



TUGAS AKHIR - EE 184801

PENGATURAN TEKANAN MENGGUNAKAN *SELF TUNING REGULATOR* BERBASIS MODEL FUZZY TAKAGI SUGENO

Moch. Aan Fahrizal
NRP 07111745000033

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

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



FINAL PROJECT - EE 184801

***PRESSURE CONTROL USING SELF TUNING
REGULATOR BASED ON FUZZY TAKAGI
SUGENO MODEL***

Moch. Aan Fahrizal
NRP 07111745000033

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

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

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

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Pengaturan Tekanan Menggunakan *Self Tuning Regulator* Berbasis Model Fuzzy Takagi Sugeno**” 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



Moch. Aan Fahrizal
NRP 07111745000033

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

**PENGATURAN TEKANAN MENGGUNAKAN *SELF TUNING*
REGULATOR BERBASIS MODEL FUZZY TAKAGI SUGENO**


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


Ir. Ali Fatori, MT.
NIP. 196206071989031002

Dosen Pembimbing II


Eka Iskandar, ST., MT.
NIP. 198005282008121001



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

PENGATURAN TEKANAN MENGGUNAKAN *SELF TUNING REGULATOR* BERBASIS MODEL FUZZY TAKAGI SUGENO

Nama Mahasiswa : Moch. Aan Fahrizal
NRP : 07111745000033
Pembimbing I : Ir. Ali Fatoni, MT.
Pembimbing II : Eka Iskandar, ST., MT.

ABSTRAK

Dalam dunia industri, udara bertekanan diterapkan pada sistem pengaturan proses, biasanya digunakan pada sistem yang menggunakan pneumatik. Dalam proses industri udara bertekanan merupakan salah satu variabel yang dikontrol dan saling berkaitan dengan variabel lainnya. Permasalahan yang sering terjadi pada sistem pengaturan proses yaitu sering terjadinya perubahan beban, karena perubahan beban tersebut variabel udara bertekanan akan berubah sehingga akan menyebabkan perubahan proses. Oleh karena itu diperlukan sebuah kontroler yang dapat mengatasi perubahan beban pada sistem pengaturan proses. Pada penelitian Tugas Akhir ini dilakukan penelitian mengenai perancangan kontroler self tuning regulator dengan model fuzzy Takagi Sugeno yang dimana kontroler diharapkan mampu mengatasi perubahan beban pada proses. Penelitian ini diterapkan pada *trainer Pressure Process Rig 38-714* dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa kontroler mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan yaitu pada kondisi beban nominal dengan nilai *error steady state* 0,55%, *settling time* sebesar 92 detik, tidak ada *overshoot*, dan pada kondisi perubahan beban nilai *error steady state* 0,36%, kenaikan tekanan sebesar 24,03% dengan *recovery time* selama 130,2 detik, penurunan tekanan 20,5% dengan *recovery time* selama 139 detik. Pengujian pada kondisi perubahan beban waktu transien kontroler mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan yaitu dengan *error steady state* 0,56%, penurunan tekanan 12,75% dengan *recovery time* selama 117,58 detik.

Kata Kunci : Sistem pengaturan proses, *self tuning regulator*, fuzzy Takagi Sugeno, *Pressure Process Rig 38-714*

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

PRESSURE CONTROL USING SELF TUNING REGULATOR BASED ON FUZZY TAKAGI SUGENO

Student's Name : Moch. Aan Fahrizal
Registration Number : 07111745000033
Supervisor I : Ir. Ali Fatoni, MT.
Supervisor II : Eka Iskandar, ST., MT.

ABSTRACT

In the industrial world, compressed air is applied to process control systems, usually used on systems that use pneumatics. In industrial processes, compressed air is one variable that is controlled and interrelated with other variables. The problem that often occurs in process control systems is the frequent changes in load, because changes in the load pressurized air variable will change so that it causes process change. Therefore, a controller is needed that can overcome changes in load in the process control system. In this final assignment research, a research on the design of self-tuning regulator controller based on the fuzzy Takagi Sugeno model, where the controller is expected to be able to overcome the load changes in the process. This research applied to the Pressure Process Rig 38-714, the results of this study showed that the controller is able to approach the desired specifications at nominal load conditions with steady state error value by 0.55%, settling time of 92 seconds, no overshoot, and in the condition of load changes the steady state error value is 0.36%, increasing the pressure is 24.03% with recovery time of 130.2 seconds, pressure drop is 20.5% with recovery time of 139 seconds. Tests on load change conditions when the transient controller is able to approach the desired specifications with a steady state error of 0.56%, a pressure drop of 12.75% with recovery time of 117.58 seconds.

Keywords : Process control system, self-tuning regulator, fuzzy Takagi Sugeno, Pressure Process Rig 38-714

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

KATA PENGANTAR

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

PENGATURAN TEKANAN MENGGUNAKAN *SELF TUNING REGULATOR* BERBASIS MODEL FUZZY TAK- AGI SUGENO

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

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

Akhir kata semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juni 2019

Penulis

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

DAFTAR ISI

HALAMAN

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
<i>ABSTRACT</i>	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Laporan.....	3
1.7 Relevansi atau Manfaat	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1 Sistem Pengaturan Proses [2].....	5
2.2 <i>Pressure Process</i> Rig 38-714 [3]	6
2.3 Identifikasi Sistem [4] [5]	10
2.3.1 Identifikasi Statis.....	11
2.4 <i>Self Tuning Regulator</i> [6].....	15
2.5 Logika Fuzzy [7]	16
2.5.1 Fungsi Keanggotaan	17
2.5.2 Operasi Himpunan Fuzzy	19
2.5.3 Sistem Inferensi Fuzzy	19
2.5.4 Fuzzy Takagi Sugeno [8]	21
2.6 Kriteria Kesalahan.....	23
2.6.1 <i>Root Mean Square Error</i> (RMSE)	23
2.6.2 <i>Integral of Absolute Error</i> (IAE).....	24
 BAB III PERANCANGAN SISTEM	 25
3.1 Perancangan Konfigurasi Sistem	25

3.1.1	Komputer/PC	26
3.1.2	Konfigurasi <i>Plant</i>	26
3.1.3	Konfigurasi ADAM 5000L/TCP.....	30
3.2	Identifikasi <i>Plant</i>	33
3.2.1	Pemodelan Sistem	34
3.2.2	Validasi Model.....	36
3.3	Perancangan Kontroler	38
3.3.1	Pemodelan Fuzzy Takagi Sugeno	38
3.3.2	Desain <i>Self-Tuning Regulator</i>	40
3.4	Perancangan Simulasi Kontroler.....	45
BAB IV	PENGUJIAN DAN ANALISA	47
4.1	Pengujian Simulasi pada Kondisi Beban Nominal	47
4.2	Pengujian Simulasi pada Kondisi Perubahan Beban.....	48
4.3	Pengujian pada Kondisi Beban Nominal.	50
4.4	Pengujian pada Kondisi Perubahan Beban	52
BAB V	PENUTUP	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR	PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61
RIWAYAT	HIDUP	67

DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

Gambar 2.1	Diagram blok sistem pengaturan <i>loop</i> terbuka	5
Gambar 2.2	Diagram blok sistem pengaturan <i>loop</i> tertutup	6
Gambar 2.3	<i>Pressure Process Rig</i> 38-714	7
Gambar 2.4	Kompresor	7
Gambar 2.5	I/P converter	8
Gambar 2.6	<i>Pneumatic control valve</i>	8
Gambar 2.7	<i>Pressure sensor</i>	9
Gambar 2.8	<i>Differential pressure sensor</i>	9
Gambar 2.9	<i>Manual valve</i>	10
Gambar 2.10	<i>Air receiver</i>	10
Gambar 2.11	Karakteristik sistem orde pertama	12
Gambar 2.12	Karakteristik respon waktu sistem orde kedua	13
Gambar 2.13	Blok diagram <i>self tuning regulator</i>	16
Gambar 2.14	Sistem inferensi fuzzy	16
Gambar 2.15	Macam-macam fungsi keanggotaan	17
Gambar 2.16	<i>Model based fuzzy control design</i>	21
Gambar 3.1	Skema sistem	25
Gambar 3.2	Konfigurasi <i>plant Pressure Process Rig</i> 38-714	27
Gambar 3.3	Rangkaian kalibrasi <i>pressure sensor</i> dan <i>transmitter</i>	28
Gambar 3.4	Rangkaian kalibrasi <i>differential pressure sensor</i> dan <i>transmitter</i>	29
Gambar 3.5	<i>Window software ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09</i>	31
Gambar 3.6	Penyetelan modul analog <i>input</i> dan kanal yang digunakan	32
Gambar 3.7	Penyetelan modul analog <i>output</i> dan kanal yang digunakan	32
Gambar 3.8	Skema identifikasi sistem	33
Gambar 3.9	Keluaran terukur pada beban nominal	34
Gambar 3.10	Keluaran terukur pada beban minimal	35
Gambar 3.11	Perbandingan respon <i>plant</i> dengan respon model	36
Gambar 3.12	Perbandingan respon <i>plant</i> dan respon model	37
Gambar 3.13	Diagram blok kontroler	38
Gambar 3.14	Fungsi keanggotaan perbedaan tekanan (<i>differential pressure</i>)	39
Gambar 3.15	Blok simulasi kontroler	45

Gambar 3.16	Subsistem pada <i>plant</i>	45
Gambar 3.17	Subsistem kontroler pi.....	46
Gambar 4.1	Respon hasil simulasi pada kondisi beban nominal.....	48
Gambar 4.2	Respon hasil simulasi pada kondisi perubahan beban.....	49
Gambar 4.3	Respon hasil simulasi pada kondisi perubahan beban waktu transien	50
Gambar 4.4	Respon <i>plant</i> pada kondisi beban nominal	51
Gambar 4.5	Respon <i>plant</i> pada kondisi perubahan beban.....	53
Gambar 4.6	Respon <i>plant</i> perubahan beban pada waktu transien	54
Gambar 4.7	Respon <i>plant</i> perubahan beban dengan beberapa <i>membership function</i>	55
Gambar 4.8	Respon <i>plant</i> perubahan beban waktu transien dengan beberapa <i>membership function</i>	56

DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 3.1 ADAM 5000L/TCP AI/AO <i>scalling</i>	30
Tabel 3.2 Persamaan model pada beban nominal.....	37
Tabel 3.3 Persamaan model pada beban minimal	37
Tabel 4.1 Performansi simulasi sistem pada kondisi nominal.....	48
Tabel 4.2 Performansi simulasi sistem pada kondisi perubahan beban	49
Tabel 4.3 Performansi sistem pada kondisi perubahan beban waktu transien.....	50
Tabel 4.4 Performa kontroler pada kondisi nominal	52
Tabel 4.5 Performa kontroler pada perubahan beban	53
Tabel 4.6 Performa kontroler pada perubahan beban waktu transien...	54

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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tekanan atau dalam bahasa inggris disebut dengan *pressure* merupakan istilah besaran gaya yang diberikan pada suatu area permukaan tertentu, dalam dunia industri saat ini tekanan diterapkan ke dalam sistem udara bertekanan dengan cara memampatkan udara menjadi volume yang kecil sehingga tekanannya meningkat dengan menggunakan kompresor. Kompresor berfungsi untuk menyuplai kebutuhan udara bertekanan (*compressed air*) dengan jumlah dan tekanan tertentu.

Sistem udara bertekanan banyak dijumpai diberbagai bidang misalnya pada bidang industri farmasi dalam proses produksi memerlukan udara bertekanan yang digunakan pada area ruang bersih, dimana peralatan bersentuhan langsung dengan produk, sehingga mempengaruhi mutu atau kualitas produksi, kemudian dalam bidang industri yang telah menerapkan otomatisasi menggunakan peralatan pneumatik dengan sumber tenaganya adalah udara bertekanan, dan pada industri besar misalnya pada pembangkit tenaga listrik yang memerlukan udara bertekanan sebagai sumber energinya untuk memutar turbin guna menggerakkan generator. Selain itu, keuntungan menggunakan udara pada proses di industri adalah memudahkan manusia dalam segi keamanan dan keselamatan, misalnya *plant* di industri berada pada daerah yang berbahaya karena berdekatan dengan suhu tinggi, berkaitan dengan bahan kimia yang berbahaya dan tegangan listrik tinggi.

Udara bertekanan dalam sistem pengaturan proses di industri termasuk kedalam salah satu variabel yang dikontrol dan saling berkaitan dengan variabel lainnya, supaya dapat menjamin keandalan pengaturan pada peralatan sistem proses, harus disediakan udara yang kualitasnya memadai, faktor-faktor yang mempengaruhi keandalan dari pengaturan pada sistem udara bertekanan yaitu, udara yang bersih, kering, dan tekanan yang tepat. Jika faktor-faktor tersebut diabaikan, maka akibatnya adalah kendala mesin tidak terjamin dan dengan demikian akan menaikkan biaya perawatan.

Dalam penelitian Tugas Akhir [1] sebelumnya, membahas mengenai pengaturan tekanan uap *boiler* pada simulator PLTU yang mana pada penelitian tersebut menggunakan metode *self tuning regulator* PI untuk

mengatasi adanya gangguan yang menyebabkan terjadinya perubahan parameter tekanan uap yang digunakan sebagai penggerak turbin generator. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil respon sistem yang sesuai dengan masukan, stabil dan dapat mengatasi gangguan yang ada pada sistem.

Pada Tugas Akhir yang akan dikerjakan, akan diterapkan mekanisme *self-tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno untuk mengatasi perubahan beban atau variasi beban pada pengaturan tekanan yang diterapkan pada *plant Pressure Process Rig 38-714*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang sering terjadi di dalam sistem pengaturan proses di industri adalah terjadinya variasi beban atau perubahan beban yang berubah karena beberapa faktor yang muncul. Perubahan beban tersebut akan menimbulkan kendala yang harus diperhatikan apabila menginginkan performansi yang baik.

1.3 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah membuat sebuah kontroler menggunakan metode *self tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno yang bertujuan untuk mengatasi permasalahan variasi beban atau perubahan beban pada pengaturan proses dan dapat diimplementasikan pada *trainer Pressure Process Rig 38-714*

1.4 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini hanya berfokus pada analisa penggunaan metode *self-tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno pada sistem pengaturan tekanan yang mengalami variasi beban yang berubah-ubah. Pada proses pembebanan hanya menggunakan 2 metode pembebanan. *Plant* yang digunakan adalah *PROCON Pressure Process Rig 38-714* produksi Feedback Inc.

1.5 Metodologi

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ada beberapa tahapan yang akan dilakukan demi tercapainya tujuan dari Tugas Akhir ini, langkah awal yang dilakukan adalah mempelajari *plant* yang akan dikerjakan yaitu mengenai sistem *Pressure Process Rig 38-714*, dengan mencari jurnal, literatur, maupun penelitian Tugas Akhir sebelumnya yang membahas tentang sistem *pressure process* serta melihat cara penggunaan *trainer Pressure*

Process Rig 38-714 dari mahasiswa yang melakukan penelitian sebelumnya, mempelajari tentang pengaturan adaptif yang digunakan yaitu *self-tuning regulator*, mempelajari sistem pengaturan cerdas mengenai *fuzzy logic* terutama *fuzzy Takagi Sugeno*, dan mempelajari tentang identifikasi sistem.

Tahapan berikutnya dapat dilanjutkan dengan mempelajari pemodelan matematis dari *plant Pressure Process Rig 38-714* dan melakukan identifikasi pada *plant*, identifikasi dapat dilakukan dengan pengambilan data sistem *open loop* untuk menentukan struktur dari model dan parameter-parameter yang dibutuhkan atau melihat identifikasi dari penelitian sebelumnya dan dijadikan sebagai acuan untuk tahapan selanjutnya. Dari pemodelan tersebut dapat dilanjutkan dengan pembuatan simulasi dalam MATLAB/SIMULINK dan diuji kesesuaiannya dengan referensi. Dari hasil simulasi *plant* dapat dilanjutkan dengan perancangan desain model *fuzzy Takagi Sugeno* sebagai parameter kontrol dan desain *self-tuning regulator* sebagai pengaturan adaptif.

Setelah mendapatkan perancangan desain kontroler dilakukan simulasi untuk mengetahui karakteristik respon sistem dan mengetahui apakah sudah layak untuk diimplementasikan pada *plant*. Setelah dirasa hasil dari simulasi sudah sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan dan dirasa sudah layak untuk diimplementasikan pada *plant*, dapat dilakukan implementasi hasil perancangan pada *plant*. Data yang didapatkan dari hasil simulasi dan implementasi dianalisa dan divalidasi kecocokannya untuk mengetahui performa sistem setelah dilakukan perancangan. Tahap terakhir yaitu menulis laporan berupa buku Tugas Akhir sesuai dengan panduan pembuatan buku Tugas Akhir yang berlaku.

