



TUGAS AKHIR TF 141581

**PERANCANGAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) UNTUK PENGENDALIAN LEVEL PADA KOLOM DISTILASI BINER**

PRIHATSIWI HAYUNINGSIH  
NRP. 2413 100 089

Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





*FINAL PROJECT TF 141581*

***DESIGN OF ADAPTIVE NEURO-FUZZY  
INFERENCE SYSTEM (ANFIS) FOR BINARY  
DISTILLATION COLUMN LEVEL CONTROL***

*PRIHATSIWI HAYUNINGSIH  
NRP 2413 100 089*

*Supervisor  
Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.*

*ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017*



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

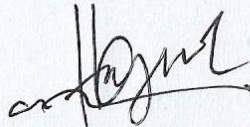
Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Prihatsiwi Hayuningsih  
NRP : 2413100089  
Departemen/Prodi : Teknik Fisika/S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Perancangan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk Pengendalian Level Kolom Distilasi Biner” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surbaya, 25 Juli 2017  
Yang membuat pernyataan,



Prihatsiwi Hayuningsih  
NRP. 2413 100 089

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERANCANGAN *ADAPTIVE NEURO-FUZZY*  
*INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) UNTUK  
PENGENDALIAN LEVEL KOLOM DISTILASI BINER**

**Oleh:**

**Prihatsiwi Hayuningsih**  
**NRP. 2413100089**

**Surabaya, 26 Agustus 2017**  
**Mengetahui/Menyetujui**

**Pembimbing**



**Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.**  
**NIP. 19690507 1995121 001**

**Kepala Departemen**  
**Teknik Fisika FTI-ITS**



**Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**



**PERANCANGAN ADAPTIVE NEURO FUZZY  
INFERENCE SYSTEM (ANFIS) UNTUK  
PENGENDALIAN LEVEL KOLOM DISTILASI BINER**

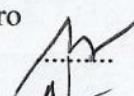
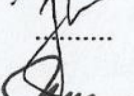
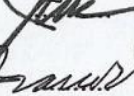
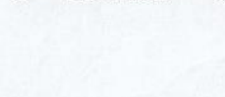
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**PRIHATSIWI HAYUNINGSIH**  
**NRP. 2413 100 089**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Bambang Lelono Widjiantoro  
S.T., M.T.  ..... Pembimbing
2. Ir. Ya'umar, M.T.  ..... Ketua Penguji
3. Dr. Ir. Purwadi Agus D., M.Sc.  ..... Penguji I
4. Ir. Tutug Dhanardono, M.T.  ..... Penguji II

**SURABAYA**  
**Agustus 2017**





**PERANCANGAN ADAPTIVE NEURO FUZZY  
INFERENCE SYSTEM (ANFIS) UNTUK  
PENGENDALIAN LEVEL KOLOM DISTILASI BINER**

**Nama Mahasiswa** : Prihatsiwi Hayuningsih  
**NRP** : 2413 100 089  
**Jurusan** : Teknik Fisika  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Bambang Lelono Widjiantoro,  
S.T., M.T.

**Abstrak**

Kolom distilasi biner berfungsi untuk memisahkan dua komponen penyusun campuran berdasarkan perbedaan volatilitasnya. Pada pengendalian kolom distilasi konfigurasi DV, yang dimanipulasi untuk mendapatkan komposisi produk yang diinginkan adalah *flow* refluks dan *flow* produk bawah. Pada tugas akhir ini dilakukan pengendalian pada level dasar kolom distilasi dengan variabel manipulasi *flow* produk bawah. Data yang digunakan diambil dari data operasi *Ammonia Stripper* 105-E PT Petrokimia Gresik. Pengendalian dilakukan dengan *adaptive neuro fuzzy inference system* atau ANFIS yang mampu menghasilkan sinyal pengendalian dari mekanisme pembelajaran adaptif untuk mendapatkan parameter premis dan konsekuen dari sistem penalaran pengendali *fuzzy*. Dilakukan variasi pada tipe dan jumlah fungsi keanggotaan *fuzzy*, yaitu jumlah fungsi keanggotaan 3, 5, dan 7 pada masing-masing tipe keanggotaan segitiga, trapesium, *generalized bell*, dan *gaussian*. Dari analisa didapatkan hasil yang paling baik adalah pengendali ANFIS *generalized bell* dengan 3 fungsi keanggotaan. Pengendali ini menghasilkan respon dengan *maximum overshoot* sebesar 2.358%, *settling time* 66.790 detik.

