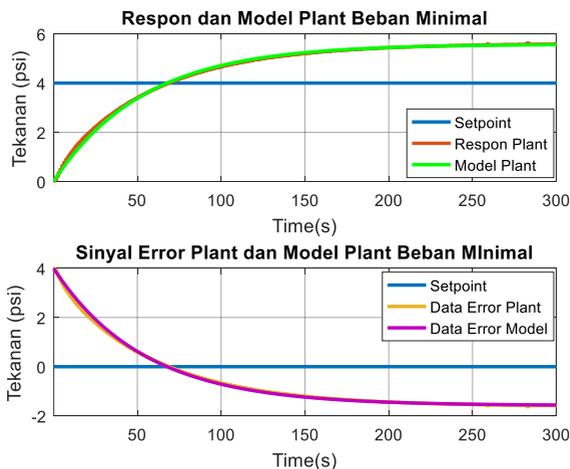
	Fungsi Alih	RMSE
Model 1	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,39475}{53,69s + 1}$	0,0547
Model 2	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,39}{53,34s + 1}$	0,0579



**Gambar 3.11.** Grafik Respon Sistem *Open Loop* Beban Minimal

Karena nilai RMSE yang terkecil merupakan model 1 maka fungsi alih model 1 dari Tabel 3.1 yang digunakan sebagai fungsi alih sistem

keadaan beban minimal. Perbandingan respon *plant* dengan respon model ditunjukkan oleh Gambar 3.12. Begitupun dengan kondisi dari pembebanan nominal dan maksimal, fungsi alih yang didapat dari keadaan nominal dan maksimal ditunjukkan pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4. Lalu diambil nilai terkecil dari RMSE, yang digunakan sebagai model *plant* pada saat keadaan pembebanan nominal dan keadaan pembebanan maksimal.



**Gambar 3.12.** Perbandingan Respon *Plant* dan Respon Model

### 3.2.2. Pemodelan Sistem Kondisi Beban Nominal

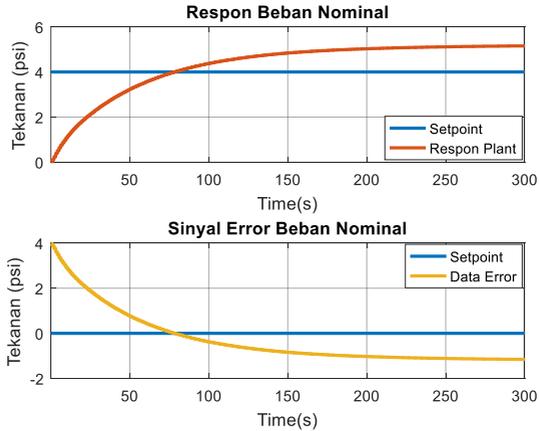
Identifikasi statis dilakukan pada keadaan *plant* diberikan pembebanan nominal. Keadaan *plant* serta data yang diambil untuk lebih jelasnya dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Masukan *plant* : 4 psi
- b. Jumlah data yang diambil : 15000 sampel
- c. Kondisi nominal :
  - Katup terbuka : V1, V3, dan V4
  - Katup tertutup : V2, V5, dan V6
- d. *Air Receiver* : Digunakan

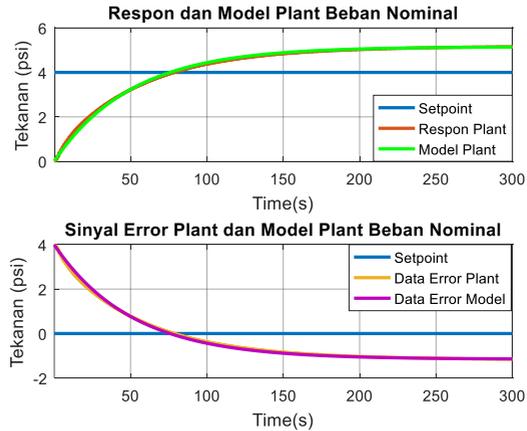
Grafik respon sistem *open loop* pada saat kondisi beban nominal ditunjukkan pada Gambar 3.13. Sedangkan Gambar 3.14 menunjukkan perbandingan respon model dan respon *plant*.

**Tabel 3.3.** Fungsi Alih Sistem Beban Nominal

	Fungsi Alih	RMSE
Model 1	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,28825}{50,65s + 1}$	0,0540
Model 2	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,29175}{50,69s + 1}$	0,0614



**Gambar 3.13.** Grafik Sistem *Open Loop* Beban Nominal



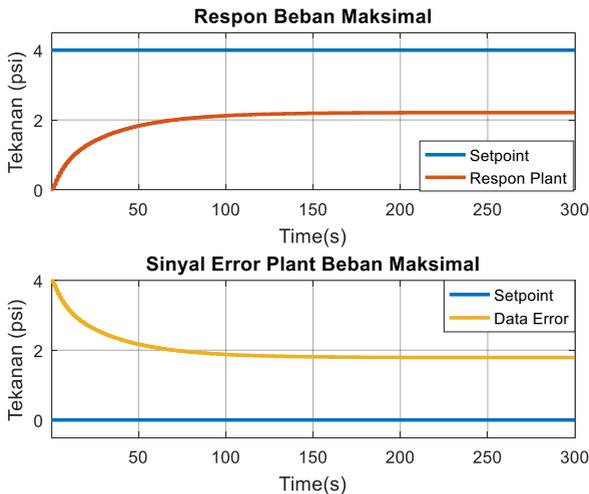
**Gambar 3.14.** Perbandingan Respon *Plant* dan Respon Model Beban Nominal

### 3.2.3. Pemodelan Sistem Kondisi Beban Maksimal

Identifikasi statis dilakukan pada keadaan *plant* diberikan pembebanan maksimal. Keadaan *plant* serta data yang diambil untuk lebih jelasnya dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Masukan *plant* : 4 psi
- b. Jumlah data yang diambil : 15000 sampel
- c. Kondisi maksimal :  
 Katup terbuka : V1, V3, V4 dan V5  
 Katup tertutup : V2 dan V6
- d. *Air Receiver* : Digunakan

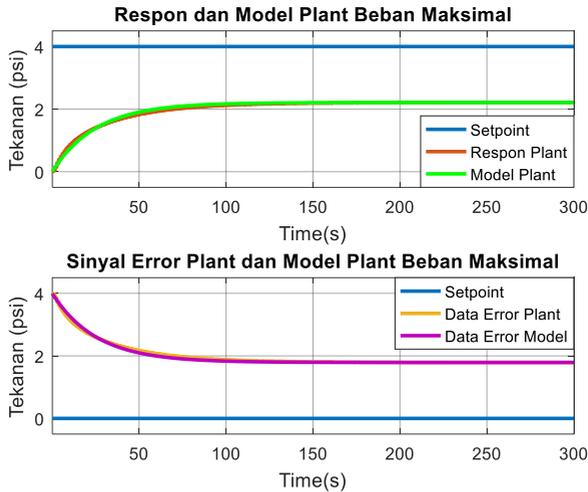
Gambar 3.15 merupakan grafik dari respon sistem *open loop* pada keadaan beban maksimal. Sedangkan Gambar 3.16 merupakan perbandingan respon *plant* dengan respon model.



**Gambar 3.15.** Grafik Respon Sistem *Open Loop* Beban Maksimal

**Tabel 3.4.** Fungsi Alih Sistem Beban Maksimal

	Fungsi Alih	RMSE
Model 1	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,5525}{25,3s + 1}$	0,0399
Model 2	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,5525}{25,07s + 1}$	0,0414



**Gambar 3.16.** Perbandingan Respon *Plant* dan Respon Model Beban Maksimal

### 3.3. Perancangan Kontroler PI

Setelah model masing-masing pembebanan dari *plant Pressure Process Rig 38-714* didapatkan, maka tahapan selanjutnya ialah merancang kontroler PI karena model yang didapat merupakan orde 1. Perancangan kontroler PI dilakukan secara analitik dari parameter model yang didapat pada masing-masing pembebanan. Parameter tersebut digunakan untuk mencari nilai  $K_P$ , dan  $K_I$  dari kontroler PI. Nilai  $K_P$ , dan  $K_I$  memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan kondisi beban yang terjadi.