1.6 Sistematika Laporan

Pembahasan tugas akhir ini akan dibagi menjadi 5 Bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, sistematika laporan, serta relevansi atau manfaat tugas akhir yang dibuat.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan teori dasar yang dijadikan penunjang dan mendukung dalam perencanaan ataupun desain pada sistem yang akan dikerjakan pada Tugas Akhir, diantaranya adalah sistem

pengaturan proses, *Pressure Process* Rig 38-714, *self-tuning regulator*, fuzzy Takagi Sugeno.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Bab ini membahas perancangan sistem yang membahas mengenai konfigurasi sistem, proses pengambilan data dari *Pressure Process* Rig 38-714, identifikasi *plant*, perancangan kontroler *self-tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno dan skema pengaturan *direct digital control* (DDC) yang digunakan untuk mengendalikan tekanan pada *Pressure Process* Rig 38-714.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini membahas pengujian sistem dan menganalisa data yang didapat dari proses pengaturan pada *Pressure Process* Rig 38-714 menggunakan metode *self-tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang didapat dari pengerjaan Tugas Akhir yang dilakukan dan saran yang nanti dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

1.7 Relevansi atau Manfaat

Manfaat dari Tugas Akhir ini diharapkan mampu memberikan referensi ataupun solusi yang digunakan dalam penelitian selanjutnya atau perkembangan sistem pengaturan proses di industri yang mengalami permasalahan yang sama yaitu adanya perubahan beban.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

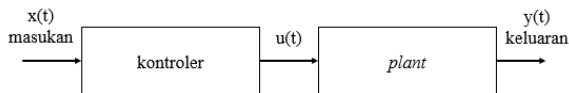
Bab ini berisi tentang dasar teori yang digunakan sebagai landasan dalam mengerjakan Tugas Akhir. Teori tersebut meliputi teori dalam sistem pengaturan proses, pengenalan *Pressure Process Rig* 38-714, identifikasi sistem, *self-tuning regulator*, logika fuzzy.

2.1 Sistem Pengaturan Proses [2]

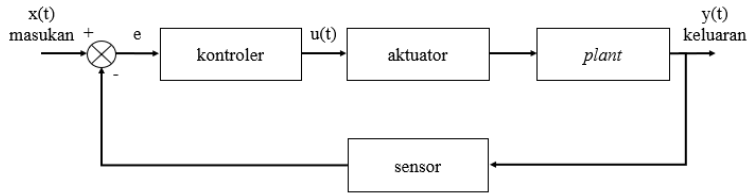
Sistem pengaturan proses adalah pengaturan terhadap satu atau beberapa variabel sehingga berada pada suatu harga tertentu yang diinginkan. Tujuan utama dari suatu sistem pengaturan proses adalah untuk mendapatkan kinerja yang baik pada suatu sistem proses. Kriteria yang dapat digunakan untuk mengukur performansi sistem pengaturan proses ditunjukkan dengan waktu naik (t_r), waktu puncak (t_p), *settling time* (t_s), *maximum overshoot* ($\%M_p$), waktu tunda/*delay time* (t_d), nilai kesalahan keadaan tunak/*error steady state* ($\%ess$), dan *damping ratio* (ξ).

Pada umumnya, besaran yang dikendalikan dalam sistem pengaturan proses yaitu tekanan (*pressure*), laju aliran (*flow*), temperatur (*temperature*), dan ketinggian permukaan cairan (*level*). Berdasarkan besaran yang dikendalikan, sistem pengaturan proses dapat dikategorikan menjadi sistem pengaturan tekanan, sistem pengaturan laju aliran, sistem pengaturan temperatur, dan sistem pengaturan ketinggian permukaan cairan/sistem pengaturan *level*. Sedangkan berdasarkan aksi kontrolnya, sistem pengaturan proses dapat dikategorikan menjadi dua bagian yaitu sistem pengaturan *loop* terbuka dan *loop* tertutup. Perbedaan dari kedua sistem berdasarkan aksi kontrol terdapat pada ada atau tidaknya umpan balik yang kemudian dibandingkan dengan masukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan 2.2

Pada Gambar 2.2, terdapat bagian yang disebut sebagai *summing point* dengan tanda positif-negatif (+/-) yang artinya masukan dikurangkan dengan keluaran sistem. Di titik inilah terjadi pembandingan antara masukan dan keluaran sistem. Keluaran dari titik tersebut dinamakan sebagai sinyal *error* yang bertindak sebagai masukan kontroler.



Gambar 2.1 Diagram blok sistem pengaturan *loop* terbuka



Gambar 2.2 Diagram blok sistem pengaturan *loop* tertutup

2.2 Pressure Process Rig 38-714 [3]

Pressure Process Rig 38-714 adalah peralatan produksi PROCON yang digunakan untuk mengenalkan dan mendemonstrasikan prinsip-prinsip proses pengukuran dan pengendalian. Sistem yang disediakan adalah sistem kendali pneumatik sebagaimana yang biasa digunakan dalam industri.

Secara umum *Pressure Process Rig 38-714* terdiri atas jalur-jalur pipa yang terhubung pada *pneumatik control valve*, *orifice block*, *flowmeter*, *pressure tapping*, regulator, indikator tekanan, dan *valve*. Regulator R1 digunakan untuk mengendalikan tekanan yang diukur oleh G1. Regulator R2 digunakan untuk mengatur tekanan yang diukur oleh G3 atau G4 atau G5. Sementara indikator tekanan G6 digunakan untuk menunjukkan tekanan pada *air receiver*.

Cara kerja dari *Pressure Process Rig* adalah dengan memberikan sinyal digital yang masuk ke DAC lewat komputer/PC, kemudian dikonversi menjadi tegangan analog antara 0,4-2V, kemudian masuk ke rangkaian V/I sehingga di konversi menjadi arus 4-20 mA. Arus ini akan masuk ke *plant (Pressure Process Rig)* dan diubah dengan I/P converter untuk mengatur *pneumatik control valve*. Aliran yang akan keluar di sense oleh *differensial pressure sensor* yang bekerja dengan prinsip Bernaulli. Dengan *transducer*, nilai aliran akan dikonversi menjadi sinyal elektrik (arus). Arus kemudian dikonversi dengan rangkaian I/V menjadi tegangan, tegangan dikonversi oleh ADC menjadi sinyal digital agar dapat dibaca oleh komputer/PC.

Pressure Process Rig tersusun dari beberapa komponen, yaitu kompresor, I/P converter, *pneumatic control valve*, *pressure sensor*, *differensial pressure sensor*, manual valve, PC (yang di dalamnya terdapat ADC, DAC, dan PCI card), gauge, dan regulator.



Gambar 2.3 *Pressure Process Rig 38-714*

Berikut adalah penjelasan dari beberapa komponen pada *Pressure Process Rig 38-714* :

1. Kompresor

Kompresor adalah alat mekanik yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida atau memampatkan fluida, yaitu gas atau udara. Udara bertekanan hasil dari kompresor biasanya diaplikasikan atau digunakan pada pengecatan dengan teknik *spray/air brush*, untuk mengisi angin ban, pembersihan, pneumatik, gerinda udara (*air gerinder*) dan lain sebagainya.



Gambar 2.4 Kompresor

2. I/P Converter

I/P *converter* adalah komponen/perangkat instrumentasi yang berfungsi untuk mengubah bentuk sinyal arus listrik (4-20 mA) menjadi sinyal tekanan (3-15 psi). Prinsip kerja dari I/P *converter* adalah menggunakan kumparan yang digerakkan secara listrik dengan diberi sinyal input arus listrik sebesar 4-20 mA DC ke posisi assembly pneumatik *flapper nozzle*.



Gambar 2.5 I/P converter

3. *Pneumatic Control valve*

Control valve adalah perangkat yang bekerja untuk menutup dan membuka aliran tanpa mengandalkan tenaga manusia sebagai pengantinya ada perangkat lain yang dibutuhkan sebagai penggerak, perangkat tersebut adalah aktuatur, pada *plant Pressure Process Rig control valve* tenaga penggerak yang digunakan yaitu pneumatic aktuatur (menggunakan tenaga angin). *Control valve* menerima masukan udara bertekanan 3-15 psi yang berasal dari I/P converter, besar tekanan yang masuk mempengaruhi besar bukaan *valve*. Prinsip kerja dari *control valve* yaitu *plug* akan naik atau turun sesuai dengan besar udara yang mengalir atau berdasarkan arus yang diberikan pada kumparan. Sementara pada aktuatur berfungsi menggerakkan batang *valve/stem* untuk membuka atau menutup aliran dengan menggunakan sinyal I/P 4-20 mA yang telah diubah menjadi sinyal 3-15 psi. Pada saat tidak ada tekanan yang mengalir atau pada saat keadaan 3 psi maka *control valve normally open*, sedangkan pada saat tekanan yang diberikan 15 psi maka *control valve* dalam keadaan *normaly close*. Bentuk fisik dari *pneumatic control valve* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Pneumatic control valve*

4. *Pressure Sensor*

Sensor tekanan (*pressure sensor*) merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tekanan suatu zat, yaitu dengan mengubah tegangan mekanis menjadi sinyal listrik. Prinsip kerja sensor tekanan yaitu perubahan tekanan pada kantung menyebabkan perubahan posisi inti kumparan sehingga mengakibatkan perubahan induksi magnetik pada kumparan. Kumparan yang digunakan adalah kumparan CT (*Center Tap*), dengan demikian apabila inti mengalami pergeseran maka induktifitas salah satu kumparan bertambah sementara induktifitas pada kumparan lainnya berkurang.



Gambar 2.7 *Pressure sensor*

5. *Differential Pressure Sensor*

Differential pressure sensor merupakan komponen yang digunakan untuk mengukur perbedaan tekanan yang terukur adalah informasi untuk mengetahui aliran udara. Terdapat dua sensor tekanan yang dipasang berdampingan pada jarak tertentu dalam satu saluran yang diberi sekan dengan *orifice plate*. Udara akan mengalir pada lubang yang terdapat pada *orifice plate* sehingga terdapat perbedaan tekanan aliran udara. Perbedaan tekanan aliran udara tersebut menggeser diafragma. Apabila diafragma mendekati *capacitive sensor low* maka *differential pressure* yang terukur adalah kecil dan sebaliknya.



Gambar 2.8 *Differential pressure sensor*

6. *Manual Valve*

Dalam *plant Pressure Process Rig 38-714* terdapat *manual valve* yang digunakan dalam pembebanan, cara kerjanya yaitu dengan membuka dan menutup secara manual dengan memutar tuasnya.



Gambar 2.9 Manual valve

7. *Regulator*

Terdapat dua regulator yang terdapat pada plant, fungsi dari regulator ini adalah untuk mengatur besarnya tekanan yang masuk. Regulator (R1) digunakan untuk mengatur besarnya tekanan yang akan masuk ke dalam *pneumatic control valve* yaitu sebesar 25 psi, dan regulator (R2) digunakan untuk mengatur besarnya tekanan yang masuk ke dalam *plant Pressure Process Rig 38-714*.

8. *Air Receiver*

Air receiver adalah wadah penampung udara yang berfungsi untuk menampung dan mendistribusikan udara yang didapatkan dari susunan buka tutup manual.



Gambar 2.10 Air receiver

2.3 Identifikasi Sistem [4] [5]

Desain sistem yang berdasarkan metode matematik, sistem fisis selalu disajikan dalam bentuk model matematik yang menggambarkan hubungan dinamik antara *input* dan *output* sistem. Model matematik suatu sistem dapat diturunkan dengan dua cara yaitu:

1. Melalui hubungan fisik antar variabel *input* dan *output* dari setiap komponen sehingga membentuk model matematik sistem secara keseluruhan.

2. Menggunakan metode identifikasi, yaitu suatu sistem metode yang berdasarkan evaluasi data *input* dan *output* yang selanjutnya dilakukan pengujian dan analisa pada pendekatan model, sehingga dapat ditentukan nilai parameter yang sesuai

Salah satu tahapan dalam melakukan penelitian untuk memperoleh model matematik dari suatu sistem. Model matematik sistem diperlukan untuk menggambarkan hubungan masukan dan keluaran sistem.

Identifikasi sistem terbagi menjadi dua macam yaitu identifikasi statis dan dinamis. Identifikasi statis, sinyal yang diberikan berupa sinyal *step* yang konstan sampai sistem mencapai keadaan *steady state*. Identifikasi dinamis, sinyal yang digunakan berupa sinyal acak (*random*), pada Tugas Akhir ini dilakukan identifikasi statis untuk mendapatkan model pendekatan pada sistem.

2.3.1 Identifikasi Statis

Identifikasi ini menggunakan metode pendekatan respon waktu dengan memberikan sinyal uji (*step*, sinus, dan impuls) dengan waktu terbatas, untuk memperoleh parameter sistem. Proses identifikasi ini cenderung diaplikasikan pada sistem stabil dengan beberapa pendekatan respon waktu yang digunakan yaitu:

1. Sistem orde pertama

Model matematika dari sistem orde pertama dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.1). $X(s)$ dan $Y(s)$ adalah sinyal masukan dan sinyal keluaran sistem orde pertama dalam domain frekuensi.

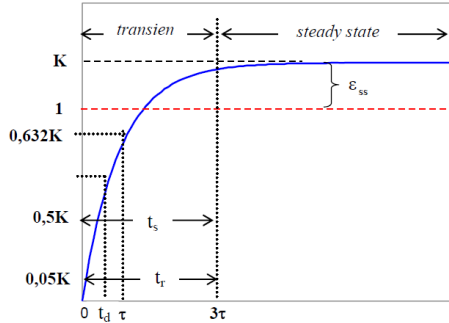
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (2.1)$$

di mana,

$K = \text{gain overall}$

$\tau = \text{time constant}$

Karakteristik respon sistem orde pertama ditunjukkan pada Gambar 2.11, di mana karakteristik sistem dibedakan menjadi karakteristik respon *transient* dan karakteristik respon *steady state*.



Gambar 2.11 Karakteristik sistem orde pertama

Karakteristik respon transien sistem orde pertama terdiri dari:

- Konstanta waktu (τ), adalah waktu yang menyatakan kecepatan respon sistem mulai $\tau = 0$ sampai dengan respon mencapai 63,2% dari nilai *steady state*.
- Spesifikasi waktu tunak atau *settling time* (T_s), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah masuk pada daerah *steady state*. Korelasi antara konstanta waktu τ , maka dapat diformulasikan pada Persamaan (2.2).

$$T_s(\pm 5\%) \approx 3\tau$$

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

$$T_s(\pm 0,5\%) \approx 5\tau$$

- Waktu naik atau *rise time* (T_R), adalah ukuran waktu yang menyatakan bahwa respon sistem telah naik 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai respon pada keadaan *steady state*. Korelasi antara konstanta waktu τ , maka T_R dapat diformulasikan pada Persamaan (2.3).

$$T_R(5\% - 95\%) = \tau \ln 19 \quad (2.3)$$

$$T_R(10\% - 90\%) = \tau \ln 9$$

- Waktu tunda atau *delay time* (T_d), adalah waktu yang dibutuhkan respon mulai $t = 0$ sampai respon mencapai 50% dari nilainya pada keadaan *steady state*. Waktu tunda menyatakan besarnya factor keterlambatan respon akibat proses sampling. Korelasi antara waktu τ , maka T_d dapat diformulasikan pada Persamaan (2.4).

$$T_d = \tau \ln 2 \quad (2.4)$$

Karakteristik respon *steady state* sistem orde pertama diukur berdasarkan kesalahan *steady state* (E_{ss}). Besarnya kesalahan pada keadaan tunak ditunjukkan pada Persamaan (2.5).

$$E_{ss} = \frac{X_{ss} - Y_{ss}}{X_{ss}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Di mana X_{ss} dan Y_{ss} masing-masing adalah masukan dan keluaran sisteem pada keadaan *steady state*, dan besarnya ditunjukkan pada Persamaan (2.6), sehingga Nilai E_{ss} ditunjukkan pada Persamaan (2.7).

$$Y_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} s Y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{K}{s(\tau s + 1)} \right) = K \quad (2.6)$$

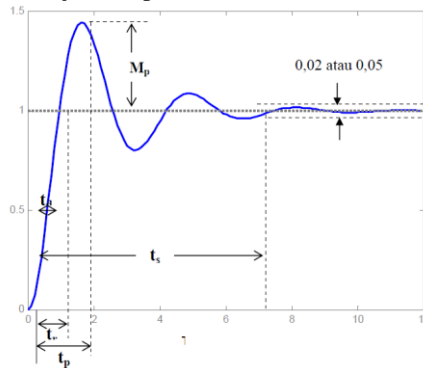
$$X_{ss} = \lim_{t \rightarrow \infty} r(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} s X(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \left(\frac{1}{s} \right) = 1$$

sehingga,

$$E_{ss} = 1 - K \quad (2.7)$$

2. Sistem orde kedua

Model matematik dari sistem orde kedua dinyatakan dalam Persamaan (2.8), dimana $X(s)$ dan $Y(s)$ masing-masing adalah sinyal masukan dan sinyal keluaran sistem orde kedua dalam domain frekuensi, kurva respon orde kedua ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Karakteristik respon waktu sistem orde kedua

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2} \quad (2.8)$$

di mana,

$K = \text{gain overall}$

$\omega_n = \text{frekuensi alami tak teredam}$

$\xi = \text{rasio redaman}$

Berdasarkan Persamaan (2.8), dapat diamati bahwa karakteristik dinamik sistem orde kedua bergantung pada parameter ξ dan ω_n . Letak *pole* lup tertutup dari sistem orde kedua dapat ditinjau berdasarkan nilai rasio peredaman ξ , yaitu:

- a. Untuk $0 < \xi < 1$, *pole* lup tertutup merupakan konjugat kompleks seperti pada Persamaan (2.9). Dalam hal ini sistem dikatakan mengalami redaman kurang (*under damped*)

$$\begin{aligned} P_1 &= -\xi\omega_n + j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} \\ P_2 &= -\xi\omega_n - j\omega_n\sqrt{1-\xi^2} \end{aligned} \quad (2.9)$$

- b. Untuk $\xi = 1$, *pole* lup tertutup merupakan bilangan nyata negatif dan kembar seperti pada Persamaan (2.10). Dalam hal ini sistem dikatakan mengalami redaman kritis (*critically damped*).

$$P_1 = P_2 = -\omega_n \quad (2.10)$$

- c. Untuk $\xi > 1$, *pole* lup tertutup merupakan bilangan nyata negatif dan berbeda, seperti pada Persamaan (2.11). Dalam hal ini sistem dikatakan mengalami redaman lebih (*over damped*).

$$\begin{aligned} P_1 &= -\xi\omega_n + j\omega_n\sqrt{\xi^2-1} \\ P_2 &= -\xi\omega_n - j\omega_n\sqrt{\xi^2-1} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Karakteristik respon waktu untuk sistem orde kedua berdasarkan respon sistem terhadap masukan *unit step* dengan asumsi dalam keadaan redaman kurang (*under damped*). Karakteristik ini dibedakan menjadi karakteristik respon *transient* dan respon *steady state* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.12. Karakteristik respon *transient* sistem orde kedua terdiri dari:

1. Waktu tunda atau *delay time* (T_d) merupakan waktu yang diperlukan oleh respon untuk mencapai setengah dari nilai *steady state* untuk waktu pertama.