**Kata kunci:** *adaptive neuro fuzzy inference system*, kolom distilasi, fungsi keanggotaan *fuzzy*

*Halaman ini memang dikosongkan*

**DESIGN OF ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE  
SYSTEM FOR BINARY DISTILLATION COLUMN  
LEVEL CONTROL**

**Name** : Prihatsiwi Hayuningsih  
**Student Number** : 2413 100 089  
**Department** : Engineering Physics  
**Supervisor** : Dr. Bambang Lelono Widjiantoro,  
S.T., M.T.

**Abstract**

*Binary distillation column is used to separate two liquid mixture component based on the difference of component's volatility. On a DV configuration distillation column control, reflux flow and bottom product flow is manipulated to control the product composition. In this final project, a control system for base level column with bottom product flow as manipulated variable is designed. Data used on this final project is taken from operational data of Ammonia Stripper 105-E in PT Petrokimia Gresik. The control system is adaptive neuro fuzzy inference system or ANFIS which is capable to produce control signal from adaptive learning mechanism to obtain premise and consequent parameter of fuzzy inference system. Variation of type and number of fuzzy membership function is used, they are 3, 5, and 7 membership functions on each triangular, trapezoid, generalized bell, and gaussian type. It is found that the best ANFIS controller for the system is 3 generalized bell membership function. This controller produce a response with 2.358% maximum overshoot and 66.790 seconds of settling time.*

**Key Words:** *adaptive neuro fuzzy inference system, distillation column, fuzzy membership function*

*Halaman ini memang dikosongkan*

## **KATA PENGANTAR**

Alhamdulillahirabbil'aalamiin, rasa syukur atas segala limpahan rahmat, kesehatan, keselamatan, dan ilmu yang Allah SWT berikan kepada penulis hingga mampu menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul:

### **PERANCANGAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY* *INFERENCE SYSTEM* (ANFIS) UNTUK PENGENDALIAN LEVEL KOLOM DISTILASI BINER**

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini, tidak terlepas dari semua pihak yang turut membantu baik moril maupun materiil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua saya, Wahyoko W.S. dan Siti Fatimah, kakak saya Prihatmoko Wimbono, serta adik saya, Handoko Seno Widagdo dan Novita Damayanti yang selalu berdo'a untuk kebaikan saya.
2. Wali saya di Surabaya, Bapak Mustafa Kamal, S.E. dan Ibu Ovie beserta keluarga yang telah menerima saya sebagai keluarga di Surabaya.
3. Bapak Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Fisika ITS
4. Bapak Dr. Bambang Lelono Widjiantoro ST. MT., selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, memberikan saran dan kritiknya.
5. Bapak Hendra Cordova, ST. MT., selaku dosen wali yang telah memberikan dukungan serta saran yang berharga.
6. Teman-teman Teknik Fisika 2013, terutama Frely, Intan, Laily, dan Natsir, atas dukungan semangat dan motivasi.

Demikian laporan tugas akhir ini dibuat dengan sebaik-baiknya. Semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak, khususnya untuk kemajuan industri di Indonesia.

Surabaya, Agustus 2017  
Penulis

*Halaman ini memang dikosongkan*

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul</b> .....	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstrak</b> .....	<b>ix</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>xi</b>
<b>Kata Pengantar</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Daftar Isi</b> .....	<b>xv</b>
<b>Daftar Gambar</b> .....	<b>xvii</b>
<b>Daftar Tabel</b> .....	<b>xix</b>
<b>Daftar Notasi</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Sistematika Laporan .....	2
<b>BAB II DASAR TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1. Kolom Distilasi.....	5
2.2. <i>Ammonia Stripper</i> 105-E .....	9
2.3. Pemodelan Kolom Distilasi <i>Ammonia Stripper</i> 105-E .....	10
2.4. <i>Adaptive Network</i> .....	13
2.5. <i>Fuzzy Inference System</i> .....	14
2.6. <i>Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS)</i> .....	15
2.7. Pengendalian Kolom Distilasi .....	18
2.8. Pengendalian Kolom Distilasi dengan ANFIS .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>23</b>
3.1. Pengambilan Data Plant.....	24
3.2. Pembuatan Model Plant.....	26
3.3. Validasi Model .....	30
3.4. Pengambilan Data Input Pembelajaran ANFIS .....	32
3.5. Perancangan Pengendali ANFIS.....	32
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>37</b>
4.1. Hasil Sistem Pengendalian .....	37