Langkah awal untuk menentukan parameter PI adalah menentukan kriteria respon yang diinginkan. Kriteria *settling time* (5%) yang diinginkan adalah 90 detik, maka diperoleh nilai  $\tau$  yang diinginkan atau  $\tau^*$  adalah 30 detik. Untuk berikutnya nilai  $K_P$ , dan  $K_I$  dapat dicari dengan mengikuti Persamaan 3.3, Persamaan 3.4, dan Persamaan 3.5.

$$\tau_i = \tau \tag{3.3}$$

$$K_P = \frac{\tau_i}{\tau^* \cdot K} \tag{3.4}$$

$$K_i = \frac{K_p}{\tau_i} \quad (3.5)$$

Setelah diketahui persamaan dalam pencarian nilai parameter  $K_p$ , dan  $K_i$  tahapan selanjutnya ialah proses diskritisasi dengan metode pendekatan *backward difference* seperti pada persamaan 3.6 sehingga persamaan kontroler PI dapat dinyatakan pada persamaan 3.10, dengan  $T_s$  merupakan *time sampling*.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{\tau_i s} \right); s \rightarrow \frac{1 - z^{-1}}{T_s} \quad (3.6)$$

$$\frac{U(z)}{E(z)} = K_p + \frac{K_i T_s}{1 - z^{-1}} \quad (3.7)$$

$$U(z) = K_p E(z) + \frac{K_i T_s}{1 - z^{-1}} E(z) \quad (3.8)$$

$$U(z)(1 - z^{-1}) = K_p E(z)(1 - z^{-1}) + K_i T_s E(z) \quad (3.9)$$

$$u(k) = u(k - 1) + K_p e(k) - K_p e(k - 1) + K_i T_s e(k) \quad (3.10)$$

Fungsi alih dari masing-masing kondisi pembebanan ditunjukkan pada Tabel 3.5.

**Tabel 3.5.** Fungsi Alih *Plant* pada Setiap Kondisi Pembebanan

No.	Pembebanan	Fungsi Alih
1.	Beban Minimal	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,39475}{53,69s + 1}$
2.	Beban Nominal	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,28825}{50,65s + 1}$
3.	Beban Maksimal	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,5525}{25,3s + 1}$

Pada saat kondisi pembebanan minimal spesifikasi peromansi yang diinginkan adalah memiliki *settling time* (5%) 90 detik dengan *error steady state* mendekati 0 (*zero offset*). Dalam pencarian parameter kontroler PI digunakan metode analitik yang ditampilkan pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.6.** Nilai Parameter Kontroler PI Beban Minimal

<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>
K <sub>p</sub>	1,28
K <sub>i</sub>	0,023
$\tau_i$ (detik)	53,69
$\tau^*$ (detik)	30

Sedangkan untuk kondisi pembebanan nominal nilai parameter kontroler PI ditunjukkan pada Tabel 3.7. dengan spesifikasi performansi yang sama dengan kondisi pembebanan minimal.

**Tabel 3.7.** Nilai Parameter Kontroler PI Beban Nominal

<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>
K <sub>p</sub>	1,31
K <sub>i</sub>	0,025
$\tau_i$ (detik)	50,65
$\tau^*$ (detik)	30

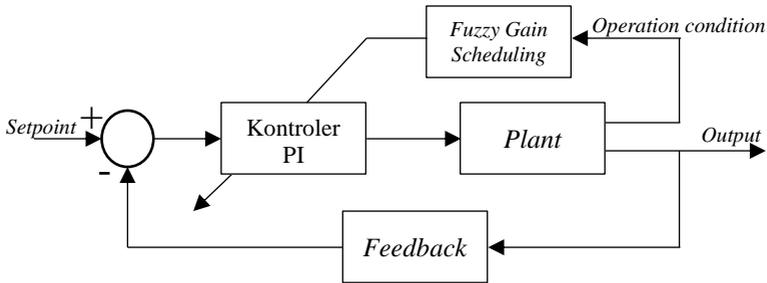
Begitu pula dengan kondisi pembebanan maksimal memiliki spesifikasi performansi yang sama dengan keadaan pembebanan sebelumnya, yaitu memiliki *settling time* (5%) 90 detik dan *error steady state* mendekati 0 (*zero offset*). Nilai parameter kontroler PI pembebanan maksimal ditunjukkan pada Tabel 3.8.

**Tabel 3.8.** Nilai Parameter Kontroler PI Beban Maksimal

<b>Parameter</b>	<b>Nilai</b>
K <sub>p</sub>	1,52
K <sub>i</sub>	0,0603
$\tau_i$ (detik)	25,3
$\tau^*$ (detik)	30

### 3.4. Perancangan *Fuzzy Gain Scheduling*

Pada tugas akhir ini metode *Fuzzy Gain Scheduling* digunakan untuk menyelesaikan kasus variasi beban pada *plant Pressure Process Rig 38-714*. Logika *fuzzy* pada *fuzzy gain scheduling* digunakan sebagai kontroler supervisori yang dapat melakukan penalaan parameter PI pada saat kondisi pembebanan tertentu yang bertindak berdasarkan variabel masukannya. Diagram blok sistem yang dirancang ditunjukkan oleh Gambar 3.17.



**Gambar 3.17.** Diagram blok Sistem *Fuzzy Gain Scheduling* PI

Diharapkan sistem mampu memiliki spesifikasi dengan nilai *error* pada keadaan *steady state* dibawah 2%, memiliki kemampuan *time recovery* dibawah 200 detik ketika terjadi perubahan beban, serta diharapkan mampu membatasi nilai *overshoot* sekitar 50% pada saat terjadinya perubahan beban.

### 3.4.1. Fungsi Keanggotaan

Dalam perancangannya, metode *fuzzy* yang digunakan memiliki dua masukan dan dua keluaran. Masukan *fuzzy* terdiri dari *delta pressure* (perubahan tekanan pada sistem), serta masukan lainnya yaitu *differential pressure* sistem. Kedua variabel tersebut memiliki keterkaitan ketika terjadi perubahan beban. Lalu keluaran *fuzzy* yaitu berupa nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang merupakan parameter dari kontroler PI.

Setiap masukan memiliki tiga himpunan *fuzzy*, untuk masukan dari *delta pressure* yaitu *Negative* (N), *Zero* (Z), dan *Positive* (P), dengan *range* masukan terdiri dari -1 sampai 1. Sedangkan untuk masukan dari *differential pressure* yaitu Minimal (Min), Nominal (N), dan Maximal (Max) dengan *range* yang dipilih berdasarkan perilaku sistem yaitu dari 0 sampai 3 (psi). Keluaran *fuzzy* merupakan nilai  $K_p$ , dan  $K_i$  berbentuk *fuzzy singleton* yang merupakan nilai konstan dari hasil perancangan kontroler PI yang telah dibuat. Gambar 3.18 dan Gambar 3.19 menunjukkan fungsi keanggotaan dari masukan dan keluaran *fuzzy*.

### 3.4.2. Basis Aturan

Basis aturan merupakan kumpulan dari aturan *If-Then*, aturan ini memetakan variabel dari masukan *fuzzy* menjadi keluaran *fuzzy*. Masukan *fuzzy* merupakan premis sedangkan keluaran *fuzzy* merupakan konsekuen

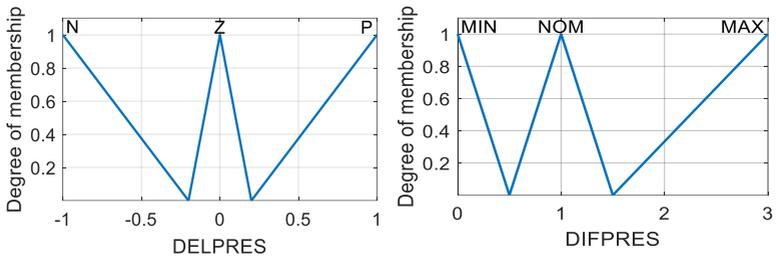
yang susunannya dapat dilihat pada Tabel 3.9. dengan Gain K merupakan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  pada masing-masing kondisi pembebanan.

**Tabel 3.9.** Basis Aturan Gain K

Gain K		Delta Pressure ( $\Delta P$ )		
		N	Z	P
DifP <sub>ress</sub>	Min	Nom	Min	Min
	Nom	Nom	Nom	Nom
	Max	Max	Max	Nom

Jika ditulis dengan kalimat implikasi *fuzzy* maka dapat disusun aturan *fuzzy* seperti berikut:

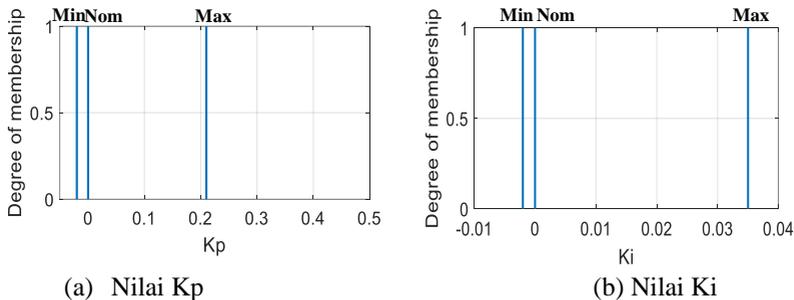
- Jika  $\Delta P = 'N'$  and DifP = 'Min' maka  $K_p = 'Nom'$  also  $K_i = 'Nom'$
- Jika  $\Delta P = 'N'$  and DifP = 'Nom' maka  $K_p = 'Nom'$  also  $K_i = 'Nom'$
- Jika  $\Delta P = 'N'$  and DifP = 'Max' maka  $K_p = 'Max'$  also  $K_i = 'Max'$
- Jika  $\Delta P = 'Z'$  and DifP = 'Min' maka  $K_p = 'Min'$  also  $K_i = 'Min'$
- Jika  $\Delta P = 'Z'$  and DifP = 'Nom' maka  $K_p = 'Nom'$  also  $K_i = 'Nom'$
- Jika  $\Delta P = 'Z'$  and DifP = 'Max' maka  $K_p = 'Max'$  also  $K_i = 'Max'$
- Jika  $\Delta P = 'P'$  and DifP = 'Min' maka  $K_p = 'Min'$  also  $K_i = 'Min'$
- Jika  $\Delta P = 'P'$  and DifP = 'Nom' maka  $K_p = 'Nom'$  also  $K_i = 'Nom'$
- Jika  $\Delta P = 'P'$  and DifP = 'Max' maka  $K_p = 'Nom'$  also  $K_i = 'Nom'$