2. Waktu naik atau *rise time* (T_r) merupakan waktu yang dibutuhkan oleh respon untuk naik dari 5% ke 95% atau 10% ke 90% dari nilai *steady state*.
3. Waktu puncak atau *peak time* (T_p) merupakan waktu puncak adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak pertama *overshoot*.
4. *Overshoot* maksimum (M_p) merupakan nilai relatif yang menyatakan nilai maksimum respon yang melampaui nilai *steady state* dibanding dengan nilai *steady state*. Besarnya *overshoot* maksimum juga menunjukkan tingkat kestabilan dari sistem. M_p didefinisikan pada Persamaan (2.12).

$$\% M_p = \frac{x(T_p) - x(\infty)}{x(\infty)} \times 100\% \quad (2.12)$$

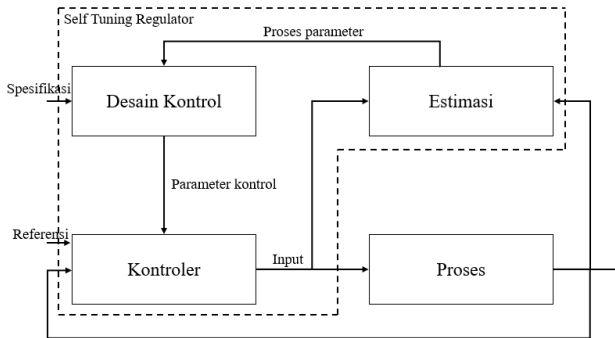
5. Waktu tunak atau *settling time* (T_s) merupakan waktu yang dibutuhkan respon untuk mencapai keadaan stabil (keadaan tunak) atau dianggap stabil.

2.4 Self Tuning Regulator [6]

Kontrol adaptif merupakan sebuah kontroler dengan parameter yang dapat menyesuaikan diri, dan sebuah mekanisme untuk menyesuaikan sebuah parameter. Kontroler adaptif memiliki empat macam kontroler yaitu gain scheduling, *Self Tuning Regulator* (STR), *Model Reference Adaptive Control* (MRAC).

STR merupakan salah satu metode perancangan dalam teknik kontrol adaptif, kontroler adaptif secara umum mempunyai dua *loop*, *inner loop* terdiri dari proses dan umpan balik kontroler dan *outer loop* yang merupakan proses untuk memperoleh parameter kontroler. Pada estimator terjadi proses estimasi terhadap perubahan parameter proses yang dilakukan secara terus-menerus. Sinyal kontroler yang dihasilkan akan dapat mengikuti adanya perubahan parameter proses.

Kontrol adaptif berupa STR biasanya untuk kasus regulator, di mana parameter kontrol beradaptasi mengikuti perubahan parameter *plant*, sedemikian rupa sehingga spesifikasi respon sistem total tetap sesuai dengan keinginan sistem. Dalam STR, parameter kontrol atau parameter proses diestimasi secara *real time*. Proses estimasi pada *plant* digunakan untuk memperoleh perkiraan model yang mendekati parameter *plant* sesungguhnya. Blok diagram STR ditunjukkan pada Gambar 2.13.

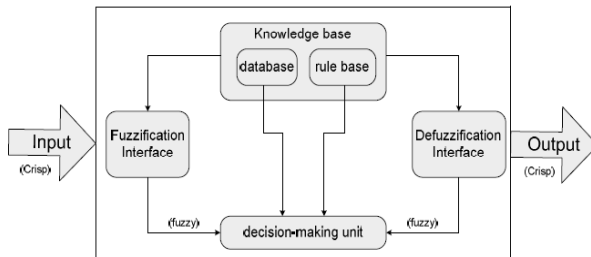


Gambar 2.13 Blok diagram *self tuning regulator*

2.5 Logika Fuzzy [7]

Logika fuzzy adalah bentuk adaptasi jalan pikir manusia yang bersifat linguistik yang berbeda dengan Boolean 0 dan 1. Layaknya dalam kehidupan sehari-hari, temperatur suatu cairan secara linguistik umumnya dikelompokkan menjadi “sangat panas”, “cukup panas”, “cukup dingin”, dan “dingin”, bukan hanya dianggap “panas” dan “dingin” saja. Sifat tersebut diadaptasikan kedalam logika fuzzy dengan menyatakan dalam derajat keanggotaan yang mampu mendeskripsikan suatu logika yang bernilai 0 dan 1 secara bersamaan beserta derajat kecenderungannya.

Dalam pengaturan, logika fuzzy dapat digunakan sebagai metode kontrol dengan kemampuannya mengelompokkan kondisi *plant* dalam derajat kenggotaan dan menyatakan aksi kontrol yang sesuai dengan kondisi tersebut. Kontroler fuzzy memiliki 4 komponen inti antara lain basis aturan, fuzzifikasi, mekanisme inferensi, dan defuzzifikasi. Proses tersebut digambarkan seperti pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Sistem inferensi fuzzy

Basis aturan adalah sekumpulan pemahaman dalam rupa aturan-aturan yang mampu menentukan konsekuensi kontrol apa yang sesuai dengan kondisi yang sedang diterima. Aturan tersebut dalam rupa kombinasi premis *if-then* seperti berikut

$$\begin{aligned} &\text{If premis then konsekuensi} \\ &\text{If } x_1 = A \text{ AND } x_2 = B \text{ then } u = C \end{aligned} \quad (2.13)$$

A , B , dan C adalah variabel linguistik yang didefinisikan dengan himpunan fuzzy. Konsekuensi adalah kesimpulan yang dilakukan apabila pernyataan premis terpenuhi.

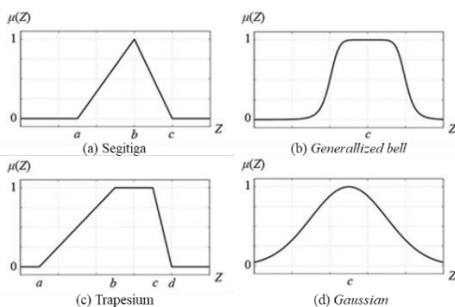
Fuzzifikasi adalah proses pembacaan kondisi *plant* dan menyatakan dalam derajat keanggotaan yang bersesuaian dengan basis aturan. Derajat keanggotaan tersebut dinyatakan dengan bantuan fungsi keanggotaan yang akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab berikutnya.

Mekanisme inferensi adalah proses pemilihan kombinasi konsekuensi mana yang akan diberikan beserta derajat keanggotaannya berdasarkan basis aturan yang telah dibuat sebagai bentuk penarikan kesimpulan.

Defuzzifikasi adalah konversi kombinasi konsekuensi tersebut kedalam suatu aksi kontrol yang tegas yang diberikan kepada *plant*.

2.5.1 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah suatu fungsi dengan masukan nilai tegas kondisi *plant* dan akan menghasilkan keluaran kombinasi derajat keanggotaan. Fungsi tersebut memiliki nilai maksimum 1 dan nilai minimum 0. Fungsi tersebut juga harus mencakup keseluruhan dari kemungkinan nilai tegas dari masukan sehingga mampu memodelkan dinamika sistem sepenuhnya ke dalam logika fuzzy. Fungsi yang umum dipakai adalah segitiga, *Gaussian*, *Generalized Bell*, dan trapesium seperti pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Macam-macam fungsi keanggotaan

Secara matematis, fungsi keanggotaan segitiga adalah sebagai berikut.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \\ 0 & c \leq x \end{cases} \quad (2.14)$$

Fungsi keanggotaan segitiga ditentukan oleh tiga parameter $\{a, b, c\}$ dengan $a < b < c$. ketiga parameter tersebut menyatakan letak koordinat x untuk ketiga sudut segitiga, a dan b adalah titik sudut bagian bawah dan c adalah titik sudut puncak segitiga. Fungsi keanggotaan ini dapat memberikan keluaran nol.

Fungsi keanggotaan *Gaussian* adalah fungsi eksponensial dengan pangkat negative. Dimana c adalah titik puncak dan σ menyatakan lebar fungsi *Gaussian*. Fungsi keanggotaan *Gaussian* dapat dilihat pada Persamaan (2.15).

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \quad (2.15)$$

Fungsi keanggotaan *Generalized Bell* ditentukan oleh tiga parameter $\{a, b, c\}$ dengan parameter b bernilai positif. Parameter c merupakan nilai yang menentukan pusat atau letak x yang memiliki derajat keanggotaan bernilai satu. Adapun parameter a dan b menentukan lebar fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan ini dapat dilihat pada Persamaan (2.16).

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \quad (2.16)$$

Fungsi keanggotaan trapesium ditentukan oleh empat parameter $\{a, b, c, d\}$ dengan $a < b < c < d$. keempat parameter tersebut menyatakan letak koordinat x untuk keempat sudut trapesium. Fungsi keanggotaan trapesium dapat dilihat pada Persamaan (2.17)

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (2.17)$$

2.5.2 Operasi Himpunan Fuzzy

Operasi himpunan fuzzy adalah proses memanipulasi fungsi keanggotaan dengan memanfaatkan operator fuzzy. Operasi ini dilakukan dalam proses inferensi fuzzy. Operator fuzzy yang sering digunakan adalah operator minimum (*min*), maksimum (*max*), dan *product* (perkalian). Misalkan ada dua himpunan fuzzy yang berbeda A dan B dengan fungsi keanggotaan μ_A dan μ_B . Bila digunakan operator min, maka hasil operasi adalah nilai minimum antara μ_A dan μ_B . Apabila digunakan operator max, maka hasil operasi adalah nilai maksimum antara μ_A dan μ_B dan bila menggunakan operator *product*, hasil operasi adalah perkalian antara μ_A dan μ_B dan dapat dinyatakan dengan

$$\mu_{A,B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \text{ untuk semua } x \in X \quad (2.18)$$

Ketiga operator ini digunakan untuk sistem inferensi fuzzy *max-min* atau *max-product*.

2.5.3 Sistem Inferensi Fuzzy

Aturan fuzzy yang telah disusun digunakan dalam inferensi fuzzy. Inferensi fuzzy adalah proses pengambilan keputusan dari setiap premis sesuai aturan fuzzy yang telah dibuat. Struktur dasar sistem inferensi fuzzy dapat dilihat pada Gambar 2.14. Dalam gambar ini dapat diamati terdapat unit fuzzifikasi yang berfungsi sebagai pengonversi masukan tegas menjadi masukan fuzzy. Terdapat pula basis aturan yang berisi sejumlah aturan. Fungsinya adalah untuk memetakan nilai masukan fuzzy ke nilai keluaran fuzzy. Melalui basis aturan inilah mekanisme inferensi fuzzy dapat melakukan mekanisme pengambilan keputusan dari setiap kondisi yang ada. Selama mekanisme inferensi berlangsung, variabel masih dalam nilai fuzzy. Untuk itu diperlukan unit defuzzifikasi yang digunakan sebagai pengonversi nilai keluaran fuzzy menjadi nilai keluaran tegas.

Mekanisme inferensi fuzzy melalui lima tahap dalam mengambil keputusan. Diawali dengan melakukan fuzzifikasi setiap masukan tegas pada fungsi keanggotaan fuzzy sehingga didapat derajat keanggotaanya. Setelah itu, operator fuzzy (*AND* atau *OR*) diaplikasikan pada setiap masukan fuzzy dari bagian premis sehingga diperoleh kuat penyulutan setiap aturan. Hasil kuat penyulutan yang telah diperoleh dioperasikan dengan himpunan fuzzy yang terdefinisi untuk setiap variabel keluaran pada bagian konsekuen dari setiap aturan. Tahap ini disebut implikasi fuzzy. Hasil implikasi fuzzy dari setiap aturan ini kemudian digabungkan untuk menghasilkan keluaran inferensi fuzzy. Operasi yang digunakan biasanya *max-min* atau *max-product*. Dan yang terakhir adalah defuzzifikasi keluaran fuzzy sehingga diperoleh keluaran tegas.

Misalkan ada model Mamdani dengan dua premis dan dua aturan yang bentuk aturannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rule 1 : } & \textbf{If } x_1 \text{ is } A_1 \textbf{ AND } x_2 \text{ is } B_1 \textbf{ AND, then } y \text{ is } C_1 \\ \text{Rule 2 : } & \textbf{If } x_1 \text{ is } A_2 \textbf{ AND } x_2 \text{ is } B_2 \textbf{ AND, then } y \text{ is } C_2 \end{aligned} \quad (2.19)$$

Keluaran proses inferensi fuzzy dapat ditentukan dengan mengaplikasikan operasi *max-min* atau *max-product*.

Keluaran fuzzy yang dihasilkan oleh model Mamdani merupakan kombinasi dari setiap konsekuen yang memiliki kuat penyulutan masing-masing. Apabila diinginkan keluaran fuzzy yang menghasilkan kombinasi linear dari setiap masukan tegas, maka dapat digunakan model Sugeno. Model Sugeno dengan dua premis dan dua aturan memiliki bentuk aturan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Rule 1 : } & \textbf{If } x_1 \text{ is } A_1 \textbf{ AND } x_2 \text{ is } B_1 \textbf{ AND, then } y \text{ is } f_1(x_1, x_2) \\ \text{Rule 2 : } & \textbf{If } x_1 \text{ is } A_2 \textbf{ AND } x_2 \text{ is } B_2 \textbf{ AND, then } y \text{ is } f_2(x_1, x_2) \end{aligned} \quad (2.20)$$

$f(x_1, x_2)$ merupakan fungsi polynomial dalam variabel x_1 dan x_2 . Apabila $f(x_1, x_2)$ merupakan polynomial orde pertama, maka disebut model Sugeno orde pertama. Jika $f(x_1, x_2)$ berupa konstanta, maka disebut model Sugeno orde nol. Model ini dapat dipandang sebagai bentuk khusus model Mamdani dengan tiap konsekuen aturan ditentukan oleh fuzzy *singleton*.

Fuzzy *singleton* adalah himpunan fuzzy yang mempunyai *support* pada satu titik dalam X dengan $\mu_A(x) = 1$. *Support* pada himpunan fuzzy A adalah kumpulan semua titik x dalam X sehingga $\mu_A(x) > 0$.

Di akhir inferensi fuzzy terdapat proses defuzzifikasi. Proses ini dilakukan untuk memperoleh nilai tegas dari keluaran fuzzy. Dalam pembahasan ini hanya dibahas dua metode saja, yaitu *Centre of Area* (COA) dan *weighted average* atau rata-rata bobot. Defuzzifikasi dengan metode

COA dilakukan dengan menghitung letak pusat massa dari penggabungan seluruh hasil implikasi fuzzy seperti pada Persamaan (2.21). Jika $\mu_A(y)$ adalah fungsi keanggotaan keluaran gabungan, maka nilai tegas keluaran dihitung dengan Persamaan (2.21). Metode defuzzifikasi ini banyak diadopsi karena mirip perhitungan ekspektasi dari distribusi probabilitas.

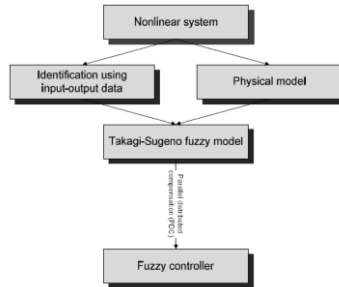
$$y_{COA} = \frac{\sum_{i=1}^r y_i \int_y \mu_i(y) dy}{\sum_{i=1}^r y_i \int_y \mu_A(y) dy} \quad (2.21)$$

Proses defuzzifikasi rata-rata bobot dilakukan dengan mencari nilai rata-rata nilai tengah dari gabungan seluruh hasil implikasi fuzzy. Nilai tegas keluaran dihitung dengan Persamaan (2.22). Dengan w_i merupakan kuat penyulutan tiap aturan, y_i adalah titik tengah dari fungsi keanggotaan bagian konsekuen, dan r menyatakan banyaknya aturan fuzzy. Metode defuzzifikasi rata-rata bobot cocok untuk model Sugeno

$$y_{WA} = \frac{\sum_{i=1}^r y_i \mu_i(y)}{\sum_{i=1}^r \mu_i(y)} \quad (2.22)$$

2.5.4 Fuzzy Takagi Sugeno [8]

Fuzzy Takagi Sugeno adalah pengembangan dari model fuzzy Sugeno dimana konsekuen adalah berupa fungsi dari masukan fuzzy itu sendiri. Fungsi tersebut dapat berupa fungsi perancangan nilai gain yang nantinya dapat digunakan sebagai konsekuen untuk aksi kontrol pada *plant*. Sistem nonlinier dapat diilustrasikan dalam model fuzzy Takagi Sugeno, sehingga model nonlinier dapat disajikan dalam hubungan linier antara masukan dan keluarannya.