4.2. Uji <i>Tracking</i> .....	40
4.3. Uji <i>Disturbance</i> .....	44
4.4. Pembahasan .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>53</b>
6.1. Kesimpulan.....	53
6.2. Saran .....	53
<b>Daftar Pustaka .....</b>	<b>55</b>
<b>Lampiran A</b>	
A-1 PFD <i>Ammonia Stripper</i> 105-E PT Petrokimia Gresik .....	
A-2 Data <i>material balance</i> PT Petrokimia Gresik.....	
<b>Lampiran B</b>	
Data pengukuran level dasar kolom <i>Ammonia Stripper</i> 105-E.....	
<b>Lampiran C</b>	
C-1 Parameter pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga.....	
C-2 Parameter pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium .....	
C-3 Parameter pengendali ANFIS fungsi keanggotaan <i>generalized bell</i> .....	
C-4 Parameter pengendali ANFIS fungsi keanggotaan <i>gaussian</i> .....	
<b>Lampiran D</b>	
D-1 Skema pengambilan data input pembelajaran ANFIS pada SIMULINK .....	
D-2 Skema pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga .....	
D-3 Skema pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium.....	
D-4 Skema pengendali ANFIS fungsi keanggotaan <i>generalized bell</i> .....	
D-5 Skema pengendali ANFIS fungsi keanggotaan <i>gaussian</i> .....	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Kurva Keseimbangan .....	6
<b>Gambar 2.2</b>	<i>Batch Distillation Column</i> .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	<i>Continuous Distillation Column</i> .....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Proses pada Kolom Distilasi.....	8
<b>Gambar 2.5</b>	Struktur Jaringan Adaptif <i>Feedforward</i> .....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Diagram Blok Sistem Penalaran <i>Fuzzy</i> .....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Dua Input Model Sugeno dengan Dua Aturan <i>Fuzzy</i> .....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Arsitektur ANFIS .....	16
<b>Gambar 2.9</b>	Pengendalian pada Kolom Distilasi.....	18
<b>Gambar 2.10</b>	Pengendalian Kolom Distilasi DV.....	19
<b>Gambar 2.11</b>	Keseimbangan Massa pada Dasar Kolom dan Reboiler.....	20
<b>Gambar 2.12</b>	Skema Pembelajaran Kontrol ANFIS.....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Skema Diagram Alir Penelitian.....	24
<b>Gambar 3.2</b>	Skema Validasi Pemodelan dengan <i>Open Loop</i> .....	31
<b>Gambar 3.3</b>	Respon <i>Open Loop</i> Pemodelan.....	31
<b>Gambar 3.4</b>	Rancangan SIMULINK untuk Pengambilan Data Pembelajaran ANFIS.....	32
<b>Gambar 3.5</b>	Perancangan Pengendali ANFIS pada SIMULINK untuk Tiap Tipe Fungsi Keanggotaan .....	35
<b>Gambar 4.1</b>	Respon Sistem Pengendalian ANFIS dengan Fungsi Keanggotaan Segitiga .....	37
<b>Gambar 4.2</b>	Respon Sistem Pengendalian ANFIS dengan Fungsi Keanggotaan Trapesium .....	38
<b>Gambar 4.3</b>	Respon Sistem Pengendalian ANFIS dengan Fungsi Keanggotaan <i>Generalized Bell</i> .....	39
<b>Gambar 4.4</b>	Respon Sistem Pengendalian ANFIS dengan Fungsi Keanggotaan <i>Gaussian</i> .....	40
<b>Gambar 4.5</b>	Respon Sistem Uji <i>Tracking</i> Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan Segitiga.....	41