(a) Delta Pressure Sistem

(b) Different Pressure Sistem

**Gambar 3.18.** Fungsi Keanggotaan Masukan Fuzzy



**Gambar 3.19.** Fungsi Keanggotaan Keluaran *Fuzzy*

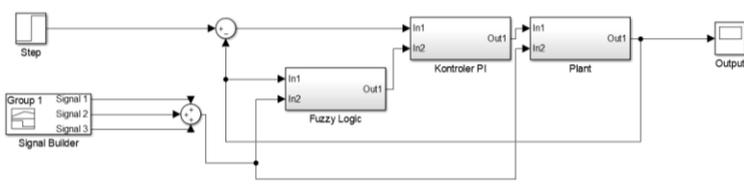
Setelah basis aturan dibuat tahap berikutnya merupakan proses inferensi berupa penarikan kesimpulan dari basis aturan tersebut untuk menentukan nilai Kp dan nilai Ki mana yang akan digunakan. Metode inferensi yang digunakan merupakan metode Mamdani, yaitu mencari nilai maksimum dari nilai minimum derajat keanggotaan masukan *fuzzy*. Persamaan 3.11 merupakan persamaan inferensi *fuzzy* dengan menggunakan metode Mamdani.

$$\mu_u(k) = \max \left[ \min \left( \mu_{dp}(input(i)), \mu_{difp}(input(j)) \right) \right] \quad (3.11)$$

### 3.5. Perancangan Simulasi dan Implementasi

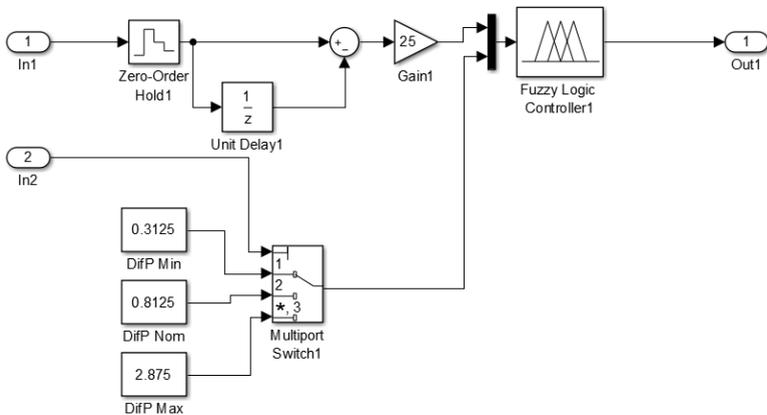
Sebelum melakukan penerapan dan pengujian dari rancangan kontroler, tahapan selanjutnya yaitu mencobanya terlebih dahulu dengan simulasi. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *simulink* pada MATLAB R2016a. *Plant* dari sistem *pressure process rig 38-714* digantikan dengan blok persamaan fungsi alih yang mana parameter *plant* disesuaikan dengan kondisi pembebanan menggunakan *switch*.

Pada Gambar 3.20 ditunjukkan diagram *simulink* untuk dilakukan simulasi. Simulasi dilakukan untuk memastikan bahwa perancangan yang telah dilakukan dirasa aman untuk di implementasikan pada *plant*. Meskipun pada saat dilakukan simulasi, kondisi simulasi merupakan kondisi ideal yang tidak mungkin benar-benar sama dengan kondisi *plant* yang digunakan.



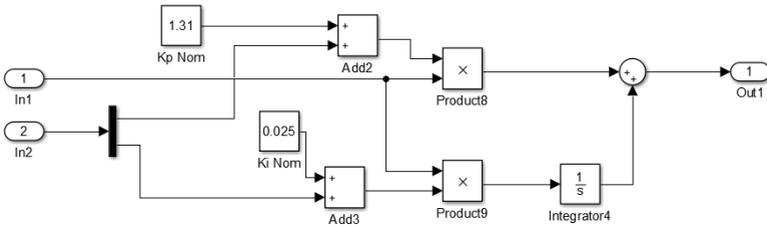
**Gambar 3.20.** Diagram *Simulink* Hasil Perancangan Sistem Kontrol

Dari Gambar 3.20 dapat dilihat bahwa sistem keseluruhan terdiri dari tiga subsistem. Subsistem pertama yaitu *Fuzzy Logic*, kemudian Kontroler PI dan selanjutnya *Plant*. Subsistem *Fuzzy Logic* dapat dilihat pada Gambar 3.21.



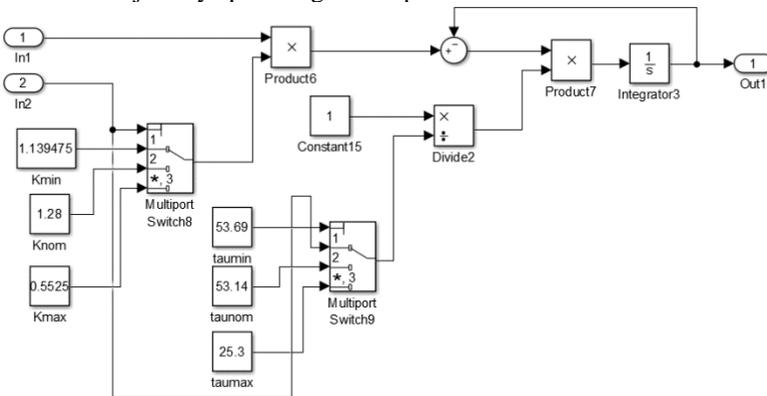
**Gambar 3.21.** Subsistem *Fuzzy Logic*

Pada subsistem *Fuzzy Logic* masukan yang diberikan berupa keluaran dari sistem keseluruhan yaitu tekanan. Tekanan pada saat ini dikurangi tekanan sebelumnya, sehingga didapat *delta pressure* yang kemudian diberikan gain sebesar 80, karena hasil dari *delta pressure* sangatlah kecil. Selanjutnya subsistem kontroler PI ditunjukkan pada Gambar 3.22.



**Gambar 3.22.** Subsistem Kontroler PI

Pada subsistem kontroler PI nilai  $K_p$  serta nilai  $K_i$  nominal diberikan terlebih dahulu, kemudian keluaran dari *fuzzy* akan memberikan nilai selisih antara nilai  $K_p$  dan  $K_i$  pada kondisi pembebanan yang lain, sehingga diperoleh nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang baru sesuai dengan kondisi beban tertentu. Selanjutnya, Gambar 3.23 menunjukkan subsistem *plant*. Dari Gambar 3.23. dapat dilihat bahwa untuk melakukan perubahan beban pada simulasi digunakan *logic switch* sehingga nilai parameter *plant* akan berubah sesuai dengan *logic* yang diberikan. Untuk implementasi digunakan *labview* yang mana program *labview* ini dapat dilihat lebih jelasnya pada bagian lampiran.



**Gambar 3.23.** Susbsitem *Plant*

## BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Setelah dilakukan perancangan sistem yang dilakukan pada Bab 3, selanjutnya merealisasikan dan menganalisa sistem tersebut. Bab ini membahas hasil implementasi dari sistem yang telah dirancang serta unjuk performa dari kontroler yang digunakan.

### 4.1. Simulasi

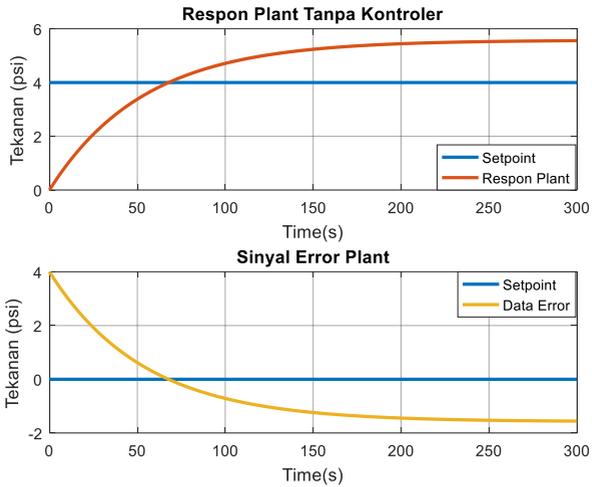
Sebelum melakukan implementasi dari sistem yang dirancang terhadap *plant* maka dilakukan pengujian hasil desain terlebih dahulu pada simulasi yang dibuat pada program *simulink*. Hal ini berhubungan dengan desain kontroler *Fuzzy Gain Scheduling PI* pada *Pressure Process Rig 38-714*, dengan dilakukannya simulasi akan berdampak pada implementasi yang dilakukan sehingga ketika sistem yang dirancang memiliki respon yang sesuai pada saat simulasi, maka hal tersebut dapat di implementasikan pada *plant*.