Gambar 2.16 Model based fuzzy control design

Pada Gambar 2.16 Mengilustrasikan pendekatan model dasar desain fuzzy Takagi Sugeno. Untuk mendesain kontroler fuzzy Takagi Sugeno, membutuhkan pemodelan fuzzy Takagi Sugeno untuk sistem nonlinier. Oleh karena itu konstruksi model fuzzy mewakili prosedur penting dan mendasar dalam pendekatan ini. Secara umum ada dua pendekatan untuk konstruksi model fuzzy.

1. Identifikasi (pemodelan fuzzy) menggunakan data input-output.
2. *Derivation* didapat dari persamaan sistem nonlinier

Fuzzy Takagi Sugeno mampu merepresentasikan sistem nonlinier menjadi beberapa sistem linier di titik-titik kerja tertentu yang nilainya dimasukkan ke dalam aturan *If-Then* yang dapat dituliskan sebagai berikut.

Aturan *plant i* :

If $z_1(t)$ adalah F_{1i} dan $z_2(t)$ adalah $F_{2i} \dots z_j$ is F_{ji}

$$\begin{aligned} \text{Then } \dot{x} &= A_i x + B_i u \\ y &= C_i x + D_i u \end{aligned} ; i = 1, 2, \dots, r ; j = 1, 2, \dots, h \quad (2.23)$$

dimana r adalah jumlah aturan fuzzy yang digunakan sedangkan h adalah jumlah masukan fuzzy, F_{ji} sebagai himpunan fuzzy, z sebagai variabel masukan premis fuzzy yang berupa fungsi dari variabel *state*, dan u adalah sinyal kontrol. Variabel *state* x memiliki dimensi $n \times 1$ sedangkan vector keluaran y memiliki dimensi $r \times 1$. Matriks A, B, C , dan D memiliki ukuran yang bersesuaian dengan x .

Mekanisme inferensi umumnya dilakukan dengan logika *AND* dan *algebraic product* lalu defuzzifikasi dilakukan dengan metode *center average*. Dengan proses tersebut, maka \dot{x} dan y dapat didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sum_{i=1}^r \mu_i(z) \{A_i x + B_i u\} \\ y &= \sum_{i=1}^r \mu_i(z) \{C_i x + D_i u\} \end{aligned} \quad (2.24)$$

dimana

$$\mu_i(z(t)) = \frac{w_i(z(t))}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))} ; w_i(z(t)) = \prod_{j=1}^h F_{ji}(z_j(t)) \quad (2.25)$$

dengan sifat

$$\mu_i \geq 0 ; \sum \mu_i = 1 ; w_i \geq 0 \quad (2.26)$$

Dengan representasi sistem tersebut, dapat disusun sinyal kontrol konsep *Parallel Distributed Control* (PDC) dimana sinyal kontrol berupa himpunan sinyal kontrol yang dirancang untuk masing-masing linearisasi sistem pada titik-titik kerja tertentu. Dengan konsep tersebut, maka sinyal kontrol dapat dituliskan sebagai berikut.

Aturan kontroler i) :

$$\begin{aligned} \text{If } z_1(t) \text{ adalah } F_{1i} \text{ dan } z_2(t) \text{ adalah } F_{2i} \dots z_j \text{ is } F_{ji} \\ \text{Then } u_i = -K_i x \end{aligned} \quad (2.27)$$

Sehingga dengan mekanisme inferensi dan defuzzifikasi yang serupa dengan sistem, u dapat dituliskan sebagai berikut.

$$u = \sum \mu_i(z) \{-K_i x\} \quad (2.28)$$

Dengan substitusi Persamaan (2.28) ke dalam Persamaan (2.25) maka didapat sistem *closed loop* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \sum_{i=1}^r \mu_i(z) \{A_i - B_i K_i\} \\ y &= \sum_{i=1}^r \mu_i(z) \{C_i - D_i K_i\} \end{aligned} \quad (2.29)$$

2.6 Kriteria Kesalahan

Kriteria kesalahan merupakan tolak ukur untuk melihat performansi suatu kontroler berdasarkan nilai kesalahan/error dari suatu sistem yang dikendalikan. Kriteria kesalahan ini juga digunakan untuk validasi sistem antara nilai yang sebenarnya dengan nilai yang diperkirakan. Dalam subbab ini akan dibahas beberapa perhitungan yang digunakan untuk melihat performansi dari suatu kontroler berdasarkan nilai kesalahannya.

2.6.1 Root Mean Square Error (RMSE)

Root mean square error (RMSE) merupakan salah satu tolak ukur antara nilai sesungguhnya dengan nilai yang diperkirakan berdasarkan selisih dari nilai *error* keduanya. RMSE digunakan untuk proses validasi yaitu seberapa dekatnya nilai yang sebenarnya dengan nilai yang diperkirakan. RMSE dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.30).

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

Dimana :

Y_t = nilai sebenarnya

Y_m = nilai perkiraan

N = jumlah iterasi

2.6.2 *Integral of Absolute Error (IAE)*

Integral of absolute error (IAE) merupakan salah satu tolak ukur untuk melihat performansi dari suatu kontroler ketika terdapat perubahan *set point* atau perubahan beban berdasarkan pada integral nilai *absolute error* sistem. Periode waktu perhitungan cukup sampai ketika sistem sudah mencapai keadaan tunak (*steady state*). IAE dapat dinyatakan dengan Persamaan (2.31).

$$IAE = \int_0^n |e(t)| dt \quad (2.31)$$

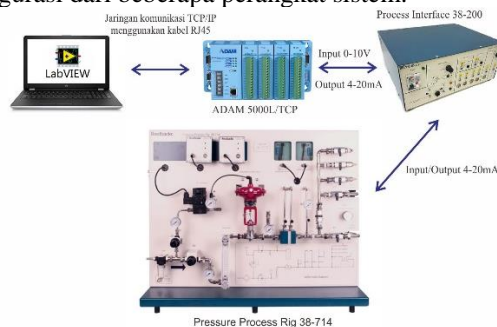
BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini membahas tentang perancangan sistem pengaturan proses pada *plant Pressure Process Rig* 38-714. Perancangan ini terdiri dari perancangan konfigurasi sistem, proses identifikasi sistem, desain kontroler yang meliputi pemodelan fuzzy Takagi Sugeno dan desain self-tuning regulator.

3.1 Perancangan Konfigurasi Sistem

Pada perancangan konfigurasi sistem ini terdapat beberapa perangkat yang digunakan pada sistem pengaturan proses untuk pengaturan tekanan pada *plant Pressure Process Rig* 38-714. Beberapa perangkat yang digunakan saling terhubung antara satu dan lainnya agar pengaturan pada *plant* berjalan dengan lancar, perangkat tersebut diantaranya adalah komputer/PC yang didalamnya terdapat *software* LabVIEW yang berguna untuk merancang sebuah kontroler dan dapat diimplementasikan pada *plant*, untuk mengimplementasikan kontroler pada *plant* digunakan perangkat akuisis data yaitu ADAM 5000L/TCP dengan menggunakan jaringan komunikasi kabel utp RJ45, pada ADAM 5000L/TCP terdapat modul analog *input* dan analog *output* yang terhubung dengan *process interface* 38-200, dari perangkat tersebut data *output* dari ADAM 5000L/TCP dikirim untuk mengatur *plant Pressure Process Rig* 38-714 dan menerima *output* respon dari *plant Pressure Process Rig* 38-714. Skema yang digunakan dalam sistem pengaturan proses pada *plant* tersebut adalah *direct digital control* (DDC). Pada Gambar 3.1 dapat dilihat konfigurasi dari beberapa perangkat sistem.



Gambar 3.1 Skema sistem

3.1.1 Komputer/PC

Komputer merupakan perangkat yang berperan penting dalam sistem pengendalian proses, karena komputer digunakan sebagai kontroler untuk sistem pengaturan tekanan pada *plant Pressure Process Rig 38-714*. Pada komputer yang digunakan sudah terdapat atau terinstal *software* untuk merancang kontroler dan dapat diimplementasikan pada *plant*. Spesifikasi komputer juga menentukan cepat atau lambatnya proses pengiriman dan penerimaan data. Berikut adalah spesifikasi dari komputer yang digunakan untuk pengaturan tekanan pada *plant Pressure Process Rig 38-714*:

Processor	: AMD A8-7410 APU with AMD Radeon R5
RAM	: 4.00 GB (3.46 GB usable)
Operating System	: Windows 10 64 bit
USB Port	: 3 x USB 2.0
Ethernet	: Yes

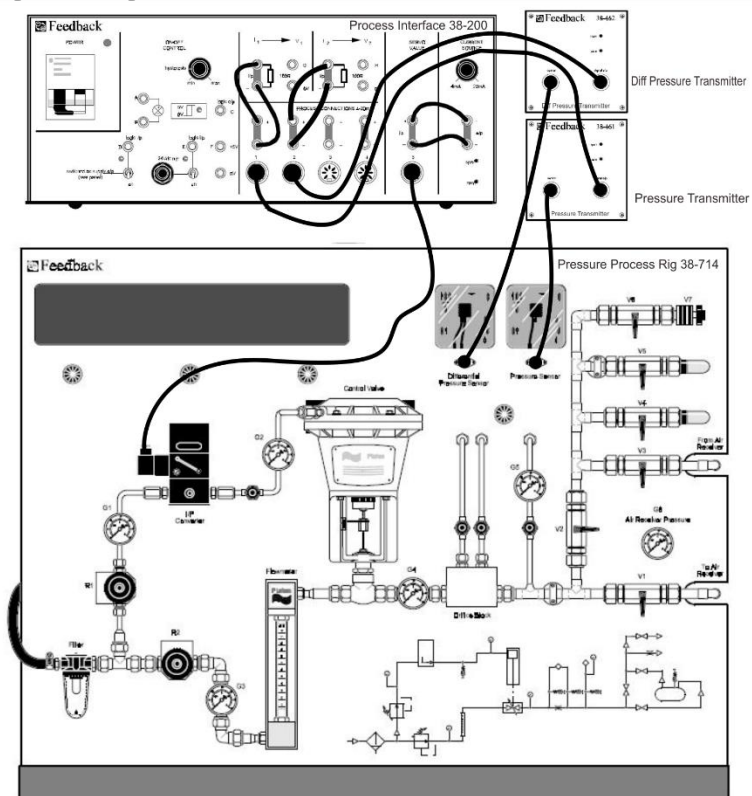
3.1.2 Konfigurasi Plant

Pada Tugas Akhir ini *plant* yang digunakan adalah *Pressure Process Rig 38-714*, yang dimana *plant* ini merepresentasikan instrumentasi di industri nyata. Dari *plant* ini dapat diperoleh data dari sistem pengaturan proses yang nantinya data tersebut diolah mengetahui karakteristik *plant* dan dibuat suatu kontroler untuk pengaturan tekanan. Pada *plant* tersebut terdapat enam buah katup manual yang digunakan sebagai pembebanan, dalam proses pengaturan tekanan ini diperlukannya komponen tambahan untuk menunjang proses pengaturan yaitu kompresor sebagai penyedia udara bersih bertekanan dan *Process Interface 38-200*.

Pada *plant* ini, untuk mengatur tekanan pada *plant* dilakukan dengan memanipulasi *pneumatic control valve* sebagai aktuator sistem sehingga sinyal kontrol akan diberikan pada *pneumatic control valve* melalui *I/P converter*. Sinyal kontrol berupa sinyal arus listrik sebesar 4-20 mA diubah terlebih dahulu menjadi bentuk sinyal *pneumatic* sebesar 3-15 psi. Sensor yang digunakan pada *plant* ini adalah *pressure sensor* dan *differential pressure sensor*, dimana *pressure sensor* digunakan untuk membaca tekanan pada *plant* dan *differential pressure sensor* digunakan untuk membaca aliran (*flow*) udara bertekanan yang masuk ke dalam *plant*. Dalam mengatur udara bertekanan yang akan masuk ke dalam *plant* terdapat dua buah regulator untuk mengatur besarnya tekanan udara yang masuk. Regulator yang pertama (R1) digunakan untuk mengatur tekanan yang masuk ke dalam *pneumatic control valve* sebesar 25 psi untuk mengatur

bukaannya dan regulator kedua (R2) untuk mengatur besarnya udara bertekanan yang masuk ke dalam *plant*.

Untuk mengoperasikan *plant* terlebih dahulu dilakukan konfigurasi *plant* yaitu dengan menyambungkan beberapa kabel dari *plant Pressure Process Rig 38-714* ke *Process Interface 38-200* dan melakukan kalibrasi *pressure sensor* dan *differential pressure sensor*. Berikut merupakan gambaran konfigurasi *plant Pressure Process Rig 38-714* yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



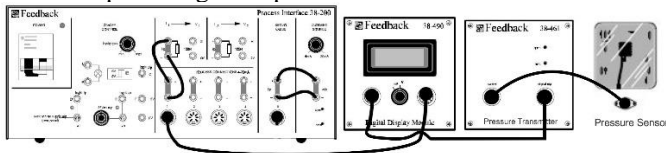
Gambar 3.2 Konfigurasi *plant Pressure Process Rig 38-714*

Perlunya dilakukan kalibrasi sensor dan *transmitter* pada *Pressure Process Rig 38-714* yaitu dengan tujuan:

1. Pada saat tekanan dan perbedaan tekanan mencapai nilai minimal 0% sama dengan arus keluaran 4 mA dari *pressure transmitter* dan *differential pressure transmitter*.
2. Pada saat tekanan dan perbedaan tekanan mencapai nilai maksimum 100% sama dengan arus keluaran 20 mA dari *pressure transmitter* dan *differential pressure transmitter*

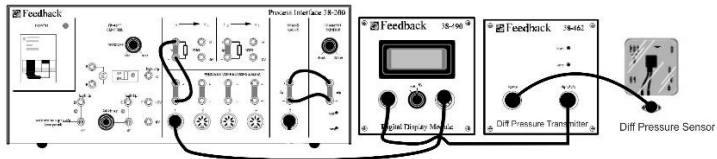
Adapun langkah-langkah yang dilakukan agar kondisi tersebut terpenuhi, antara lain yang pertama adalah kalibrasi *pressure sensor* dan *transmitter*, yang kedua kalibrasi *differential pressure sensor* dan *transmitter* adalah sebagai berikut:

1. Kalibrasi *pressure sensor* dan *transmitter*, koneksikan perangkat keras seperti rangkaian pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian kalibrasi *pressure sensor* dan *transmitter*

2. Kondisikan regulator (R2 dan R1) tertutup, *valve* (V2) terbuka, tekanan dalam *plant* akan menjadi tekanan atmosfer.
3. Gunakan obeng kecil untuk menyesuaikan kontrol *zero* pada *transmitter* untuk memberikan pembacaan 4 mA atau 0% pada *digital display module*.
4. Buka katup/*valve* (V4), atur tekanan dalam *plant* hingga tekanan yang dibutuhkan mencapai maksimum dengan mengatur regulator (R2).
5. Ketika tekanan stabil, sesuaikan kontrol *span* pada *transmitter* untuk memberikan pembacaan 20 mA atau 100% pada *digital display module*.
6. Ulangi pengaturan minimum dan maksimum sampai tidak ada perubahan pada kontrol *zero* dan *span*.
7. Kalibrasi *differential pressure sensor* dan *transmitter*, koneksikan perangkat keras seperti rangkaian pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian kalibrasi *differential pressure sensor* dan *transmitter*

8. Kondisikan *valve* (V1, V3, V4, dan V5) tertutup, regulator (R1 dan R2) terbuka, *valve* (V2 dan V6) terbuka.
9. Atur regulator (R1) untuk memberikan tekanan 25 psi pada pembacaan G1. Atur regulator (R2) untuk memberikan tekanan 15 psi pada pembacaan G4 dengan kondisi *pneumatic control valve* terbuka.
10. Atur *valve* (V4) untuk memberikan tekanan 5 psi pada pembacaan G5. Atur kembali regulator (R5) dan *valve* (V4) sampai G5 membaca 15 psi dan G5 membaca 5 psi.
11. Jika terdapat perbedaan tekanan 10 psi antara G4 dan G5, kurangi tekanan dengan regulator (R2) sampai G4 membaca 10 psi, G5 akan membaca 0 psi.
12. Atur pengontrol ke operasi manual dan buka *control valve* dengan mengatur output sebesar 0%.
13. Dengan *pneumatic control valve* kondisi terbuka sesuaikan regulator (R2) untuk memberikan laju aliran 25L/min, sesuaikan rentang *differential pressure transducer* untuk menghasilkan pembacaan 100%.
14. Atur *control valve* dalam kondisi tertutup sampai alirannya nol, G5 akan membaca 0 psi. Gunakan obeng kecil dan sesuaikan kontrol *zero* pada modul pengkondisian *differential pressure* untuk memberikan pembacaan 4 mA pada *digital display module*.
15. Atur aliran pada sistem ke maksimum dengan membuka *pneumatic control valve*. Ketika aliran stabil, sesuaikan kontrol *span* pada modul pengkondisian *differential pressure* untuk memberikan pembacaan 20 mA pada *digital display module*.
16. Ulangi pengaturan minimum dan maksimum sampai tidak ada perubahan pada kontrol *zero* dan *span*.

Dalam Tugas Akhir ini, *plant Pressure Process Rig 38-714* diope-rasikan dengan beban yang divariasikan dalam dua keadaan, yaitu:

1. Beban Nominal : V6 dan V2 dalam keadaan tertutup, V5,V4,V3,dan V1 dalam keadaan terbuka.
2. Beban Minimal : V6, V5, dan V2 dalam keadaan tertutup, V4, V3, dan V1 dalam keadaan terbuka.