<b>Gambar 4.6</b>	Respon Sistem Uji <i>Tracking</i> Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan Trapesium.....	42
<b>Gambar 4.7</b>	Respon Sistem Uji <i>Tracking</i> Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan <i>Generalized Bell</i> .....	43
<b>Gambar 4.8</b>	Respon Sistem Uji <i>Tracking</i> Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan <i>Gaussian</i> .....	44
<b>Gambar 4.9</b>	Respon Sistem Uji <i>Disturbance</i> Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan Segitiga .....	45
<b>Gambar 4.10</b>	Respon Sistem Uji <i>Disturbance</i> Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan Trapesium .....	46
<b>Gambar 4.11</b>	Respon Sistem Uji <i>Disturbance</i> Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan <i>Generalized Bell</i> .....	47
<b>Gambar 4.12</b>	Respon Sistem Uji <i>Disturbance</i> Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan <i>Gaussian</i> .....	48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Rule base untuk 3 fungsi keanggotaan.....	21
<b>Tabel 2.1</b>	Rule base untuk 5 fungsi keanggotaan.....	21
<b>Tabel 2.1</b>	Rule base untuk 7 fungsi keanggotaan.....	21
<b>Tabel 3.1</b>	Parameter dimensi kolom <i>Stripper</i> 105-E.....	24
<b>Tabel 3.2</b>	Data feed <i>Ammonia Stripper</i> 105-E .....	25
<b>Tabel 3.3</b>	Data produk bawah <i>Ammonia Stripper</i> 105-E .....	25
<b>Tabel 3.4</b>	Data refluks <i>Ammonia Stripper</i> 105-E .....	25
<b>Tabel 3.5</b>	Data <i>vapor overhead Ammonia Stripper</i> 105- E .....	26
<b>Tabel 3.6</b>	Data output reboiler 140-E.....	26
<b>Tabel 3.7</b>	Variasi tipe dan jumlah fungsi keanggotaan pengendali <i>fuzzy</i> .....	33
<b>Tabel 3.8</b>	Parameter pembelajaran ANFIS Fungsi Keanggotaan Segitiga.....	34
<b>Tabel 3.9</b>	Parameter pembelajaran ANFIS Fungsi Keanggotaan Trapesium.....	34
<b>Tabel 3.10</b>	Parameter pembelajaran ANFIS Fungsi Keanggotaan <i>Generalized Bell</i> .....	34
<b>Tabel 3.11</b>	Parameter pembelajaran ANFIS Fungsi Keanggotaan <i>Gaussian</i> .....	34
<b>Tabel 3.12</b>	Parameter <i>fuzzy</i> 3 fungsi keanggotaan segitiga	36
<b>Tabel 4.1</b>	Perbandingan nilai performansi respons pada pengendalian PI dan ANFIS Segitiga.....	37
<b>Tabel 4.2</b>	Perbandingan nilai performansi pada pengendalian ANFIS Trapesium .....	38
<b>Tabel 4.3</b>	Perbandingan nilai performansi pada pengendalian ANFIS <i>Generalized Bell</i> .....	39
<b>Tabel 4.4</b>	Perbandingan nilai performansi pada pengendalian ANFIS <i>Gaussian</i> .....	40
<b>Tabel 4.5</b>	Perbandingan nilai performansi uji <i>tracking</i> pada pengendalian ANFIS Segitiga.....	41

<b>Tabel 4.6</b>	Perbandingan nilai performansi uji <i>tracking</i> pada pengendalian ANFIS Trapesium.....	42
<b>Tabel 4.7</b>	Perbandingan nilai performansi uji <i>tracking</i> pada pengendalian ANFIS <i>Generalized Bell</i> ....	43
<b>Tabel 4.8</b>	Perbandingan nilai performansi uji <i>tracking</i> pada pengendalian ANFIS <i>Gaussian</i> .....	44
<b>Tabel 4.9</b>	Perbandingan nilai performansi uji <i>disturbance</i> pada pengendalian ANFIS segitiga.....	45
<b>Tabel 4.10</b>	Perbandingan nilai performansi uji <i>disturbance</i> pada pengendalian ANFIS trapesium .....	46
<b>Tabel 4.11</b>	Perbandingan nilai performansi uji <i>disturbance</i> pada pengendalian ANFIS <i>generalized bell</i> .....	47
<b>Tabel 4.12</b>	Perbandingan nilai performansi uji <i>disturbance</i> pada pengendalian ANFIS <i>gaussian</i> .....	48

## DAFTAR NOTASI

$M_b$	= massa cairan yang terakumulasi di dasar kolom
$L_1$	= massa cairan dari tray pertama
$V$	= massa uap dari reboiler
$B$	= massa produk dasar kolom
$W_b$	= laju aliran cairan terakumulasi di dasar kolom
$w_f$	= laju aliran cairan <i>feed</i>
$W_F$	= laju aliran cairan refluks yang masuk ke kolom
$W_{VRB}$	= laju aliran uap dari reboiler
$W_{LRB}$	= laju aliran cairan dari reboiler
$W_B$	= laju aliran produk dasar kolom
$H_B$	= tinggi cairan di dasar kolom
$\rho_B$	= massa jenis cairan di dasar kolom
$A_B$	= luas dasar kolom
$\rho_f$	= massa jenis cairan <i>feed</i>
$\dot{m}_f$	= laju aliran cairan <i>feed</i>
$n$	= jumlah <i>tray</i> dalam kolom
$\tau_{TR}$	= waktu konstan orde pertama pada setiap lag hidraulik nampan
$\rho_F$	= massa jenis cairan refluks
$\dot{m}_F$	= laju aliran cairan refluks
$\rho_{TR}$	= massa jenis cairan pada <i>tray</i>
$A_{TR}$	= luas <i>tray</i>
$A_{DC}$	= luas <i>downcomer</i>
$\overline{w}_n$	= laju aliran umpan pada <i>tray</i>
$H_{ow}$	= tinggi luapan <i>downcomer</i>
$\tau_{DC}$	= waktu konstan <i>downcomer</i>
$g_c$	= percepatan gravitasi umum
$g_l$	= percepatan gravitasi di dalam kolom