#### 4.1.1. Pengujian Simulasi Kontroler Beban Minimal

Pengujian simulasi kontroler dilakukan pada keadaan model *plant* diberikan pembebanan minimal. Keadaan *plant* pada saat diberikan beban minimal dapat dilihat sebagai berikut:

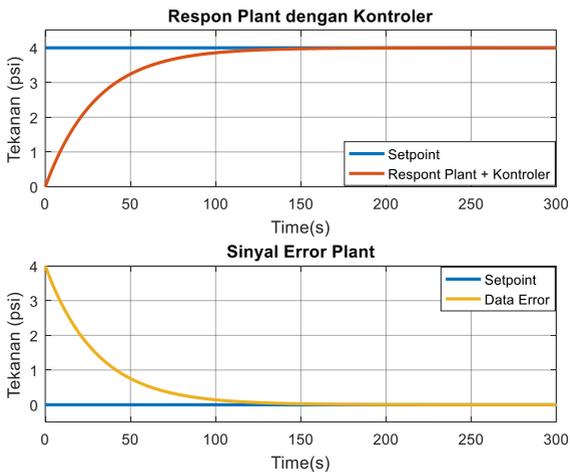
- a. Masukan *plant* : 4 psi
- b. Kondisi minimal :  
    Katup terbuka : V1, V3, dan V4 (terbuka sedikit)  
    Katup tertutup : V2, V5, dan V6
- c. *Air Receiver* : Digunakan

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan model *plant* pada saat keadaan beban minimal tanpa kontroler, yang mana pemodelan itu sendiri dilakukan pada bab sebelumnya. Pada Gambar 4.1 diketahui bahwa respon *plant* memiliki karakteristik konstanta waktu  $\tau = 53,69$  detik dengan *settling time* 5% mencapai 159,2 detik, sedangkan untuk nilai *error steady state* sebesar  $\epsilon_{ss}=39,25\%$ , lalu diberikan kontroler PI yang sesuai dengan perancangan pada bab 3. Hasil uji simulasi kontroler PI ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.1.** Respon *plant* tanpa kontroler pada beban minimal.

Pada Gambar 4.2 respon memenuhi spesifikasi yang diinginkan yaitu memiliki *settling time* (5%) sebesar 89,8 detik dengan nilai *error steady state* sebesar 0% (*zero offset*).



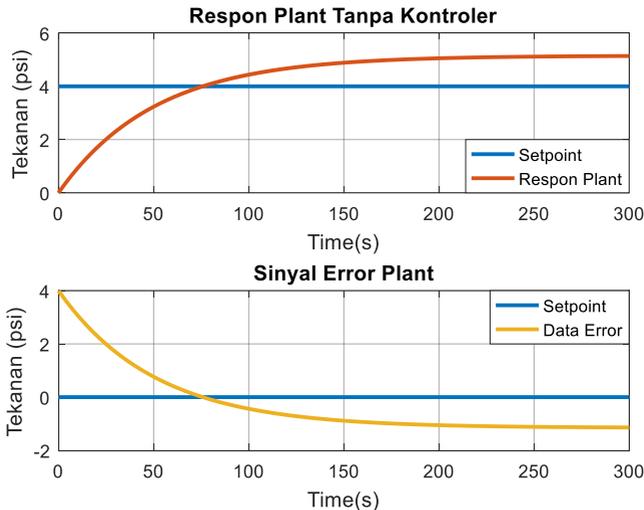
**Gambar 4.2.** Respon *plant* kontroler PI pada beban minimal.

#### 4.1.2. Pengujian Simulasi Kontroler Beban Nominal

Pengujian simulasi kontroler dilakukan pada keadaan *plant* diberikan pembebanan nominal. Keadaan *plant* pada saat beban nominal dapat dilihat sebagai berikut:

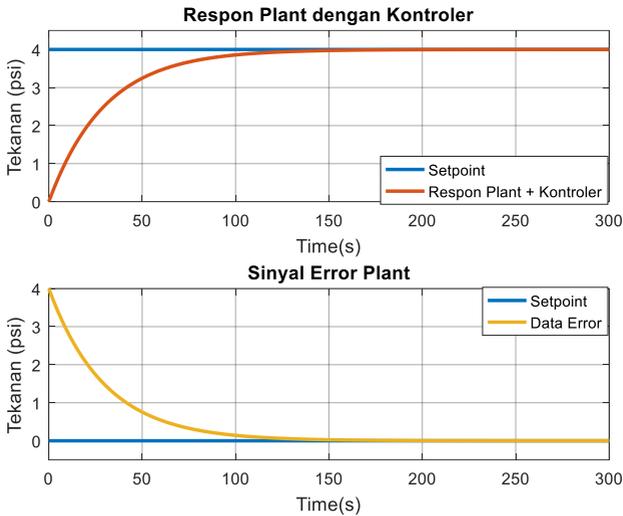
- a. Masukan *plant* : 4 psi
- b. Kondisi nominal :  
    Katup terbuka : V1, V3, dan V4  
    Katup tertutup : V2, V5, dan V6
- c. *Air Receiver* : Digunakan

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan respon *plant* tanpa kontroler beban nominal dengan karakteristik konstanta waktu  $\tau = 50,65$  detik, *settling time* (5%) = 151 detik, dan  $\mathcal{E}_{ss} = 28,75\%$ .



**Gambar 4.3.** Respon *plant* tanpa kontroler beban nominal.

Sedangkan pada Gambar 4.4 merupakan hasil uji kontroler simulasi pada *plant* beban nominal, yang mana respon *plant* memenuhi spesifikasi yaitu memiliki konstanta waktu sebesar  $\tau = 30$  detik, *settling time* (5%) = 89,93 detik, serta memiliki nilai *error steady state* sebesar  $\mathcal{E}_{ss} = 0\%$ .



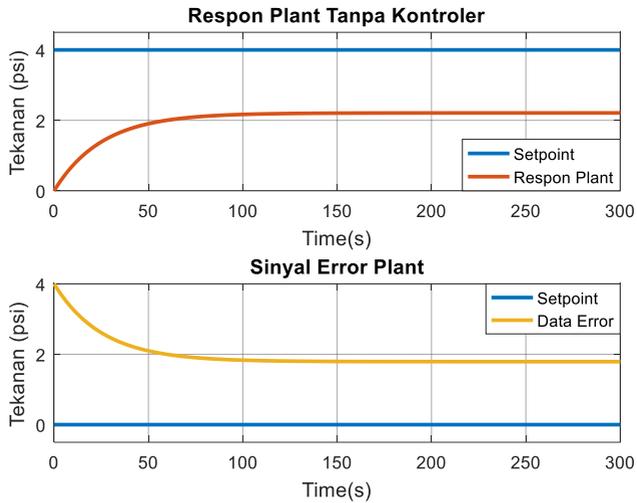
**Gambar 4.4.** Respon *plant* kontroler PI beban nominal.

#### 4.1.3. Pengujian Simulasi Kontroler Beban Maksimal

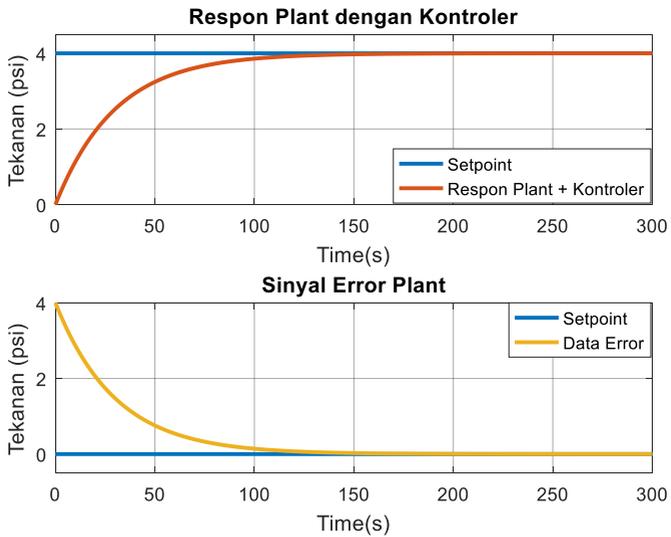
Pengujian simulasi kontroler dilakukan pada keadaan *plant* diberikan pembebanan maksimal. Keadaan *plant* pada saat beban maksimal dapat dilihat sebagai berikut:

- a. Masukan *plant* : 4 psi
- b. Kondisi maksimal :
  - Katup terbuka : V1, V3, V4 dan V5
  - Katup tertutup : V2 dan V6
- c. *Air Receiver* : Digunakan

Gambar 4.5 menunjukkan respon *plant* keadaan beban maksimal tanpa kontroler. Respon *plant* memiliki karakteristik konstanta waktu sebesar  $\tau = 25,3$  detik dengan *settling time* (5%) sebesar  $t_s(5\%) = 75,74$  detik dan memiliki nilai *error steady state* sebesar  $\epsilon_{ss} = 44,75\%$ . Setelah diberikan kontroler PI respon *plant* memenuhi spesifikasi yang dirancang pada bab sebelumnya dengan konstanta waktu sebesar  $\tau = 30,05$  detik, *settling time* (5%) sebesar  $t_s(5\%) = 89,64$  detik, serta memiliki nilai *error steady state* sebesar 0% (*zero offset*). Hasil uji kontroler PI ditunjukkan pada Gambar 4.6.