3.1.3 Konfigurasi ADAM 5000L/TCP

ADAM 5000L/TCP merupakan perangkat yang digunakan untuk akuisisi data dalam pengerjaan Tugas Akhir ini. Perangkat tersebut dihubungkan antara *plant Pressure Process Rig* 38-714 dengan kompueter sebagai kontroler untuk pengolahan data hasil pengukuran dan memberikan sinyal kontrol pada *plant*. Perangkat ini dilengkapi dengan satu slot modul analog *input* dan dua slot modul analog *output*, yang dimana modul analog *input* (ADAM 5017) memiliki 8 kanal *input* tegangan dengan satuan millivolt dan volt(± 150 mV, ± 500 mV dan ± 1 V, ± 5 V, ± 10 V), modul analog *output* (ADAM 5024) memiliki 4 kanal *output* berupa tegangan 0-10 V dan 4 kanal *output* berupa arus 4-20 mA dan 0-20 mA. Satu kanal input dengan operasi tegangan 0-10 V digunakan untuk sinyal dari hasil pengukuran *pressure* sensor dan satu kanal *output* digunakan untuk memberikan sinyal kontrol pada aktuator yang terdapat pada *plant Pressure Process Rig* 38-714 yaitu *pneumatic control valve*.

Terdapat proses penyekalaan (*scaling*) data pada proses akuisisi data untuk menyatakan representasi dari data *input* dan *output*. Tabel 3.1 menunjukkan representasi penyekalaan *input* dan *output* pada ADAM 5000L/TCP.

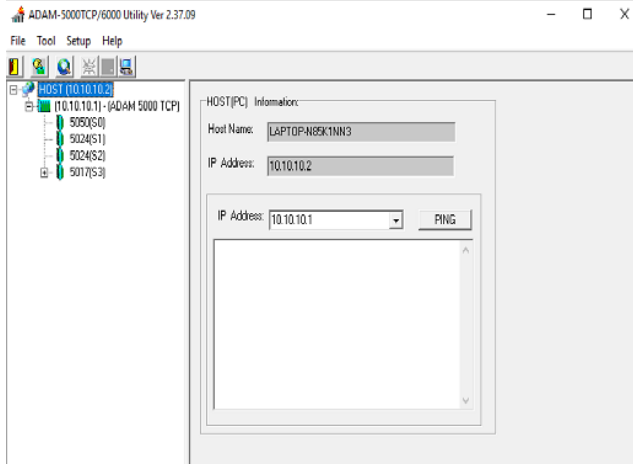
Tabel 3.1 ADAM 5000L/TCP AI/AO *scaling*

Modul	Tipe	Range Low	Range High	Scale Low	Scale High	Format Data
Analog Input 5017	mV	-150	150	0	65535	U16B
	mV	500	500	0	65535	U16B
	V	-1	1	0	65535	U16B
	V	-5	5	0	65535	U16B
	V	-10	-10	0	65535	U16B
Analog Output 5024	V	0	10	0	4095	U12B
	mA	4	20	0	4095	U12B
	mA	0	20	0	4095	U12B

Perlu dilakukan penyetelan perangkat sebelum menggunakannya yaitu dengan *software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09 untuk menentukan IP *address* terlebih dahulu agar perangkat dapat diakses oleh

komputer. IP *address* yang digunakan adalah 10.10.10.1 dan untuk *address* analog *output* yang digunakan adalah 40025 dan 40027, *address* analog *input* 40009. Berikut merupakan langkah-langkah untuk melakukan penyetelan pada ADAM 5000L/TCP.

1. Buka *software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09, , kemudian akan muncul *window* seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Window *software* ADAM-5000TCP/6000 Utility Ver 2.37.09

2. Atur modul analog *input* dan kanal yang akan digunakan dengan klik 5013(S3) pada *window* dan akan muncul tampilan seperti Gambar 3.6. Berikut merupakan penyetelan modul analog *input*:

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

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

ADAM-5017 8-Channel Analog Input Module 5000/TCP Slot:3 (10.10.10.1)

Location	Type	Value [Dec]	Value [Hex]	Description
40025	Word	32767	7FFF	CH:0 +/- 10V
40026	Word	34058	850A	CH:1 +/- 10V
40027	Word	32770	8002	CH:2 +/- 10V
40028	Word	34080	8520	CH:3 +/- 10V
40029	Word	32767	7FFF	CH:4 +/- 10V
40030	Word	32767	7FFF	CH:5 +/- 10V
40031	Word	32767	7FFF	CH:6 +/- 10V
40032	Word	32767	7FFF	CH:7 +/- 10V

Configuration Setting:

Input Range: +/- 10V

Integration Time: 50ms[60Hz]

Update

Channel Enable/Disable

☒ CH:0 0.000 V ☒ CH:4 0.000 V

☒ CH:1 0.294 V ☒ CH:5 0.000 V

☒ CH:2 0.000 V ☒ CH:6 0.000 V

☒ CH:3 0.400 V ☒ CH:7 0.000 V

Update

Calibration:

Zero Calib.

Span Calib.

Gambar 3.6 Penyetelan modul analog *input* dan kanal yang digunakan

- Atur modul analog *output* dan kanal yang akan digunakan dengan klik 5024(S1) pada *window* dan akan muncul tampilan seperti Gambar 3.7. Berikut merupakan penyetelan modul analog *input*:

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

ADAM-5024 4-Channel Analog Output Module 5000/TCP Slot:1 (10.10.10.1)

Location	Type	Value [Dec]	Value [Hex]	Description
40009	Word	64513	FC01	CH:0 4-20mA
40010	Word	64513	FC01	CH:1 4-20mA
40011	Word	64513	FC01	CH:2 4-20mA
40012	Word	64513	FC01	CH:3 4-20mA

Channel:0 | Channel:1 | Channel:2 | Channel:3

Configuration Setting:

Output Range: 4 to 20 mA Update

Calibration:

Trim for 4mA

Trim for 20mA

Data Area:

Output Value: 20.000

Initial Value: 0.000

Output

Set as Initial

Reading Value:

CH 0: 20.000 mA

CH 1: 20.000 mA

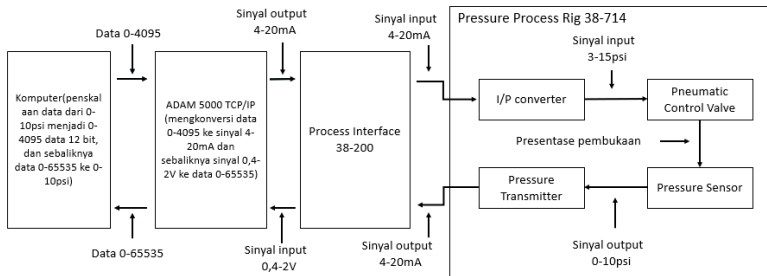
CH 2: 20.000 mA

CH 3: 20.000 mA

Gambar 3.7 Penyetelan modul analog *output* dan kanal yang digunakan

3.2 Identifikasi *Plant*

Kurangnya informasi mengenai spesifikasi dan perilaku peralatan membuat sulit dilakukannya pengaturan untuk menghasilkan respon yang diinginkan. Oleh karena itu perlu dilakukannya identifikasi dari *plant Pressure Process Rig 38-714* untuk mendapatkan model dari *plant*, pemodelan pada sistem merupakan tahapan yang penting di dalam siklus desain sistem pengaturan. Gambar 3.8 menunjukkan skema dari identifikasi yang dilakukan pada *plant*, metode yang digunakan yaitu melalui identifikasi sistem secara *open loop*.



Gambar 3.8 Skema identifikasi sistem

Identifikasi sistem *open loop* dilakukan dengan cara memberi nilai masukan atau *set point* pada *plant* berupa sinyal uji unit *step*, dari cara tersebut didapatkan keluaran sistem berupa data respon dari *plant*. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali, dari data tersebut akan dilakukan pemodelan sistem untuk mendapatkan model dari *plant* atau biasa disebut fungsi alih (*transfer function*). Dalam pengambilan data respon, identifikasi dilakukan dengan keadaan *plant Pressure Process Rig 38-714* sebagai berikut:

- Masukan *plant* (*set point*) : 9 mA (6,875 psi)
- Jumlah data yang diambil : 15000 sampel data
- Kondisi beban nominal
 - Katup terbuka : V1, V3, V4, dan V5
 - Katup tertutup : V2 dan V6
- Kondisi beban minimal
 - Katup terbuka : V1, V3, dan V4
 - Katup tertutup : V2, V5, dan V6
- Air receiver* : digunakan

3.2.1 Pemodelan Sistem

Dari hasil respon yang telah diplot menunjukkan bahwa sistem mempunyai kemiripan dengan sistem orde satu, maka dari itu model dari sistem didekati dengan model sistem orde satu. Terdapat *delay* pada sistem namun karena nilainya yang sangat kecil *delay* pada sistem tidak dimodelkan dan dapat diabaikan. Secara umum sistem orde satu dapat dituliskan dengan fungsi alih seperti pada Persamaan (3.1)

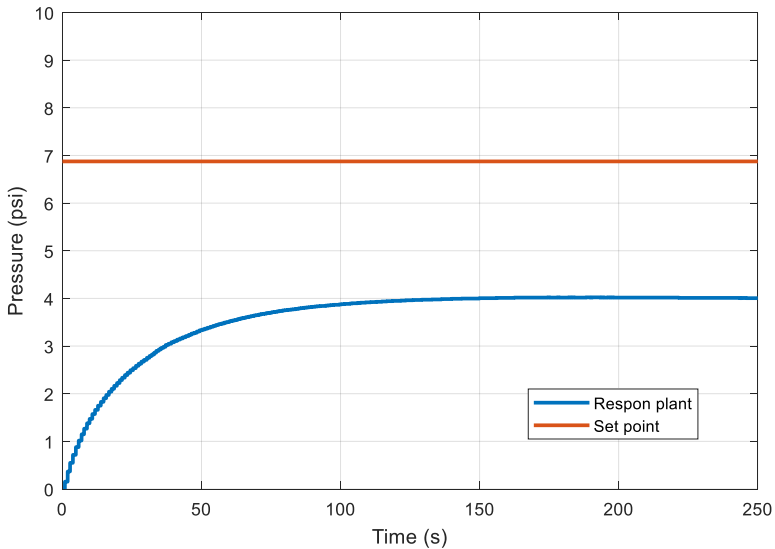
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (3.1)$$

Dimana :

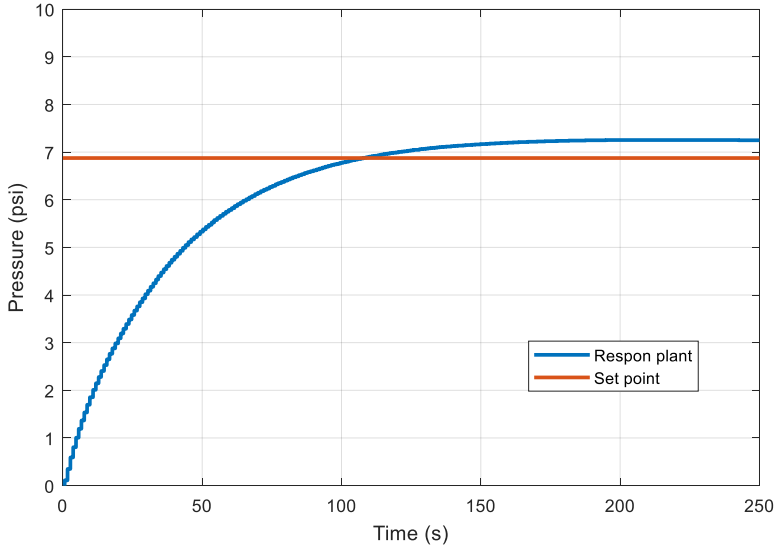
K : *gain overall*

τ : *time constant*

Respon sistem hasil pengambilan data dapat dilihat seperti pada Gambar 3.9 dan 3.10.



Gambar 3.9 Keluaran terukur pada beban nominal



Gambar 3.10 Keluaran terukur pada beban minimal

Terdapat beberapa tahapan untuk mencari parameter dari sistem yang didekati dengan sistem orde satu. Pertama perlu dihitung nilai dari *gain overall* yang dapat dihitung dengan Persamaan (3.2).

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

Yang dimana nilai Y_{ss} merupakan nilai respon sistem pada saat kondisi *steady state* dan nilai X_{ss} merupakan nilai masukan sistem atau *set point* pada saat kondisi *steady state*. Nilai respon sistem pada saat kondisi *steady state* adalah 4,022 psi sedangkan nilai masukan sistem pada saat kondisi *steady state* adalah 6,875 psi, sehingga nilai dari *gain overall* dapat diketahui sebagai berikut.

$$K = \frac{Y_{ss}}{X_{ss}} = \frac{4,022}{6,875} = 0,585 \quad (3.3)$$

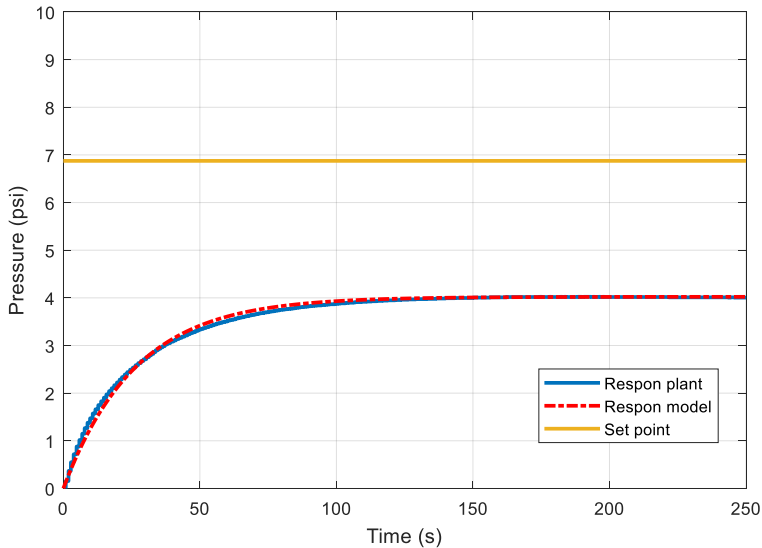
Pada tahap selanjutnya ialah mencari nilai *time constant* (τ) dari sistem, nilai τ dicari melalui nilai waktu ketika respon mencapai 63,2% dari kondisi *steady state*. Nilai respon pada kondisi *steady state* ialah 4,022 dan 63,2% dari nilai tersebut adalah 2,5419 psi, kemudian didapat-

kan waktu ketika respon mencapai nilai tersebut adalah 26,4 detik. Sehingga didapatkan fungsi alih dari *plant Pressure Process Rig 38-714* pada saat beban nominal seperti pada Persamaan (3.4).

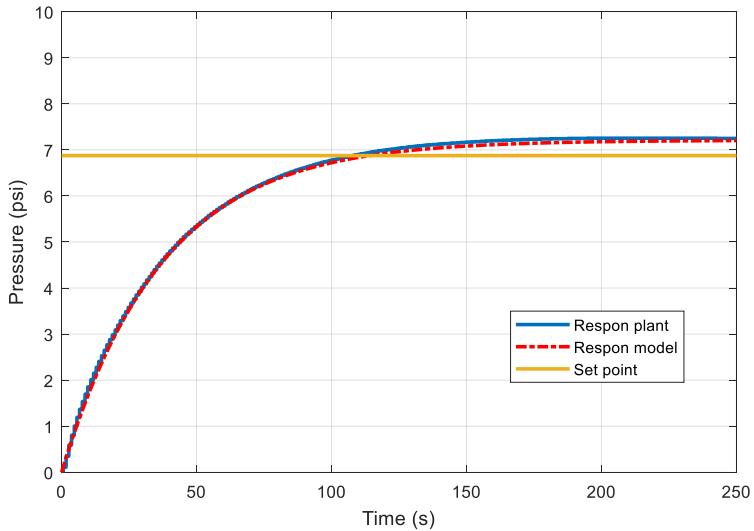
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,585}{26,4s + 1} \quad (3.4)$$

3.2.2 Validasi Model

Setelah mendapatkan fungsi alih dari *plant* perlu dilakukan validasi model untuk mengetahui nilai kebenaran model yaitu dengan mencari nilai *Root Mean Square Error*, di mana semakin kecil nilai RMSE maka semakin baik model yang dibuat. Berikut merupakan perbandingan antara model sistem yang didapat dengan respon dari *plant* yang dapat dilihat pada Gambar 3.11 dan 3.12.



Gambar 3.11 Perbandingan respon *plant* dengan respon model



Gambar 3.12 Perbandingan respon *plant* dan respon model

Berikut adalah tabel hasil identifikasi *plant* pada saat kondisi beban nominal dan beban minimal beserta dengan nilai RMSE.