$\Delta P_{DC}$	= penurunan tekanan dalam kolom
$\rho_{DC}$	= massa jenis cairan pada <i>downcomer</i>
$\rho_{LRB}$	= massa jenis cairan reboiler
$\dot{m}_{LRB}$	= laju aliran cairan reboiler
$\lambda_{ST}$	= <i>latent heat steam</i> yang memanasi reboiler
$\lambda_{PB}$	= <i>latent heat</i> cairan di dasar kolom
$f_{ST}$	= laju aliran uap dari reboiler
$\dot{m}_B$	= laju aliran cairan produk dasar kolom

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Proses pemisahan dua atau lebih jenis cairan yang memiliki tingkat volatilitas yang berbeda dapat dilakukan dengan distilasi. Pada industri, proses ini dapat dilakukan menggunakan kolom distilasi. Kolom distilasi yang memisahkan dua jenis cairan dengan tingkat volatilitas yang berbeda disebut kolom distilasi biner. Pada kolom distilasi kontinyu, untuk mendapatkan produk distilasi dengan komposisi yang diinginkan, maka diterapkan sistem pengendalian pada kolom distilasi tersebut. Salah satu sistem pengendalian yang dapat dilakukan adalah dengan mengendalikan level pada dasar kolom dan tangki distilat dengan memanipulasi *flow bottom product* dan *flow* refluks. Sistem pengendalian ini disebut konfigurasi DV[1].

PT Petrokimia Gresik adalah sebuah perusahaan yang memproduksi amoniak yang merupakan bahan dasar pembuatan pupuk urea. Pada proses produksi amoniak di perusahaan tersebut, terdapat proses pemurnian larutan amoniak menjadi amoniak cair. Proses ini dilakukan di dalam sebuah kolom distilasi *Ammonia Stripper* 105-E. Kolom distilasi ini memiliki konfigurasi DV, dimana yang dimanipulasi adalah *flow* refluks dan *flow bottom product* untuk mengendalikan level tangki distilat dan dasar kolom.

Suatu mode pengendalian, harus dapat memenuhi *set point* yang ditentukan. Untuk memenuhi ketentuan tersebut, pengembangan *intelligent control* dilakukan untuk melihat apakah mode pengendalian tersebut memiliki performansi yang lebih baik daripada mode pengendalian konvensional seperti *proportional-integral-derivative* atau PID.

Salah satu pengendalian berbasis kecerdasan buatan adalah pengendalian dengan *adaptive neuro fuzzy inference system* atau ANFIS yang dikembangkan oleh Jang pada 1993. Sistem ini memanfaatkan kemampuan pembelajaran dari jaringan syaraf tiruan *adaptive network* untuk menentukan parameter fungsi keanggotaan *fuzzy*. Sistem *fuzzy* ini yang kemudian akan digunakan



untuk menentukan sinyal pengendalian yang sesuai.

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara merancang pengendalian level pada dasar kolom distilasi biner dengan metode ANFIS?
2. Bagaimana performansi rancangan pengendalian yang diajukan?

### 1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang pengendalian level pada dasar kolom distilasi dengan metode ANFIS.
2. Mengetahui performansi dari rancangan pengendalian yang diajukan.

### 1.4 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penyelesaian masalah pada penelitian tugas akhir ini dan mencapai tujuan yang diinginkan, maka batasan masalah yang diambil adalah sebagai berikut.

1. Proses yang ditinjau hanya pada akumulasi cairan pada dasar kolom distilasi.
2. Data yang dipakai diperoleh dari Ammonia Stripper 105-E PT Petrokimia Gresik saat *normal operation*.
3. Perancangan pengendali menggunakan MATLAB 2016b.
4. Pembelajaran ANFIS menggunakan pengendali PI sebagai referensi.
5. Temperatur pada *feed*, keluaran reboiler, dan cairan dasar kolom tetap.