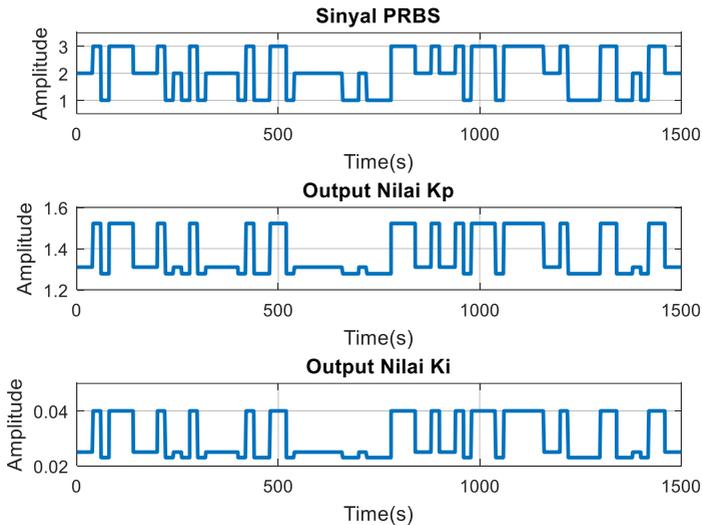
**Gambar 4.5.** Respon *plant* tanpa kontroler beban maksimal.



**Gambar 4.6.** Respon *plant* kontroler PI beban maksimal.

#### 4.1.4. Uji Kontroler *Fuzzy* pada Simulasi

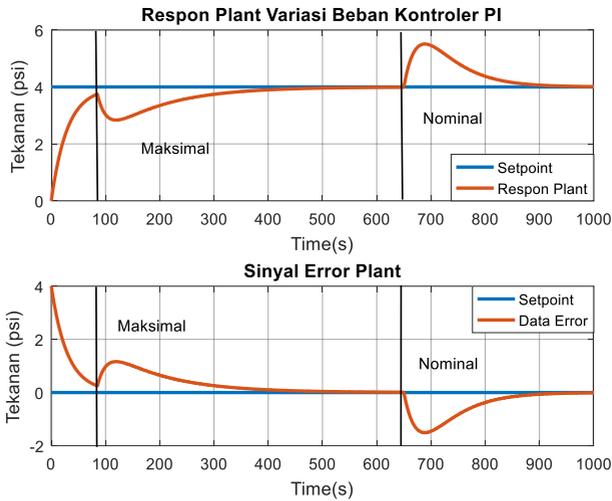
Dilakukan pengujian pada kontroler *fuzzy* untuk diketahui kemampuan kontroler dalam menala atau memberikan nilai  $K_p$  dan nilai  $K_i$  pada saat beban berubah-ubah. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan perubahan beban secara acak berupa pemberian sinyal prbs. Keluaran kontroler *fuzzy* berupa nilai  $K_p$  dan nilai  $K_i$  dituntut untuk menyerupai sinyal prbs. Gambar 4.7 merupakan hasil pengujian berupa keluaran dari kontroler *fuzzy*.



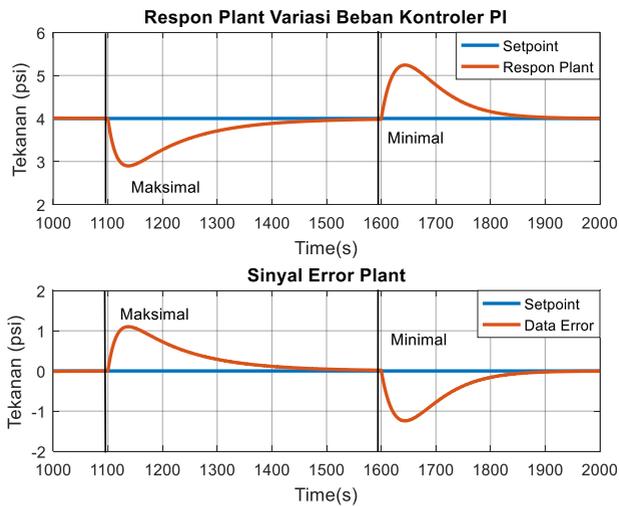
**Gambar 4.7.** Hasil pengujian kontroler logika *fuzzy*

#### 4.1.5. Uji Respon Kontroler pada Simulasi dengan Variasi Beban

Selanjutnya dilakukan pengujian pada kontroler PI dan Kontroler *Fuzzy Gain Scheduling PI* (FGS-PI) untuk diketahui performa dari masing-masing kontroler pada saat diberikan beban bervariasi. Pengujian ini dilakukan secara simulasi, sebelum nantinya dilakukan implementasi. Perubahan beban diatur pada saat keadaan transien dan saat keadaan *steady state*. Pada Gambar 4.8 merupakan respon *plant* dengan kontroler PI pada saat diberikan variasi beban ketika keadaan transien sedangkan Gambar 4.9 beban diatur ketika respon telah mencapai keadaan *steady state*.



**Gambar 4.8.** Respon *plant* dengan kontroler PI ketika diberi beban pada keadaan transien



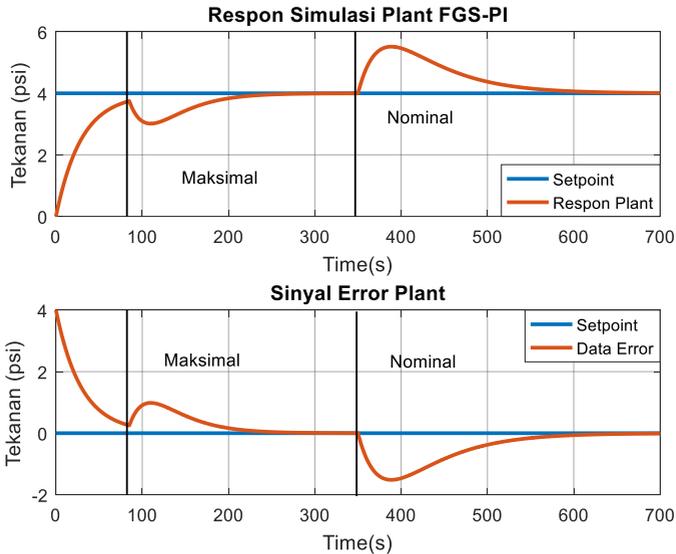
**Gambar 4.9.** Respon *Plant* dengan kontroler PI ketika diberi beban pada keadaan *steady state*

Berdasarkan Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat diketahui performansi dari kontroler PI dengan parameter yang digunakan merupakan parameter pada saat beban nominal. Performansi dari kontroler ditunjukkan pada Tabel 4.1.

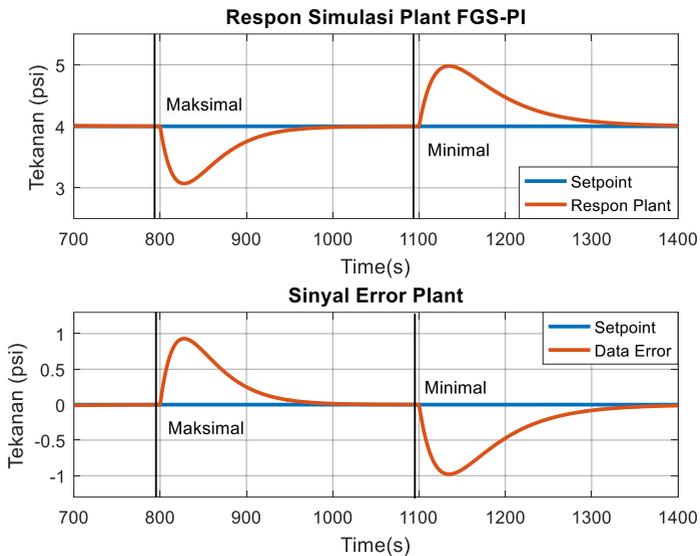
**Tabel 4.1.** Performansi Kontroler PI pada Simulasi

Perubahan Kondisi Beban	<i>Error Steady State (%)</i>	<i>Time Recovery (detik)</i>	Perubahan Tekanan (%)
0 Psi → Nominal	0	888,7	37,7
Nominal → Maksimal	0	338,9	27,575
Maksimal → Minimal	0	238,9	30,975

Pada Gambar 4.10 merupakan respon *plant* dengan kontroler FGS-PI pada saat diberikan pembebanan bervariasi. Beban diatur ketika respon dalam keadaan transien, sedangkan untuk Gambar 4.11 beban diatur pada keadaan *steady state*.