Tabel 3.2 Persamaan model pada beban nominal

Data ke	Persamaan Model <i>Plant</i>	RMSE
1	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,585}{26,4s + 1}$	0,0556
2	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,5825}{24,4s + 1}$	0,0729
3	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{0,5997}{24,81s + 1}$	0,1291

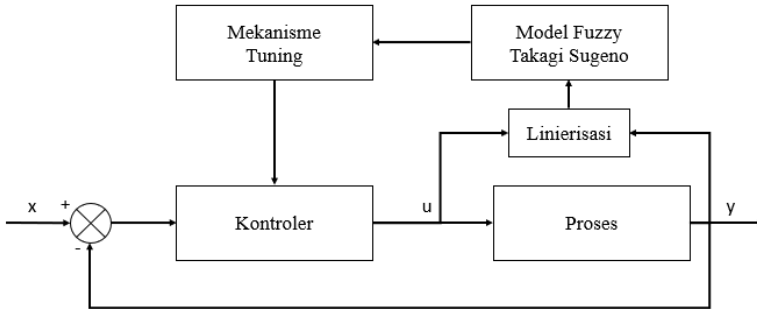
Tabel 3.3 Persamaan model pada beban minimal

Data ke.	Persamaan Model <i>Plant</i>	RMSE
1	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,0689}{39,78s + 1}$	0,1001
2	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,0487}{37,16s + 1}$	0,0620
3	$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{1,0662}{35,6s + 1}$	0,116

Dari nilai RMSE yang ada dipilihlah model *plant* yang memiliki nilai RMSE terkecil yaitu, pada saat beban nominal dipilih data ke-1 dengan nilai RMSE 0,0556 dan pada saat beban minimal dipilih data ke-2 dengan nilai RMSE 0,0620.

3.3 Perancangan Kontroler

Kontroler dirancang sedemikian rupa hingga memperoleh respon sistem sesuai dengan yang diinginkan. Pada Tugas Akhir metode kontrol yang dibuat adalah dengan menggunakan *self-tuning regulator* berbasis model fuzzy Takagi Sugeno. Dimana parameter *plant* ditentukan dengan fuzzy Takagi Sugeno dan nilai dari parameter tersebut akan diproses secara *online* dengan *self-tuning regulator* untuk memberikan sinyal kontrol sesuai dengan perubahan beban pada *plant*.



Gambar 3.13 Diagram blok kontroler

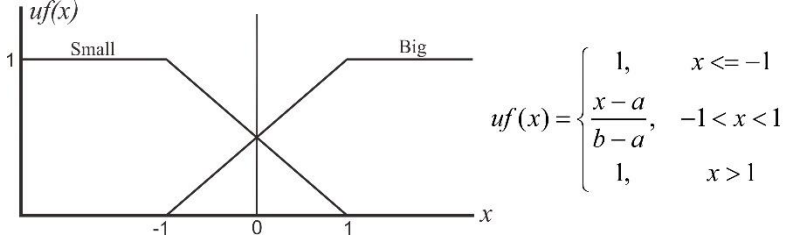
3.3.1 Pemodelan Fuzzy Takagi Sugeno

Pada model fuzzy Takagi Sugeno, terdapat aturan *plant* dan aturan kontroler. Aturan *plant* dibangun berdasarkan hasil identifikasi dari *input-output* data. Model linier *plant* tersebut kemudian dirangkai ke dalam aturan *if premise then consequences*. Untuk menentukan variabel premis, dalam Tugas Akhir ini menggunakan variabel perbedaan tekanan pada area kerjanya, sedangkan konsekuensinya adalah model linier dari metode pembebanan yang didapatkan. Pada Tugas Akhir ini menggunakan dua metode pembebanan yaitu, beban nominal dan beban minimal.

Aturan *plant* i;

$$\text{If } z_i \text{ is } F_i \text{ Then } \dot{x} = A_i x(k) + B_i u(k) \quad (3.5)$$

Dengan F_i adalah fungsi keanggotaan yang mempunyai titik pusat di area kerja i , dan pada Tugas Akhir ini digunakan fungsi keanggotaan segitiga ternormalisasi yang dapat dilihat seperti pada Gambar 3.14 dengan Z_i adalah area kerja perbedaan tekanan pada *plant Pressure Process Rig* 38-714.



Gambar 3.14 Fungsi keanggotaan perbedaan tekanan (*differential pressure*)

Dalam menentukan konsekuen dari aturan fuzzy digunakan hasil linierisasi model dari metode pembebanan yang ada yaitu dengan beban nominal dan beban minimal, dari model *plant* yang ada dilakukan diskritisasi terlebih dahulu dikarenakan nilai parameter yang dihasilkan nantinya akan digunakan ke dalam kontroler *self-tuning regulator* model diskrit.

Area kerja yang pertama yaitu *small*, dimana perbedaan tekanan bernilai antara 1-3,5 psi yang terjadi saat dalam kondisi beban minimal, dilakukan linierisasi dengan menggunakan metode ARX sehingga didapatkan pemodelan seperti pada Persamaan (3.6) dan (3.7)

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0,00028}{z - 0,9995}$$

Atau (3.6)

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0,00028z^{-1}}{1 - 0,9995z^{-1}}$$

$$x(k-1) = 0,9995x(k) + 0,00028u(k) \quad (3.7)$$

Area kerja yang kedua yaitu *big*, dimana perbedaan tekanan bernilai antara 3,1-6 psi pada saat kondisi beban nominal. Seperti halnya pada area kerja pertama dilakukan linierisasi sehingga didapatkan pemodelan seperti pada Persamaan (3.8) dan (3.9)

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0,00022}{z - 0,9992} \quad (3.8)$$

Atau

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{0,00022z^{-1}}{1-0,9992z^{-1}}$$

$$x(k-1) = 0,9992x(k) + 0,00022u(k) \quad (3.9)$$

Dengan matriks C tetap dan D=0 karena *plant* dianggap tidak ada gangguan.

$$y(k) = [1], x(k) = 0 \quad (3.10)$$

Dari representasi fungsi keanggotaan pada aturan *plant* yang didapat dimana Z_1 adalah area kerja dari perbedaan tekanan pada *plant* maka digunakan model 2 rules sebagai berikut,

Model Rule 1 : If Z_1 is Small Then $x(k-1) = A_1x(k) + B_1u(k)$

Model Rule 2 : If Z_1 is Big Then $x(k-1) = A_2x(k) + B_2u(k)$

Mengingat sepasang ($x(k)$; $u(k)$), input variabel model fuzzy disimpulkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \frac{\sum_{i=1}^r w_i (X_1(k)) \{A_i x(k) + B_i u(k)\}}{\sum_{i=1}^r w_i (X_1(k))} \\ &= \sum_{i=1}^r h_i (X_1(k)) \{A_i x(k) + B_i u(k)\} \end{aligned} \quad (3.11)$$

$Ax(z)$ dan $Bu(z)$ dapat diturunkan dari proses defuzzifikasi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Ax(z) &= \frac{\sum_{i=1}^r w_i (X_1(k)) A_i x(k)}{\sum_{i=1}^r w_i (X_1(k))} \\ Bu(z) &= \frac{\sum_{i=1}^r w_i (X_1(k)) B_i u(k)}{\sum_{i=1}^r w_i (X_1(k))} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Dari hasil defuzzifikasi diatas nilai dari $Ax(z)$ dan $Bu(z)$ akan dijadikan nilai parameter untuk *self-tuning regulator*, yang dimana $Ax(z)=a1$ dan $Bu(z)=b0$.

3.3.2 Desain Self-Tuning Regulator

Setelah dilakukan identifikasi pada *plant* dan diketahui kurva respon sistem menyerupai orde satu maka fungsi alih dari *plant* dapat dinyatakan

seperti pada Persamaan (3.13). Dimana $Y(s)$ adalah *output* dan $U(s)$ adalah *input*.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (3.13)$$

dari model *plant* pada Persamaan (3.13) akan dinyatakan ke dalam model diskrit dengan menggunakan Transformasi Bilinier seperti pada Persamaan (3.14).

$$s = \frac{2}{Ts} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) \quad (3.14)$$

Kemudian substitusi Persamaan (3.14) pada Persamaan (3.13), maka akan didapatkan Persamaan (3.15)

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{K}{\frac{2\tau}{Ts} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + 1} \quad (3.15)$$

$$Y(z) \left(\frac{2\tau}{Ts} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) + 1 \right) = KU(z) \quad (3.16)$$

$$Y(z) + \frac{2\tau}{Ts} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right) Y(z) = KU(z) \quad (3.17)$$

$$(1 + z^{-1})Y(z) + \frac{2\tau}{Ts} (1 - z^{-1})Y(z) = K(1 + z^{-1})U(z) \quad (3.18)$$

$$\left(1 + \frac{2\tau}{Ts} \right) Y(z) + \left(1 - \frac{2\tau}{Ts} \right) z^{-1}Y(z) = KU(z) + Kz^{-1}U(z) \quad (3.19)$$

$$Y(z) = - \frac{\left(1 - \frac{2\tau}{Ts} \right)}{\left(1 + \frac{2\tau}{Ts} \right)} z^{-1}Y(z) + \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{Ts} \right)} z^{-1}U(z) \quad (3.20)$$

$$y(k) = - \frac{(Ts - 2\tau)}{Ts + 2\tau} y(k-1) + \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{Ts} \right)} u(k-1) \quad (3.21)$$

Secara umum bentuk model dari dengan struktur ARX dapat dinyatakan pada Persamaan (3.22)

$$y(k) = -a_1 y(k-1) + b_0 u(k-1) \quad (3.22)$$

Dari Persamaan (3.22) dapat diketahui bahwa struktur yang dimiliki sama dengan model *plant* yang telah diubah ke dalam bentuk diskrit pada Persamaan (3.21) bila ditambahkan dengan komponen *noise* $e(k)$. Oleh karena itu dapat diformulasikan konstanta a_1 dan b_0 pada persamaan-persamaan berikut:

$$a_1 = \frac{Ts - 2\tau}{Ts + 2\tau} \quad (3.23)$$

$$b_0 = \frac{K}{\left(1 + \frac{2\tau}{Ts}\right)} \quad (3.24)$$

Dari persamaan-persamaan yang ada dapat diturunkan untuk mendapatkan nilai *time constant* dan *gain overall*. Dimana untuk mendapatkan nilai *time constant* dapat dicari menggunakan Persamaan (3.23)

$$a_1(Ts + 2\tau) = Ts - 2\tau \quad (3.26)$$

$$a_1Ts + 2\tau a_1 = Ts - 2\tau \quad (3.27)$$

$$2\tau a_1 + 2\tau = Ts - a_1Ts \quad (3.28)$$

$$2\tau(a_1 + 1) = (1 - a_1)Ts \quad (3.29)$$

$$2\tau = \frac{(1 - a_1)Ts}{a_1 + 1} \quad (3.30)$$

$$\tau = \frac{(1 - a_1)Ts}{2(a_1 + 1)} \quad (3.31)$$

Untuk mendapatkan nilai *gain overall* dari *plant* digunakan Persamaan, yang dimana dinyatakan dalam Persamaan (3.24)

$$K = b_0 \left(1 + \frac{2\tau}{Ts}\right) \quad (3.32)$$

Dari Persamaan (3.31) dapat disubstitusikan dengan Persamaan (3.32) maka akan didapatkan Persamaan (3.34).

$$K = b_0 \left(1 + \frac{2 \left(\frac{(1 - a_1)Ts}{2(a_1 + 1)} \right)}{Ts}\right) \quad (3.33)$$

$$K = b_0 \left(1 + \frac{(1-a_1)}{(a_1+1)} \right) \quad (3.34)$$

Kontroler yang dipakai pada desain *self-tuning regulator* adalah kontroler PI yang fungsi alih dari kontroler dinyatakan pada Persamaan (3.35). Dimana $E(s)$ menyatakan sinyal eror dan $U(s)$ menyatakan sinyal kontrol.

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} \right) \quad (3.35)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p \tau_i s}{\tau_i s} + \frac{K_p}{\tau_i s} \quad (3.36)$$

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_p \tau_i s + K_p}{\tau_i s} \quad (3.37)$$

Persamaan (3.37) diubah ke dalam bentuk diskrit menggunakan Transformasi Bilinier dimana hasilnya seperti pada Persamaan (3.38).

$$\frac{U(z)}{E(z)} = \frac{K_p \tau_i \frac{2}{T_s} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right) + K_p}{\tau_i \frac{2}{T_s} \left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \right)} \quad (3.38)$$

$$\frac{U(z)}{E(z)} = \frac{K_p \tau_i \frac{2}{T_s} (1-z^{-1}) + K_p (1+z^{-1})}{\tau_i \frac{2}{T_s} (1-z^{-1})} \quad (3.39)$$

$$\tau_i \frac{2}{T_s} (1-z^{-1}) U(z) = \left(K_p \tau_i \frac{2}{T_s} (1-z^{-1}) + K_p (1+z^{-1}) \right) E(z) \quad (3.40)$$

$$\begin{pmatrix} \tau_i \frac{2}{T_s} U(z) - \\ \tau_i \frac{2}{T_s} z^{-1} U(z) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} K_p \tau_i \frac{2}{T_s} E(z) - K_p \tau_i \frac{2}{T_s} z^{-1} E(z) \\ + K_p E(z) + K_p z^{-1} E(z) \end{pmatrix} \quad (3.41)$$

$$U(z) = \left(\begin{array}{c} \frac{\tau_i \frac{2}{Ts} z^{-1}}{\tau_i \frac{2}{Ts}} U(z) + \frac{\left(K_p \tau_i \frac{2}{Ts} E(z) + K_p \right)}{\tau_i \frac{2}{Ts}} E(z) \\ \frac{\left(K_p - K_p \tau_i \frac{2}{Ts} \right) z^{-1}}{\tau_i \frac{2}{Ts}} E(z) \end{array} \right) \quad (3.42)$$

$$u(k) = u(k-1) + K_p \left(1 + \frac{Ts}{2\tau_i} \right) e(k) + K_p \left(\frac{Ts}{2\tau_i} - 1 \right) e(k-1) \quad (3.43)$$

Setelah kontroler telah diformulasikan ke dalam bentuk diskrit pada Persamaan (3.43), maka dapat dilakukan perhitungan parameter-parameter kontroler PI. Perhitungan analitik juga digunakan untuk mencari nilai parameter-parameter kontroler yang diinginkan, jika diinginkan nilai *error steady state* adalah nol maka nilai parameter τ_i adalah sama dengan nilai time constant τ dari sistem open loop. Dimana nilai time constant sistem open loop dinyatakan dalam Persamaan (3.31), maka akan didapatkan persamaan τ_i dalam fungsi parameter model sistem yang dinyatakan pada Persamaan (3.44).

$$\tau_i = \frac{(1-a_1)Ts}{2(a_1+1)} \quad (3.44)$$

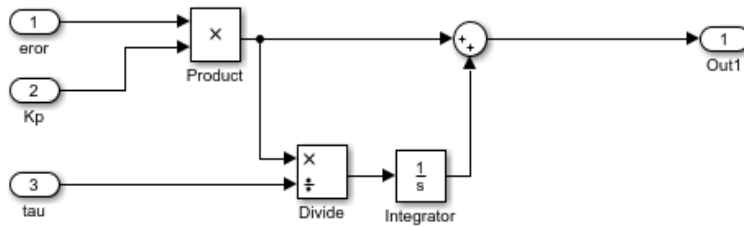
Nilai konstanta proporsional kontroler dapat dinyatakan pada Persamaan (3.45).

$$K_p = \frac{\tau_i}{\tau^* K} \quad (3.45)$$

Dari persamaan diatas juga dapat diubah dengan substitusi Persamaan (3.44) dan (3.34) karena terdapat hubungan antara nilai konstanta proporsional dengan nilai parameter model sistem yang dapat dinyatakan pada Persamaan (3.46). Sedangkan nilai τ^* adalah nilai time constant dari respon sistem yang diinginkan yaitu sebesar 20 detik.

$$K_p = \frac{\left(\frac{(1-a_1)Ts}{2(a_1+1)} \right)}{\tau^* \left(b_0 \left(1 + \frac{(1-a_1)}{a_1+1} \right) \right)} \quad (3.46)$$

Pada subsistem kontrol pi yang ditunjukkan pada Gambar 3.17 terdapat 3 *input* yang terdiri dari nilai, eror, nilai Kp dan nilai tau (τ), yang mana nilai eror didapatkan dari operasi hitung dari *set point* dan keluaran *plant*, sedangkan nilai Kp dan nilai tau (τ) didapatkan dari hasil mekanisme tuning yang nantinya digunakan untuk parameter kontroler pi.



Gambar 3.17 Subsistem kontroler pi

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab ini akan membahas mengenai hasil dari pengujian kontroler yang telah dirancang pada Bab 3 untuk mengetahui hasil performa dari *plant Pressure Process Rig 38-714* menggunakan *self-tuning regulator* dengan model fuzzy takagi sugeno. Pengujian dilakukan dengan dua cara yaitu pengujian pada *plant* dengan kondisi beban nominal dan pengujian ketika terjadi perubahan beban pada *plant*. Pada pengujian kontroler juga dilihat performansi yang diterapkan pada *plant* dengan melihat *error steady state (%Ess)*, *settling time*, *maximum overshoot (%Mp)* dan *recovery time*.

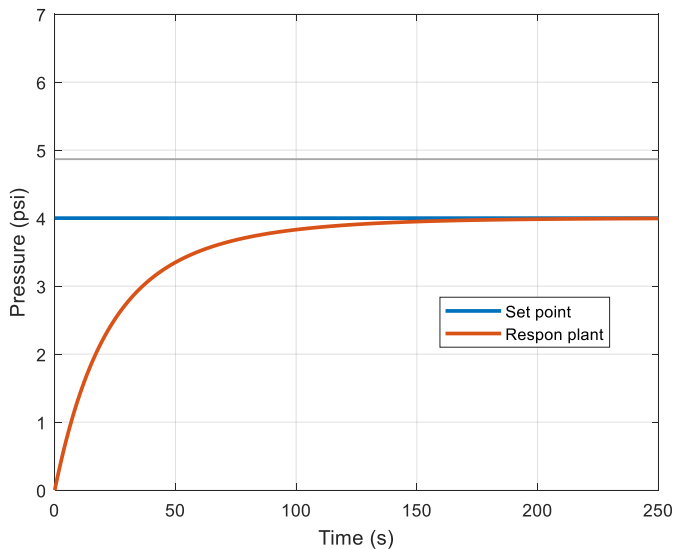
4.1 Pengujian Simulasi pada Kondisi Beban Nominal

Sebelum dilakukan implementasi pada *plant Pressure Process Rig 38-714* diperlukan simulasi untuk mengetahui respon dari *plant* ketika diberi kontroler dengan menggunakan metode *self tuning regulator* berbasis model fuzzy Takagi Sugeno apakah sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dan dirasa cukup aman untuk diimplementasikan pada *plant* yang sesungguhnya.