### 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika laporan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

## BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika laporan.

## BAB II DASAR TEORI

Berisi tentang penjelasan mengenai kolom distilasi, *plant Ammonia Stripper* 105-E, ANFIS, serta perancangan pengendalian *plant* dengan ANFIS.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang pemodelan *plant*, perancangan pengendalian ANFIS dengan simulasi pada MATLAB.

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang analisa hasil perancangan pengendalian ANFIS dibandingkan dengan pengendalian PI.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan hasil yang didapatkan setelah dilakukan perancangan pengendalian ANFIS beserta saran untuk penelitian selanjutnya.

*Halaman ini memang dikosongkan.*

## **BAB II DASAR TEORI**

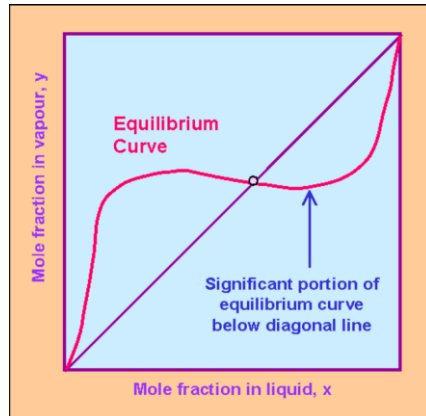
Bab ini berisi teori dasar yang melandasi alur berfikir dalam menyelesaikan permasalahan dan mencapai tujuan dari penelitian tugas akhir ini. Teori–teori tersebut mencakup hal–hal yang mendukung dan menjadi dasar rujukan dalam tugas akhir. Pengambilan dasar teori berasal dari *text book*, jurnal ilmiah yang dipublikasikan melalui *internet*, *Intruction Manual Book* yang di akses dari perpustakaan perusahaan tempat penulis mengambil data. Pembuatan model proses dengan mengambil beberapa asumsi/pendekatan yang didasarkan pada berbagai referensi juga disajikan dalam bab ini. Model proses yang telah didapatkan tersebut nantinya digunakan pada bab selanjutnya untuk di program pada *Simulink Matlab*.

### **2.1 Kolom Distilasi**

Distilasi merupakan teknologi pemisahan campuran cairan yang telah digunakan oleh para ahli kimia di Alexandria pada abad pertama. Pada saat ini, distilasi masih digunakan pada industri-industri untuk pemisahan campuran[2].

Prinsip dasar dari proses distilasi adalah pemisahan campuran cairan berdasarkan perbedaan volatilitas dari cairan penyusun campuran. Volatilitas adalah kecenderungan suatu cairan untuk menguap. Volatilitas dipengaruhi oleh tekanan uap, dimana cairan dengan tekanan uap yang lebih tinggi akan menguap pada suhu yang lebih rendah. Cairan akan mulai mendidih ketika tekanan uapnya sama dengan tekanan uap di ruangan.

Tekanan uap dari setiap cairan penyusun campuran akan berubah sesuai dengan perubahan konsentrasinya. Komposisi dari campuran uap pada kondisi setimbang dengan campuran cairan dapat berubah sesuai dengan komposisi cairan. Komposisi uap pada keadaan setimbang dapat diukur dengan kurva kesetimbangan.



**Gambar 2.1** Kurva Kesetimbangan[3]

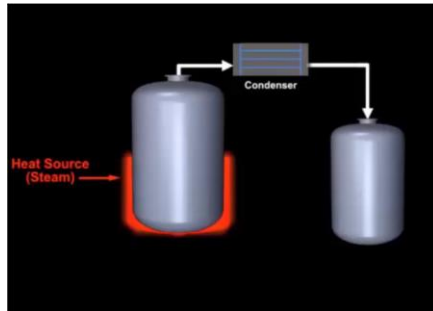
Pada proses distilasi, uap dari campuran akan memiliki titik didih yang lebih rendah dan komposisi yang lebih tinggi. Maka dari itu, ketika uap didinginkan dan terkondensasi, akan terbentuk kondensat yang sifatnya lebih volatil. Produk ini disebut distilat. Sebaliknya, cairan campuran yang ditinggalkan akan mengandung bahan yang sifatnya kurang volatil. Produk ini disebut residu atau *produk bawah*.

Untuk dapat melakukan pemisahan dengan proses distilasi, terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi[5]. Yang pertama adalah harus ada fase cair dan fase uap dan terjadi kontak antara keduanya pada setiap tahap dalam kolom pemisahan. Yang kedua adalah perbedaan volatilitas pada setiap penyusun campuran. Yang ketiga adalah terdapat kemampuan untuk melakukan pemisahan, baik dengan memanfaatkan gravitasi atau mekanisme lainnya.