**Gambar 4.10.** Respon *plant* dengan kontroler FGS-PI ketika diberikan beban pada keadaan transien.



**Gambar 4.11.** Respon *plant* dengan kontroler FGS-PI ketika diberikan beban pada keadaan *steady state*

Dari Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 dapat diketahui performansi dari kontroler FGS-PI pada saat terjadinya pemberian beban bervariasi. Performansi dari kontroler FGS-PI ditunjukkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2.** Performansi Kontroler FGS-PI pada Simulasi

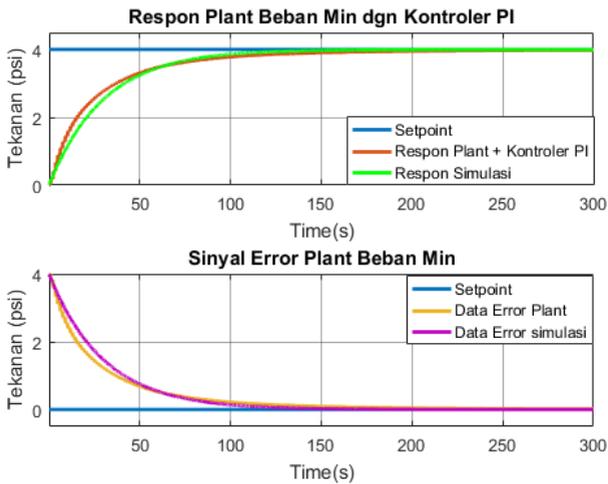
Perubahan Kondisi Beban	<i>Error Steady State (%)</i>	<i>Time Recovery (detik)</i>	Perubahan Tekanan (%)
0 Psi → Nominal	0	587,1	37,925
Nominal → Maksimal	0	141,2	23,25
Maksimal → Minimal	0	200,7	24,5

#### 4.2. Implementasi

Setelah dilakukan uji kontroler pada simulasi, tahapan selanjutnya ialah implementasi pada *plant pressure process rig 38-714* serta dilakukan uji performansi dari kontroler yang telah dirancang. Hasil uji performansi akan ditampilkan pada sub bab ini.

#### 4.2.1. Pengujian Implementasi Kontroler PI pada Beban Minimal

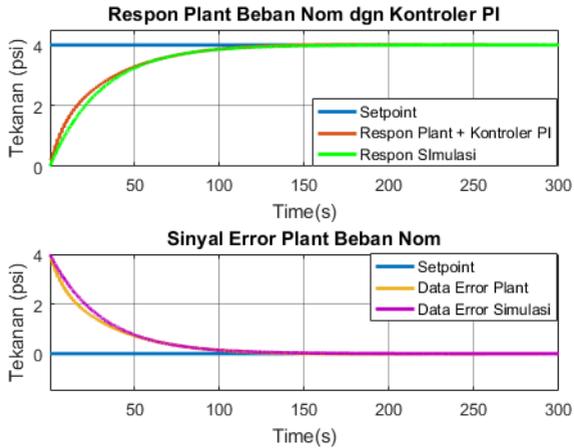
Pada Gambar 4.12 menunjukkan respon *plant* pada kondisi beban minimal dengan diberikan kontroler PI. Respon *plant* mampu mencapai *setpoint* dengan *error steady state* sebesar 0,55%. Karakteristik respon yang dapat diketahui lainnya yaitu konstanta waktu sebesar 24,21 detik, *settling time* (5%) sebesar 104,1 detik, serta nilai RMSE yang diperoleh adalah 0,991.



**Gambar 4.12.** Respon *plant* kontroler PI beban minimal

#### 4.2.2. Pengujian Implementasi Kontroler PI pada Beban Nominal

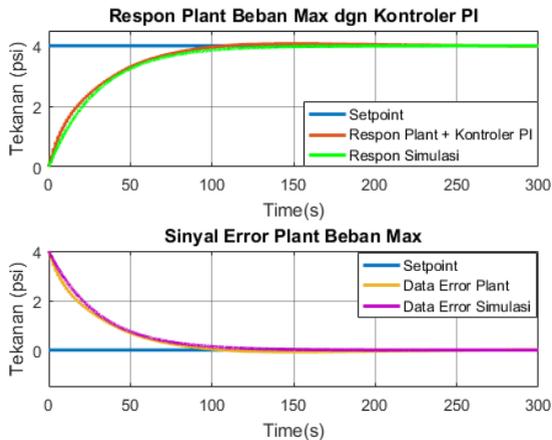
Pada Gambar 4.13 menunjukkan respon *plant* kontroler PI pada keadaan beban nominal. Respon *plant* mencapai *setpoint* dengan *error steady state* sebesar 0,275%. Respon *plant* memiliki nilai konstanta waktu sebesar 25,18 detik, dengan nilai *settling time* (5%) sebesar 90,36 detik dan memiliki nilai RMSE sebesar 0,0864.



**Gambar 4.13.** Respon *plant* kontroler PI beban nominal

#### 4.2.3. Pengujian Implementasi Kontroler PI pada Beban Maksimal

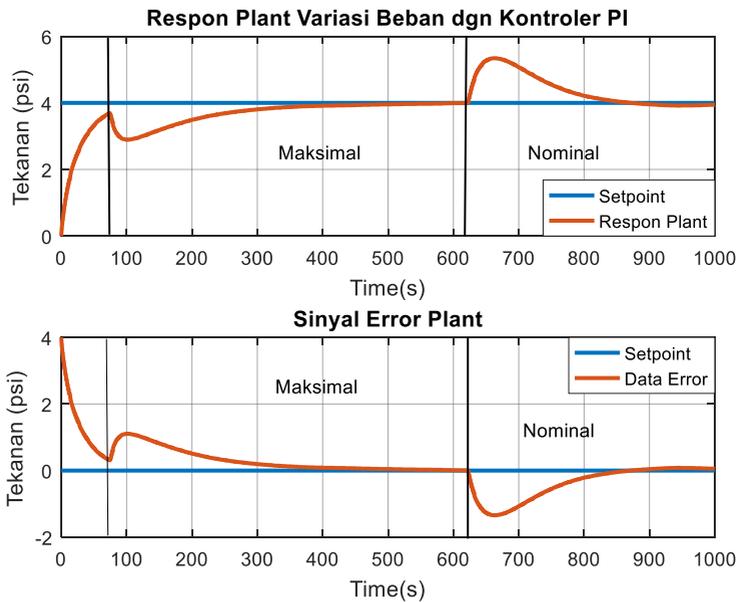
Gambar 4.14 menunjukkan respon *plant* dengan kontroler PI pada keadaan beban maksimal. Respon *plant* mampu mencapai *setpoint* dengan nilai *error steady state* sebesar 0,55% serta memiliki nilai *overshoot* sebesar 1,65%. Memiliki konstanta waktu sebesar 27,57 detik dengan *settling time* (5%) 79,96 detik dengan nilai RMSE sebesar 0,0824.



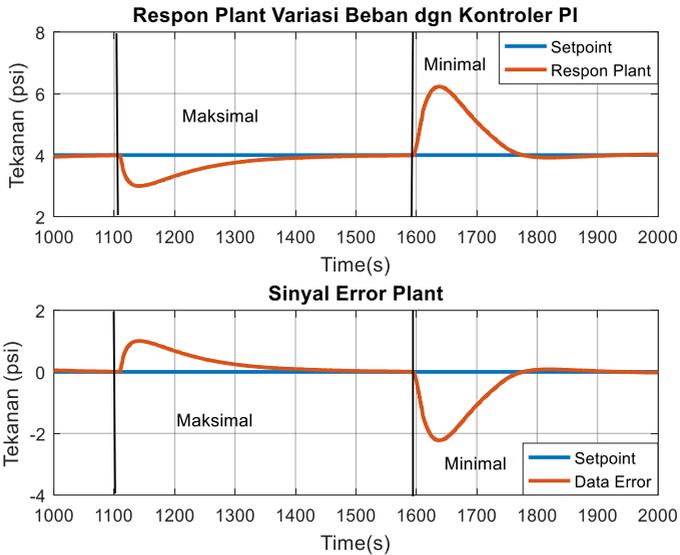
**Gambar 4.14.** Respon *plant* kontroler PI beban maksimal

#### 4.2.4. Uji Respon Kontroler pada Implementasi dengan Variasi Beban

Selanjutnya dilakukan uji kontroler dengan beban bervariasi, agar dapat diketahui perbedaan respon *plant* pada saat diberikan variasi beban antara kontroler PI dengan kontroler FGS-PI. Pada Gambar 4.15 ditunjukkan respon *plant* dengan kontroler PI pada saat terjadi variasi beban. Beban diberikan pada saat respon *plant* sedang dalam keadaan transien. Sedangkan Gambar 4.16 menunjukkan respon *plant* ketika diberikan perubahan pembebanan saat dalam keadaan *steady state*.