Dalam pengujian simulasi terdapat beberapa spesifikasi yang diinginkan diantaranya adalah :

- a. *Settling time* ($\pm 5\%$) 90 detik
- b. *Error steady state (Ess)* mendekati nol.
- c. Tidak ada *overshoot*

Diperlukan *setting* awal saat melakukan simulasi yaitu, dengan memberikan masukan/*set point* sinyal *step* dengan *final value* bernilai 4, *sample time* 0.02 detik, dan nilai τ^* sebesar 20 detik. Setelah melakukan *setting* awal dapat dilakukan simulasi dengan hasil respon *plant* pada kondisi beban nominal yang dilihat pada Gambar 4.1. Dari respon hasil simulasi yang didapatkan tampak bahwa respon tidak mengalami *overshoot*, *settling time* sebesar 93.54 detik dan *error steady state* mendekati nol. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa simulasi dengan kontroler menggunakan metode *self tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan. Sehingga dari hasil simulasi ini disimpulkan bahwa kontroler yang telah dirancang dapat diterapkan pada *plant Pressure Process Rig 38-714*. Pada Tabel 4.1 dapat dilihat perbandingan dari performansi sistem spesifikasi yang diinginkan dengan spesifikasi yang dicapai.



Gambar 4.1 Respon hasil simulasi pada kondisi beban nominal

Tabel 4.1 Performansi simulasi sistem pada kondisi nominal

Karakteristik respon	Spesifikasi yang diinginkan	Spesifikasi yang dicapai
<i>Settling time $\pm 5\%$</i>	90 detik	93.54 detik
<i>Error steady state</i>	0%	0%
<i>overshoot</i>	Tidak ada	Tidak ada

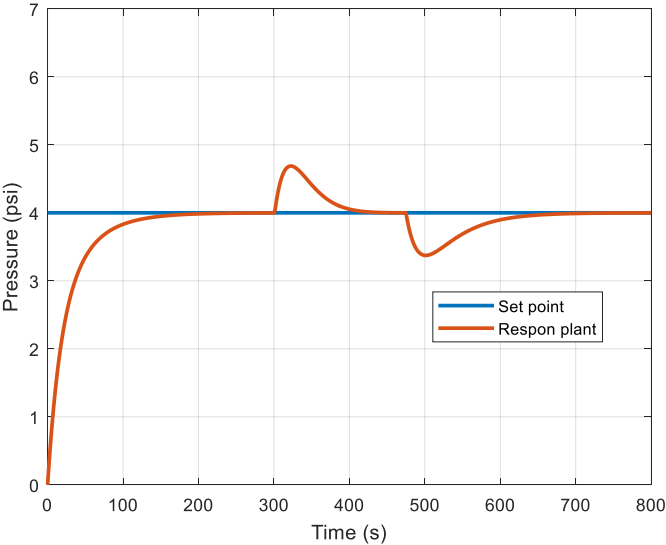
4.2 Pengujian Simulasi pada Kondisi Perubahan Beban

Sama halnya dengan simulasi pada kondisi nominal, simulasi pada saat kondisi perubahan beban dilakukan untuk mengetahui apakah kontroler yang telah dirancang dapat bekerja dengan baik, dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan dan dapat mengatasi perubahan beban yang terjadi sebelum dilakukan implementasi secara langsung pada *plant Pressure Process Rig 38-714*.

Dalam pengujian simulasi pada kondisi perubahan beban terdapat beberapa spesifikasi yang diinginkan, yaitu:

- Error steady state* mendekati nol
- Persen (%) kenaikan dan penurunan tekanan kurang dari 50%

Simulasi mula-mula diatur pada saat kondisi nominal yaitu dengan masukan/*set point* sinyal *step* dengan *final value* bernilai 3, *time sampling* sebesar 0.02 detik dan nilai τ^* sebesar 20 detik. Hasil respon simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.2, proses perubahan beban terjadi pada saat $t= 301$ detik, tampak bahwa respon mengalami kenaikan tekanan sebesar 17,32% dan kontroler dapat mengembalikan respon pada keadaan semula dengan *recovery time* selama 130,5 detik, kemudian beban nominal kembali diberikan pada saat $t=475$ detik, respon mengalami penurunan tekanan sebesar 12,36% dengan *recovery time* selama 172,6 detik. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat perbandingan dari performansi sistem spesifikasi yang diinginkan dengan spesifikasi yang dicapai

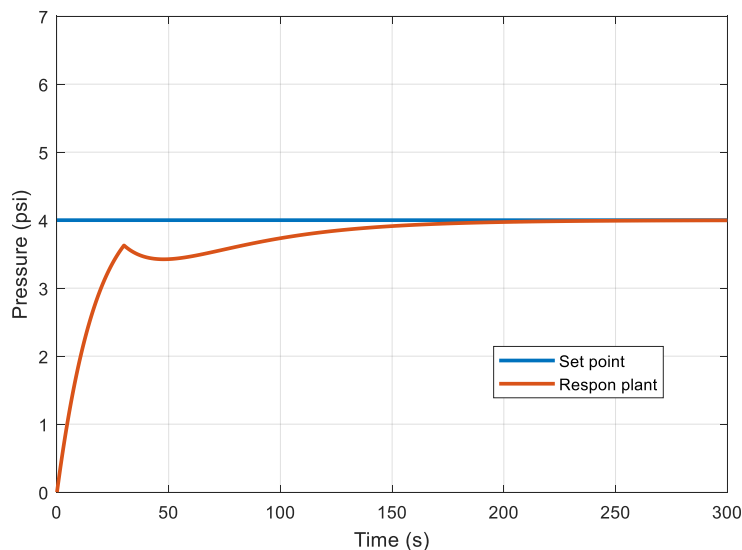


Gambar 4.2 Respon hasil simulasi pada kondisi perubahan beban

Tabel 4.2 Performansi simulasi sistem pada kondisi perubahan beban

Karakteristik respon	Spesifikasi yang diinginkan	Spesifikasi yang dicapai
<i>Error steady state</i>	0%	0.01%
Kenaikan Tekanan	<50%	17,32%
Penurunan Tekanan	<50%	12.36%

Pengujian simulasi juga dilakukan dengan perubahan beban saat respon dalam kondisi transien yang dimana dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pada kondisi tersebut respon mengalami penurunan tekanan sebesar 6,47% dengan *recovery time* untuk mencapai kondisi *steady* selama 112,58 detik.



Gambar 4.3 Respon hasil simulasi pada kondisi perubahan beban waktu transien

Tabel 4.3 Performansi sistem pada kondisi perubahan beban waktu transien

Karakteristik respon	Spesifikasi yang diinginkan	Spesifikasi yang dicapai
<i>Error steady state</i>	0%	0%
Penurunan Tekanan	<50%	6,47%

4.3 Pengujian pada Kondisi Beban Nominal.

Pada pengujian *plant* terhadap kondisi beban nominal bertujuan untuk mengetahui performasi dari kontroler yang telah dirancang sebelumnya pada Bab 3. Dalam pengujian ini terdapat spesifikasi yang diinginkan dari respon hasil *plant Pressure Process Rig 38-714*. Spesifikasi yang diinginkan antara lain adalah:

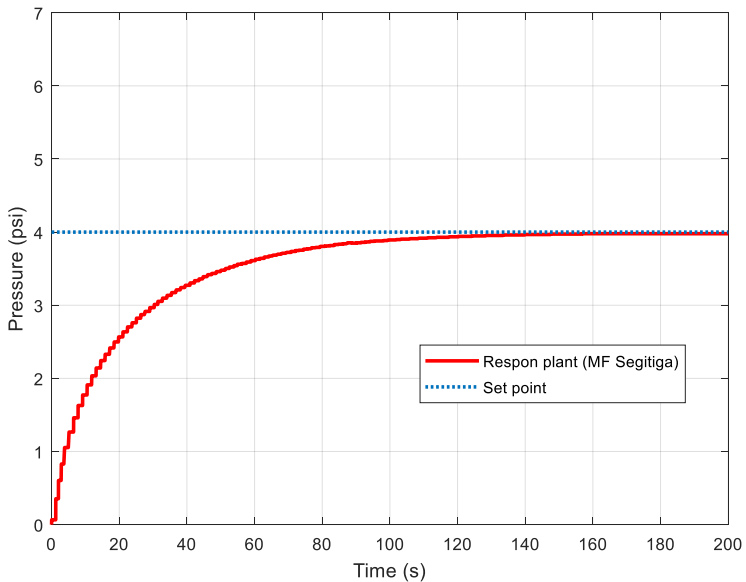
- Settling time* ($\pm 5\%$) 90 detik
- Error steady state* (E_{ss}) mendekati nol, toleransi 1%
- Nilai *overshoot* tidak lebih dari 5%

Dalam melakukan pengujian dengan kondisi beban nominal perlu melakukan pengaturan awal pada *plant* yaitu dengan mengkondisikan *plant* sebagai berikut:

Kondisi nominal:

- Masukan (*set point*) *plant* : 4 psi (10 mA)
- Jumlah data yang diambil : 20000 data
- Kondisi pembebanan:
 - Valve terbuka : V1, V3, V4, dan V5
 - Valve tertutup : V2 dan V6
- Air receiver* : digunakan

Pada pengujian *plant* digunakan kontroler *self tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno, yang dimana *time sampling* yang digunakan sebesar 0,02 detik dan nilai τ^* adalah 20 detik. Dari pengujian tersebut didapatkan respon *plant* sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, respon *plant* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Respon *plant* pada kondisi beban nominal

Tabel 4.4 Performa kontroler pada kondisi nominal

Karakteristik respon	Spesifikasi yang diinginkan	Spesifikasi yang dicapai
<i>Settling time</i> $\pm 5\%$	90 detik	93,54 detik
<i>Error steady state</i>	0%	0,55%
<i>overshoot</i>	Tidak ada	Tidak ada

Dari hasil respon pada Gambar 4.4 dapat diketahui bahwa kontroler yang dirancang yaitu *self tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno mampu memberikan respon yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Dapat dilihat dari Tabel 4.4 bahwa respon memiliki performansi yang mendekati spesifikasi yang diinginkan dan dapat dilihat bahwa respon tidak mengalami *overshoot*, nilai *settling time* t_s ($\pm 5\%$) sebesar 93,54 detik, nilai *error steady state* sebesar 0,55%. Dimana X_{ss} merupakan nilai sinyal masukan saat *steady state* dan Y_{ss} merupakan nilai sinyal keluaran saat *steady state*.

4.4 Pengujian pada Kondisi Perubahan Beban

Pada pengujian saat kondisi *plant* terjadi perubahan beban bertujuan untuk mengetahui performansi dari kontroler *self tuning regulator* dengan model fuzzy Takagi Sugeno mampu mengembalikan respon ke keadaan tunak sesuai dengan masukan saat terjadi perubahan beban. Perubahan beban yang terjadi dari kondisi nominal ke kondisi beban minimal. Dalam pengujian terhadap perubahan beban ada beberapa pengkondisian yang harus dilakukan terlebih dahulu pada *plant* sebagai berikut:

Kondisi nominal:

- Masukan (*set point*) *plant* : 4 psi (10 mA)
- Jumlah data yang diambil : 40000 data
- Kondisi pembebanan:
 - Valve* terbuka : V1, V3, V4, dan V5
 - Valve* tertutup : V2 dan V6
- Air receiver* : digunakan

Setelah pengkondisian pada beban nominal dilakukan dan respon *plant* telah mencapai dalam keadaan *steady state* dalam waktu tertentu dilakukannya perubahan pembebanan dengan kondisi pembebanan sebagai berikut:

Kondisi perubahan beban (beban minimal)

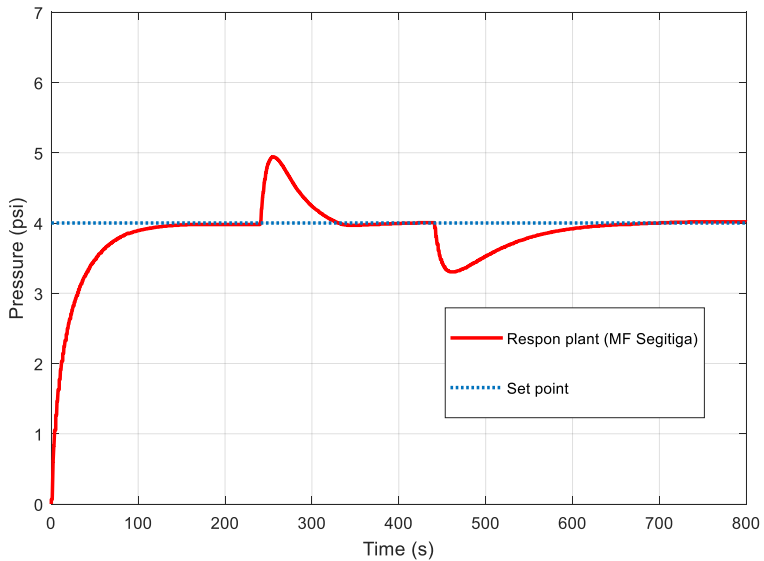
- Valve* terbuka : V1, V3, dan V4
- Valve* tertutup : V2, V5, dan V6

Setelah respon kembali mencapai kondisi steady dilakukan pembebanan kembali ke kondisi beban nominal.

Pada pengujian dalam kondisi perubahan beban terdapat beberapa spesifikasi yang diinginkan, yaitu:

- Error steady state* mendekati nol
- Persen (%) kenaikan dan penurunan tekanan kurang dari 50%

Pada pengujian ini *time sampling* yang digunakan sebesar 0,02 detik dan nilai τ^* adalah 20 detik sama halnya pada saat kondisi beban nominal. Dari pengujian ini didapatkan respon *plant* yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



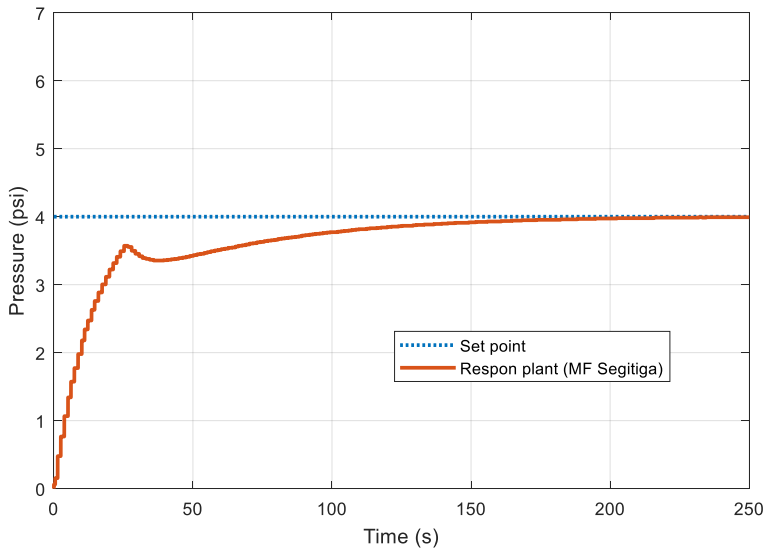
Gambar 4.5 Respon *plant* pada kondisi perubahan beban

Tabel 4.5 Performa kontroler pada perubahan beban

Karakteristik respon	Spesifikasi yang diinginkan	Spesifikasi yang dicapai
<i>Error steady state</i>	0%	0,36%
Kenaikan Tekanan	<50%	24,23%
Penurunan Tekanan	<50%	17,2%

Pada Gambar 4.5 dapat dilihat mula-mula respon tidak mengalami *overshoot*, dan terjadi perubahan beban pada saat $t=142,5$ detik dan perubahan beban kedua pada saat $t=341.5$ detik, nilai *error steady state* mendekati nol yaitu sebesar 0,36%, mengalami kenaikan tekanan sebesar 24,03% saat terjadi perubahan beban minimal dengan nilai *recovery time* sebesar 130,2 detik dan mengalami penurunan tekanan sebesar 20,5% saat terjadi perubahan beban ke kondisi nominal dengan *recovery time* sebesar 139 detik.

Pengujian kembali dilakukan dengan menguji perubahan beban pada saat respon *plant* dalam kondisi waktu transien menuju *steady state*, hal ini bertujuan untuk mengetahui performa kontroler yang telah dibuat. Dari pengujian ini didapat respon *plant* seperti pada Gambar 4.6.