Kolom distilasi pada intinya memiliki tiga bagian penting, yaitu sebuah wadah dengan tabung untuk menyalurkan uap, kondenser di atas wadah untuk mendinginkan uap, dan sumber panas untuk menguapkan cairan yang akan didistilasi[4].

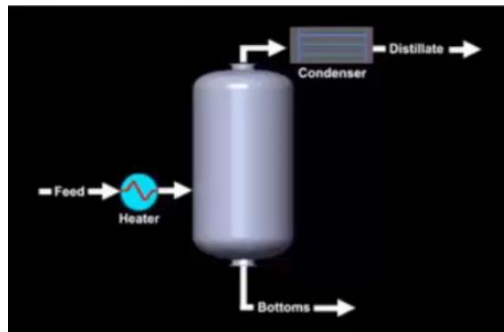
Terdapat dua jenis kolom distilasi berdasarkan kontinuitas prosesnya, yaitu *batch distillation column* dan *continuous distillation column*. Pada kolom distilasi jenis *batch*, campuran yang akan dipisahkan didistilasi secara berkala. Setelah sejumlah

campuran selesai didistilasi, distilat dan residu diambil, dan sejumlah campuran selanjutnya didistilasi.



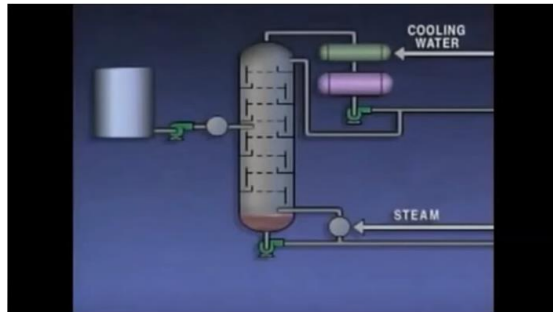
**Gambar 2.2** *Batch Distillation Column*[4]

Pada kolom distilasi *continuous*, aliran *feed* yang merupakan campuran yang akan didistilasi, dialirkan ke dalam kolom secara kontinyu. Distilat dan residu juga dipisahkan secara kontinyu.



**Gambar 2.3** *Continuous Distillation Column*[4]

Untuk mendapatkan distilat dengan komposisi yang lebih tinggi, dapat diberikan susunan *tray* atau *packing* di dalam kolom, dimana uap dapat berpindah ke susunan yang lebih tinggi. Uap pada susunan yang lebih tinggi akan memiliki konsentrasi yang lebih tinggi pula, sebab sifatnya yang lebih volatil.



**Gambar 2.4** Proses pada Kolom Distilasi[5]

Pada **Gambar 2.4**, cairan *feed* disimpan di dalam sebuah tangki penampungan. Saat operasi, *feed* dipompakan agar melalui sebuah *preheater*. Di dalam *preheater*, cairan dipanaskan di bawah tekanan sehingga mencapai suhu di bawah titik didihnya. Tekanan di dalam kolom lebih rendah daripada tekanan pada *preheater*. Sehingga *feed* yang masuk ke dalam kolom akan mulai mendidih. Uap dari *feed* yang mendidih akan naik ke bagian kolom yang lebih tinggi. Uap ini merupakan penyusun campuran yang sifatnya lebih ringan atau memiliki tingkat volatilitas yang lebih tinggi. Sedangkan sisa cairan dari *feed* yang tidak berubah menjadi uap akan turun ke bagian kolom yang lebih rendah.

Ketika mencapai dasar kolom, sebagian dari cairan akan masuk ke dalam reboiler, dan sebagian lagi akan dialirkan sebagai *produk bawah*. Reboiler digunakan sebagai *heat exchanger* untuk menguapkan kembali penyusun campuran yang lebih ringan yang ikut turun ke dasar kolom. Uap, dan pada beberapa kasus juga cairan, dari reboiler dimasukkan kembali ke dalam kolom. Uap akan naik ke bagian kolom yang lebih tinggi. Uap ini sering disebut dengan *boilup*.

Pada bagian atas, terdapat kondenser yang berfungsi untuk mendinginkan uap dan mengondensasikannya menjadi cairan. Cairan ini kemudian diakumulasikan pada sebuah tangki. Sebagian dari cairan ini dialirkan kembali ke dalam kolom, sebagian lagi dialirkan menjadi *produk atas*. Cairan refluks yang masuk kembali ke dalam kolom memiliki suhu yang lebih rendah daripada bagian

atas kolom. Hal ini menyebabkan penyusun campuran yang lebih volatil yang terdapat pada cairan refluks akan menguap dan yang kurang volatile akan turun ke bagian bawah kolom.