**Gambar 4.15.** Respon *plant* dengan kontroler PI ketika diberi beban pada keadaan transien



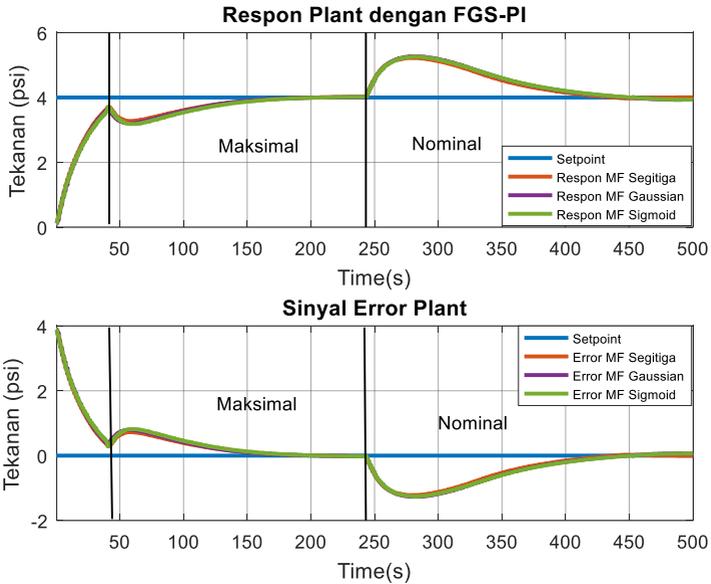
**Gambar 4.16** Respon *plant* dengan kontroler PI diberikan variasi beban pada keadaan *steady state*

Dari Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 dapat diketahui respon *plant* serta performa kontroler PI dalam menghadapi permasalahan variasi beban yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3.** Performansi Kontroler PI pada Implementasi

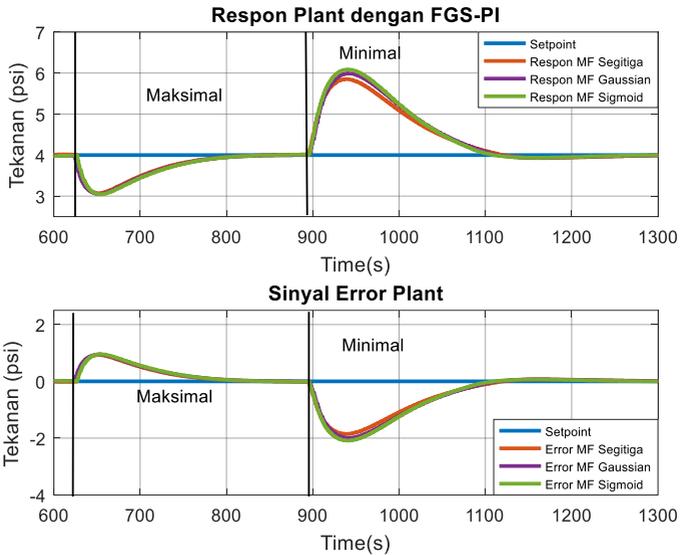
Perubahan Kondisi Beban	<i>Error Steady State</i> (%)	<i>Time Recovery</i> (detik)	Perubahan Tekanan (%)
0 Psi → Nominal	1,6	838,4	33,55
Nominal → Maksimal	0,2	304,4	25,05
Maksimal → Minimal	0,425	167,3	55,725

Pada Gambar 4.14 menunjukkan respon *plant* pada saat diberikan beban bervariasi dengan kontroler yang digunakan yaitu kontroler FGS-PI dengan pemberian beban dilakukan pada saat keadaan transien dengan kondisi beban awal adalah beban nominal.



**Gambar 4.17.** Respon *plant* dengan kontroler FGS-PI dengan pemberian beban pada keadaan transien.

Dari Gambar 4.17 dapat diketahui bahwa respon yang dihasilkan dari *plant* dengan menggunakan kontroler FGS-PI mampu mencapai *setpoint* meskipun beban diberikan pada keadaan transien. Sedangkan untuk percobaan kontroler FGS-PI dengan berbagai fungsi keanggotaan diantaranya fungsi keanggotaan segitiga, gaussian, dan sigmoid tidak terlalu memiliki perbedaan respon yang dihasilkan. Kemudian pada Gambar 4.18 ditunjukkan respon *plant* dengan kontroler FGS-PI diberikan pembebanan bervariasi pada saat keadaan *steady-state*.



**Gambar 4.18.** Respon *plant* dengan kontroler FGS-PI dengan beban bervariasi

Dari Gambar 4.17 dan Gambar 4.18 diketahui respon *plant* serta performa dari kontroler FGS-PI dalam menghadapi permasalahan variasi beban yang ditunjukkan oleh Tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Performansi Kontroler FGS-PI pada Implementasi

Perubahan Kondisi Beban	<i>Error Steady State (%)</i>	<i>Time Recovery (detik)</i>	Perubahan Tekanan (%)
0 Psi → Nominal	0,125	415,9	30,4
Nominal → Maksimal	0,425	157,5	23,2
Maksimal → Minimal	0,35	203,7	46,05

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

Pada bab ini dibahas mengenai kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran yang dapat penulis sampaikan agar dapat membantu penelitian selanjutnya.

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa pengendalian tekanan pada *plant Pressure Process Rig 38-714* dengan metode *Fuzzy Gain Scheduling PI Controller* dapat diperoleh beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Kontroler FGS-PI yang digunakan memiliki nilai *error steady state* ( $e_{ss}$ ) saat beban minimal sebesar 0,35%, beban nominal sebesar 0,125%, dan beban maksimal sebesar 0,425%, hal ini memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan yaitu nilai *error steady state* tidak melebihi 2%.
2. Kemampuan *recovery time* kontroler FGS-PI pada saat perubahan beban dari keadaan nominal ke keadaan maksimal memiliki waktu sebesar 157,5 detik sedangkan dari keadaan beban maksimal ke keadaan minimal memiliki waktu sebesar 203,7 detik.
3. Kemampuan kontroler FGS-PI dalam mengatasi permasalahan variasi beban memiliki performansi yang lebih baik jika dibandingkan dengan kontroler PI. Hal ini dibuktikan dengan selisih dari *recovery time* pada saat perubahan beban dari keadaan beban nominal ke maksimal memiliki selisih waktu 146,9 detik, sedangkan dari kondisi beban maksimal ke minimal kontroler PI memiliki *recovery time* lebih cepat sebesar 36,4 detik namun perubahan tekanan yang terjadi sebesar 55,725% sedangkan perubahan tekanan yang terjadi pada kontroler FGS-PI sebesar 46,05% yang mana memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

## 5.2. Saran

Beberapa saran yang perlu diperhatikan untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Perlu dilakukan kalibrasi terhadap sensor dan aktuator terlebih dahulu sebelum dilakukan implementasi.
2. Pemilihan waktu *sampling* yang tepat dapat menjadikan sistem berjalan sesuai dengan rancangan.
3. Memahami arus 4-20 mA yang bekerja pada aktuator menjadi hal penting sehingga dapat membantu dalam perancangan sistem.