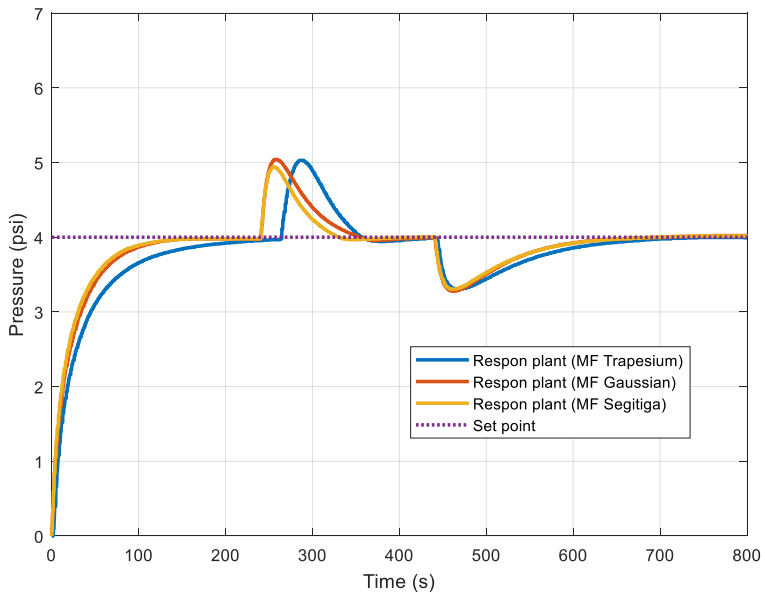
Gambar 4.6 Respon *plant* perubahan beban pada waktu transien

Tabel 4.6 Performa kontroler pada perubahan beban waktu transien

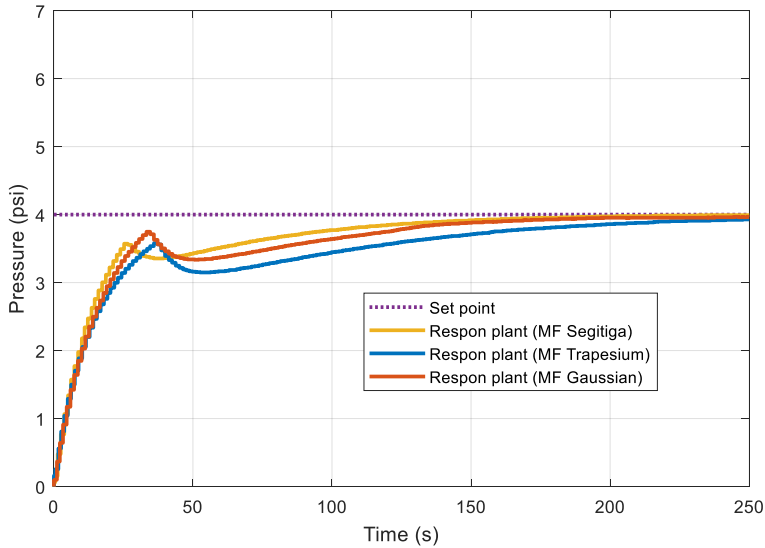
Karakteristik respon	Spesifikasi yang diinginkan	Spesifikasi yang dicapai
<i>Error steady state</i>	0%	0,56%
Penurunan Tekanan	<50%	12.75%

Pada Gambar 4.5 beban diberikan pada waktu transien saat $t=33,72$ detik, dengan penurunan tekanan sebesar 12.7% dan *recovery time* untuk mencapai keadaan *steady* selama 117,58 detik. Dalam hal ini kontroler yang telah dirancang mampu menangani perubahan beban yang terjadi dan mengembalikan respon dari *plant* sesuai dengan masukan yang diberikan.

Pada pengujian ini juga dicoba menggunakan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang beragam yaitu menggunakan fungsi keanggotaan segitiga, trapesium dan gaussian yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 untuk perubahan beban saat *steady state* dan pada Gambar 4.7 untuk perubahan beban saat waktu transien.



Gambar 4.7 Respon *plant* perubahan beban dengan beberapa *membership function*



Gambar 4.8 Respon *plant* perubahan beban waktu transien dengan beberapa *membership function*

Pada Gambar 4.7 terlihat beberapa sedikit perbedaan dari respon *plant* dengan *membership function* yang berbeda-beda dimana pada respon dengan *membership function* segitiga memiliki *recovery time* yang lebih cepat dengan selang waktu selama 89,5 detik dan persen kenaikan tekanan yang lebih kecil yaitu 24,3% pada perubahan ke beban minimal dan *recovery time* lebih cepat selama 245,5 detik, persen penurunan tekanan 17,2% pada perubahan ke beban nominal. Pada Gambar 4.8 saat perubahan beban waktu transien respon dengan *membership function* segitiga memiliki *recovery time* yang lebih cepat yaitu selama 165 detik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengujian simulasi pada kondisi beban nominal kontroler mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan yaitu dengan karakteristik respon *settling time* $t_s(\pm 5\%)$ 93,5 detik, *error steady state* 0,% dan tidak ada *overshoot*.
2. Pengujian simulasi pada kondisi perubahan beban kontroler mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan yaitu dengan *error steady state* 0%, kenaikan tekanan sebesar 17,32% dengan *recovery time* selama 130,5 detik, penurunan tekanan 12,36% dengan *recovery time* selama 172,6 detik
3. Pengujian simulasi pada kondisi perubahan beban waktu transien kontroler mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan yaitu dengan *error steady state* 0%, penurunan tekanan 6,47% dengan *recovery time* selama 112,58 detik.
4. Pengujian implementasi pada kondisi beban nominal kontroler mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan yaitu dengan karakteristik respon *settling time* $t_s(\pm 5\%)$ 92 detik, *error steady state* 0,55%, tidak ada *overshoot*.
5. Pengujian implementasi pada kondisi perubahan beban kontroler mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan dengan *error steady state* 0,36%, kenaikan tekanan sebesar 24,23% dengan *recovery time* selama 130,2 detik, penurunan tekanan 17,2% dengan *recovery time* selama 139 detik.
6. Pengujian implementasi pada kondisi perubahan beban waktu transien kontroler mampu mendekati spesifikasi yang diinginkan yaitu dengan *error steady state* 0,56%, penurunan tekanan 12,75% dengan *recovery time* selama 117,58 detik.

5.2 Saran

Dari penelitian Tugas Akhir yang telah dilakukan perlu ditambahkan dengan beberapa metode pembebanan untuk menambah variasi beban lainnya, karena proses pencarian parameter dilakukan dengan cara *offline* untuk penelitian selanjutnya bisa digunakan secara *online*.

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. R. F. Nugroho, Sistem Pengaturan Tekanan Uap Boiler pada Simulator PLTU Menggunakan Self Tuning Regulator PI, Surabaya: ITS, 2013.
- [2] "Dasar Instrumentasi dan Proses Kontrol," in *Bimbingan Profesi Sarjana Teknik (BPST) Direktorat Pengolahan Angkatan XVII*, Balongan, Pertamina, 2007.
- [3] F. I. Ltd, PROCON Pressure Control Trainer 38-714 Intruction Manual, UK: Feedback Instrumen Ltd, 2003.
- [4] K. Ogata, Teknik Kontrol Automatik, Jakarta: Erlangga, 1993.
- [5] N. Gamayanti, Diktat Kuliah Dasar Sistem Pengaturan, Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2012.
- [6] E. Iskandar, Diktat Kuliah Sistem Pengaturan Adaptif, Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2013.
- [7] P. K.M. and Y. S., Fuzzy Control, California: Addison-Wesley Longman Inc, 1998.
- [8] K. Mehran, Takagi-Sugeno Fuzzy Modeling for Process Control, Newcastle University, 2008.
- [9] E. Iskandar and A. Fatoni, "Artificial Neural Network Approach for Parameter Estimation in PI Self Tuning 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.

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

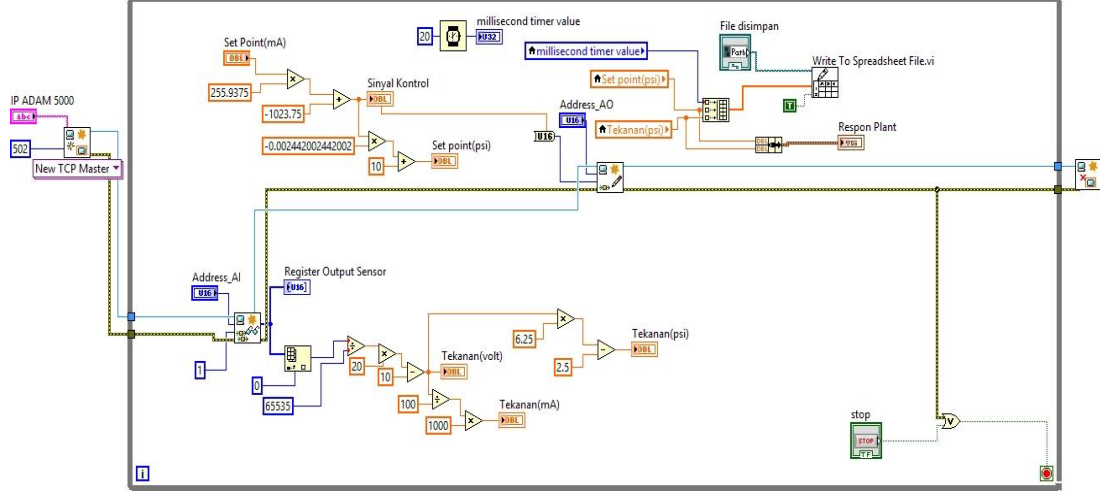
LAMPIRAN

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

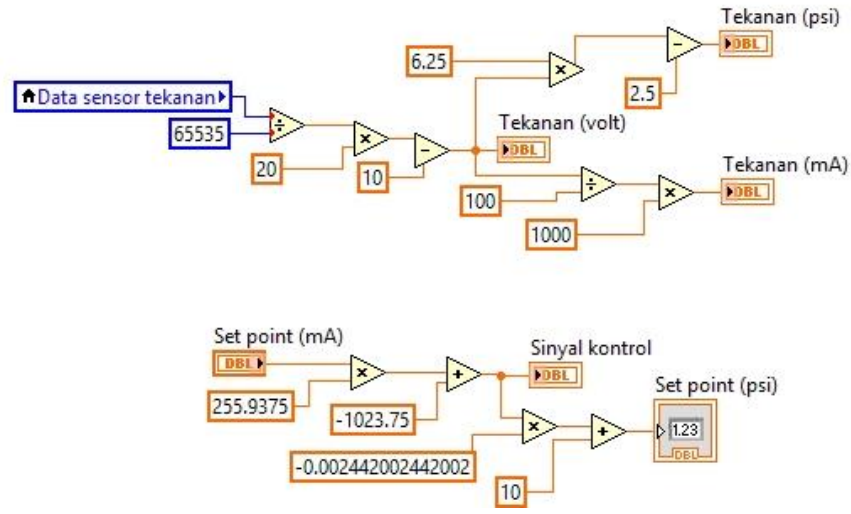
The screenshot displays the 'PENGAMBILAN DATA OPEN LOOP' (Open Loop Data Acquisition) interface. The interface is divided into several functional areas:

- Top Header:** Contains the title 'PENGAMBILAN DATA OPEN LOOP' in a large, bold, black font.
- Configuration Section (Top Left):** Includes fields for 'IP ADAM 5000' (set to 10.10.10.1), 'Address_AI' (set to 25), and 'Address_AO' (set to 9).
- File Management (Middle Left):** A 'File disimpan' (File saved) section showing a file path 'E:\AANLIJ-2017\Semester IV\ Tugas Akhir\data' with a folder icon.
- Set Point Controls (Bottom Left):** Features a 'Set Point(mA)' field with a value of 0, and two columns of 'Tekanan' (Pressure) controls. The first column has 'Set point(psi)' and 'Tekanan(volt)' both set to 0. The second column has 'Tekanan(psi)' and 'Tekanan(mA)' both set to 0.
- Emergency Stop (Bottom Center):** A large red button labeled 'STOP'.
- Response Plot (Right):** A graph titled 'Respon Plant' showing 'Amplitude' on the y-axis (ranging from -1 to 10) and 'Time' on the x-axis (ranging from 0 to 100). The plot area is currently empty.
- Control Buttons (Top Right):** Two buttons labeled 'Set Point' and 'Respon', each accompanied by a small waveform icon.

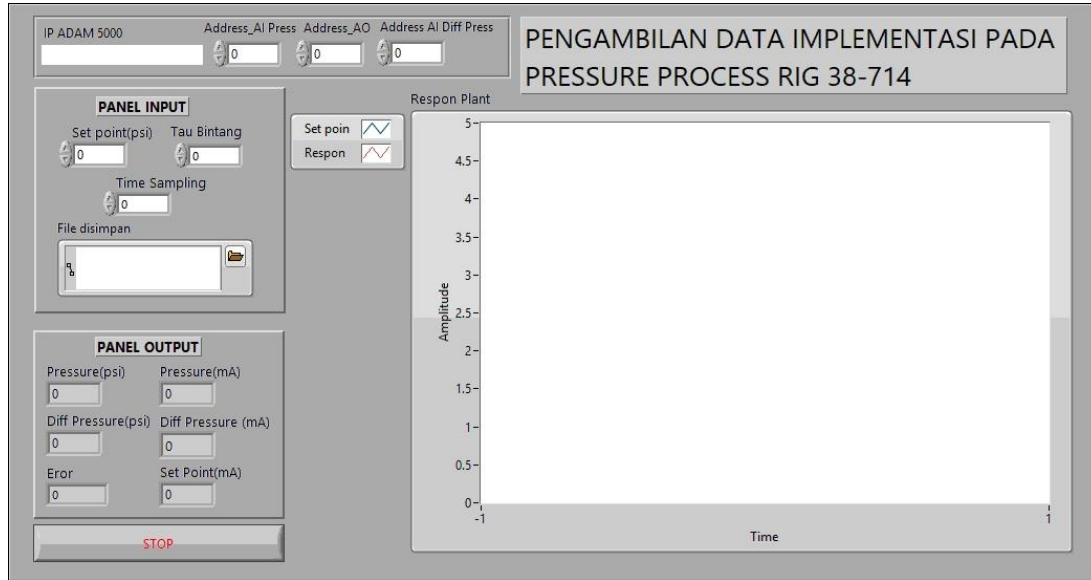
Lampiran 2. Blok diagram program Human Machine Interface (HMI) pengam-
bilan data *open loop*



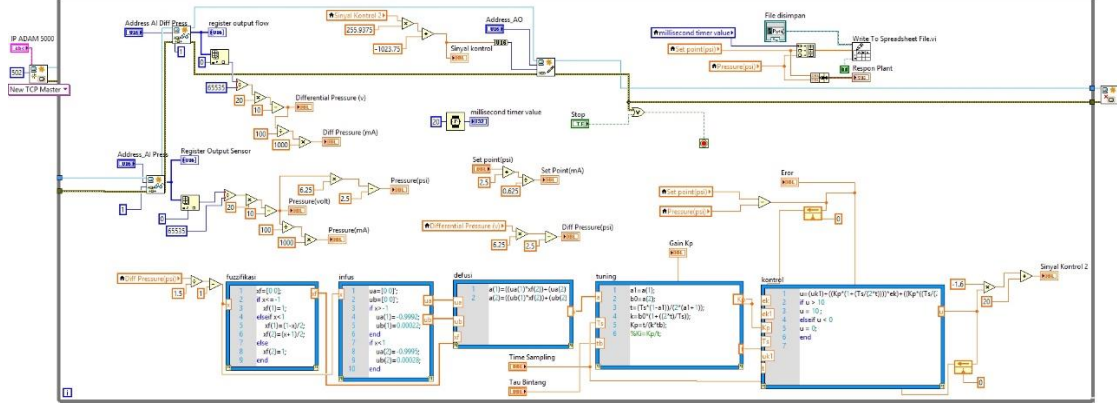
Lampiran 3. Blok diagram penskalaan input dan output pada akuisisi data



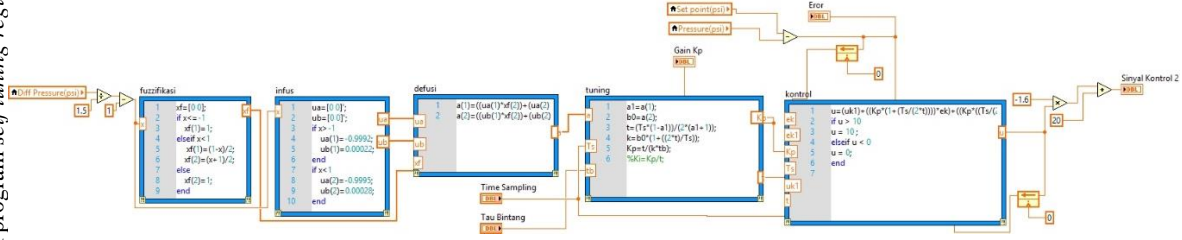
Lampiran 4. Tampilan *Human Machine Interface (HMI)* pengambilan data implementasi pada *plant Pressure Process Rig 38-714*



Lampiran 5. Blok diagram program Human Machine Interface (HMI) pengambilan data implementasi pada *plant Pressure Process* Rig 38-714



Lampiran 6. Blok diagram program self tuning regulator



RIWAYAT HIDUP



Nama : Moch. Aan Fahrizal
TTL : Surabaya, 02 Maret 1996
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Wisma Lidah Kulon Blok
xi No.16
Telp/Hp : 089677092012
E-mail : aanfahrizal48@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2002-2008 : SDN Gunungsari IV Surabaya
2. 2008-2011 : SMPN 10 Surabaya
3. 2011-2014 : SMAN 18 Surabaya
4. 2014-2017 : Departemen Teknik Elektro Otomasi, Program Studi Komputer Kontrol, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
5. 2017-2019 : Departemen Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Pengaturan, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT. PLN (Persero) APD Jawa Timur
2. Kerja Praktek di PT. Terminal Nilam Utara

PENGALAMA ORGANISASI

1. Staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Periode 2015/2016 HIMAD3TEKTRO, FTI-ITS
2. Kepala Biro Akademik dan Kesehatan Departemen Kesejahteraan Mahasiswa Periode 2016/2017 HIMAD3TEKTRO, FTI-ITS

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