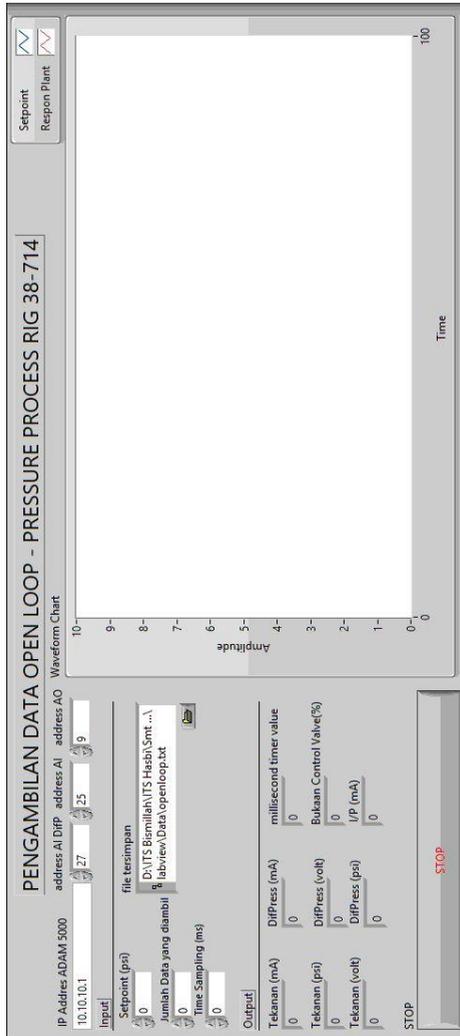
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. O.Fini, M. B. Gogani and M. Pourgholi, "Fuzzy Gain Scheduling of PID Controller Implemented on Real Time Level Control," in *4th Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems (CFIS)*, Iran, 2015.
- [2] Ariyanto, S. Arifin and M. I. Hs, "Perancangan Sistem Pengendalian Level Deaerator Menggunakan Fuzzy Gain Scheduling - PI Di PT Petrowidada," Tugas Akhir, FTI-ITS, Surabaya, 2012.
- [3] B. A. Ogunaikie and W. H. Ray, *Process Dynamics, Modeling, Control*, New York: Oxford University Press, Inc, 1994.
- [4] Feedback Instrumen Ltd, "PROCON Pressure Control Trainer 38-714 Instruction Manual," Feedback Instrumen Ltd, UK, 2003.
- [5] Feedback Instruments Ltd, "COMPONENTS PROCON Process Control Trainers," Feedback Instrumen Ltd, England.
- [6] J. Yan, M. Ryan and J. Power, *USING FUZZY LOGiC*, UK: Prentice Hall, 1994.
- [7] A. Sahamijoo, F. Piltan, S. M. Mazloom, M. Avazpour, H. Ghiasi and N. B. Sulaiman, "Methodologies of Chattering Attenuation in Sliding Mode Controller," *International Journal of Hybrid Information Technology*, vol. 9, no. 2, pp. 11-36, 2016.
- [8] K. M. Passino and S. Yurkovich, *Fuzzy Control*, California: Addison Wesley Longman, Inc, 1998.
- [9] K. J. Astrom and B. W. , *Adaptive Control*, Dover Publication, 1994.
- [10] E. Iskandar, *Sistem Pengaturan Adaptif*, Surabaya: Diktat Kuliah ITS, 2009.
- [11] K. J. Astrom and T. Hagglund, *Advanced PID Control*, United States of America: Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006.
- [12] National Instruments, *LabVIEW User Manual*, Texas: National Instruments, 2003.
- [13] E. Iskandar and A. Fatoni, "Artificial Neural Network Approach for Parameter Estimation in PI Self Tunning Regulator (PI-STR)

method on Process Rig 38-714 Pressure Control," *JAREE (Journal on Advanced Research in Electrical Engineering)*, vol. 3, no. 1, pp. 1-6, 2019.

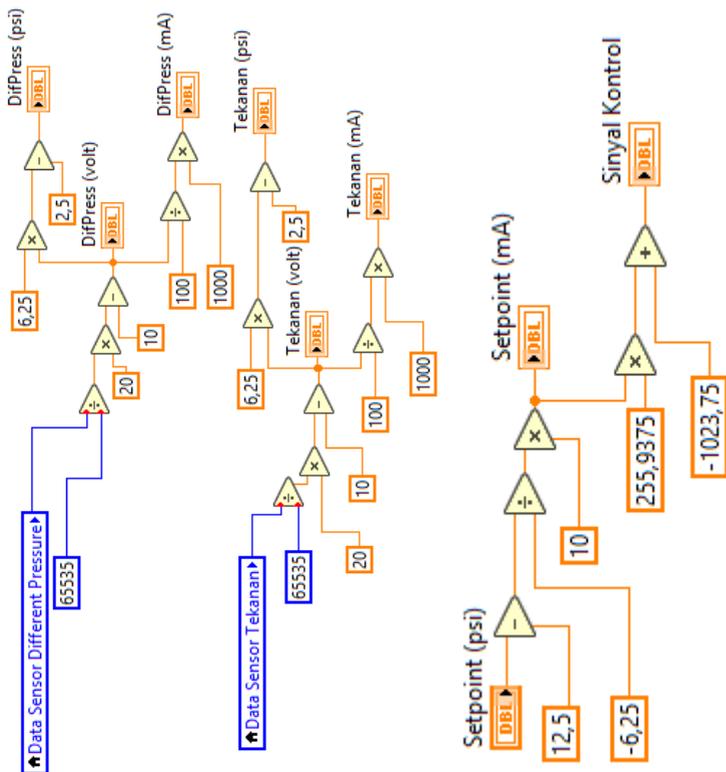
# LAMPIRAN

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

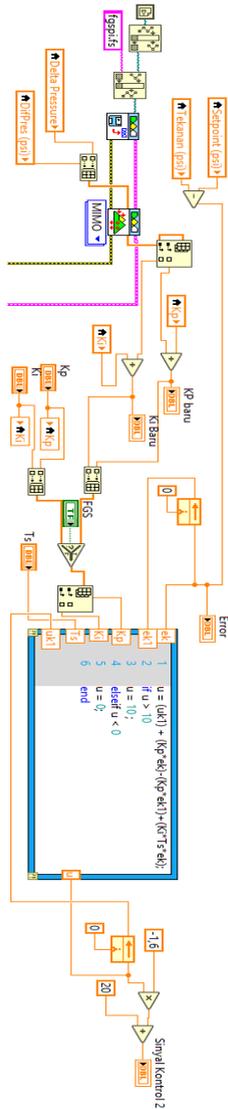




**Lampiran 3.** Blok diagram program *scaling* masukan dan keluaran pada sistem akuisisi data

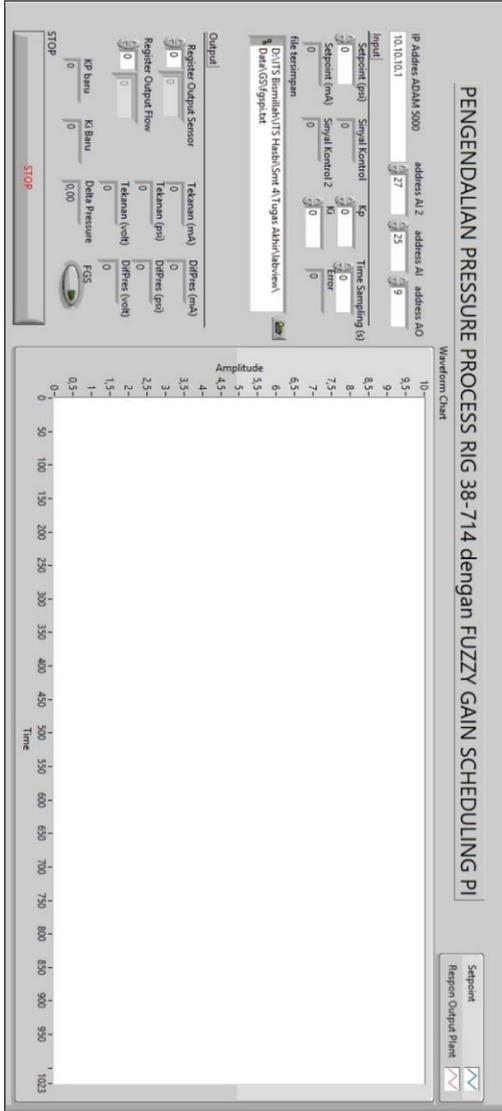


**Lampiran 4.** Blok diagram program utama dari *Fuzzy Gain Scheduling PI Controllers*





**Lampiran 6.** Tampilan *Human Machine Interface (HMI)* program *Fuzzy Gain Scheduling PI Controllers*



## RIWAYAT HIDUP



Nama : Hasbi Dzikri Khairilshidqi  
TTL : Bandung, 03 Mei 1996  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Alamat : Jl. Raya Banjaran No.70 RT 01/05  
Kec. Pameungpeuk, Kab. Bandung  
Telp/Hp : 08987448806  
E-mail : hasbidzikri@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2001-2007 : SDN Banjaran 07
2. 2007-2010 : MTs Persatuan Islam No. 31 Banjaran
3. 2010-2014 : SMKN 1 Cimahi (4 tahun)
4. 2013-2014 : Program D1 Sertifikasi Seamless POLMAN Bandung
5. 2014-2016 : Politeknik Manufaktur Negeri Bandung (POLMAN)
6. 2017-2019 : Departemen Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

### PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktik di PT. PLN (Persero) P3B JB APB Jawa-Bali
2. Kerja Praktik di PT. Duta Hita Jaya
3. Kerja Praktik di PT. Dirgantara Indonesia

### PENGALAMA ORGANISASI

1. Pasukan Inti dalam kegiatan Pramuka periode 2005-2007
2. Ketua Divisi Kaderisasi RG/UG (OSIS) periode 2008-2010
3. Anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika (HIMAMO) POLMAN Bandung periode 2014-2016
4. Anggota Manufacture Music Assosiation (MANUSIA) POLMAN Bandung periode 2014-2016.