Di dalam kolom distilasi, untuk memisahkan uap dengan cairan, dapat digunakan *tray* atau *packing*. Pada *tray*, uap dengan komposisi yang lebih ringan dapat melewati *tray* dan menuju bagian kolom yang lebih tinggi. Di sisi lain, *tray* juga mampu menampung cairan dan apabila cairan sudah melebihi kapasitas penampungan *tray*, cairan akan *overflow* dan mengalir ke bagian kolom yang lebih rendah melalui *downcomer*.

Pada *tray* terjadi perpindahan panas, dimana uap yang naik mengandung kalor yang lebih tinggi daripada cairan yang tertahan di dalam *tray*. Apabila terjadi kontak di antara keduanya, penyusun campuran yang lebih ringan yang tertinggal pada cairan akan menguap, sedangkan penyusun campuran yang lebih berat yang ikut dalam uap akan terkondensasi dan ikut menjadi cairan pada *tray*. Dengan mekanisme ini, akan didapatkan distilat yang lebih murni.

Untuk kolom distilasi yang menggunakan *packing*, terdapat lapisan *packing* yang terdiri dari susunan *bubble cap*. *Bubble cap* berfungsi untuk menyalurkan uap ke dalam cairan untuk mendapatkan perpindahan panas yang maksimum[5].

## **2.2 Ammonia Stripper 105-E**

*Ammonia Stripper* 105-E merupakan bagian dari proses *purge gas recovery* pada pembuatan amoniak di PT Petrokimia Gresik[6]. *Stripper* ini berfungsi untuk memisahkan produk amoniak dengan air menggunakan prinsip distilasi.

Prinsip dari kolom distilasi adalah memisahkan dua atau lebih jenis cairan dengan memanfaatkan perbedaan titik didihnya. Proses di *Stripper* 105-E merupakan distilasi biner karena memisahkan dua jenis cairan, yaitu amoniak dan air.

Pada kolom distilasi ini, terdapat empat buah *distribution tray* dan tiga buah *packing*. Umpan dari *Scrubber* 103-E masuk ke dalam *Stripper* 105-E di atas *tray* kedua. *Steam* akan naik ke bagian *rectifying*, sedangkan cairan turun ke bagian *stripping*. Pada kolom



terdapat sebuah *trapout pan* yang akan menampung cairan sebelum masuk ke dalam reboiler 140-C. *Steam* yang naik ke bagian *rectifying* masuk ke dalam refluks dan kembali ke kolom bagian atas. Produk dari kolom atas berupa *warm ammonia*.

Reboiler 140-C berfungsi untuk memanaskan cairan dan menghasilkan uap yang naik ke bagian *rectifying* kolom distilasi. Reboiler ini dipanaskan dengan *steam* yang berasal dari sebuah *steam header*. Cairan yang keluar dari reboiler dikembalikan ke kolom distilasi dan bergabung dengan produk *overflow* di dasar kolom.

Level dasar kolom distilasi dikontrol sehingga berkisar antara 52-68% dari dasar kolom. Terdapat sebuah *level transmitter* LT-1027. Hasil pembacaan LT-1027 menjadi input bagi LIC-1027 yang mengatur bukaan *control valve* LV-1027. Produk dari dasar kolom dimasukkan lagi ke dalam *Scrubber* 104-E dan *Scrubber* 103-E.

### 2.3 Pemodelan Kolom Distilasi *Ammonia Stripper* 105-E

Dengan asumsi bahwa temperatur *feed*, output reboiler, dan cairan pada dasar kolom adalah konstan, maka kesetimbangan energi diabaikan. Pemodelan matematis *Stripper* 105-E dilakukan sesuai dengan kesetimbangan massa. Berdasarkan Luyben, pemodelan matematis kolom distilasi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{d(M_b)}{dt} = L_1 - V - B \quad (2.1)$$

Dimana,

$M_b$	= cairan yang terakumulasi di dasar kolom	(kg)
$L_1$	= cairan dari <i>tray</i> pertama	(kg)
$V$	= uap dari <i>reboiler</i>	(kg)
$B$	= produk dasar kolom	(kg)

Apabila cairan dari *tray* pertama adalah cairan dari *feed* dan refluks, dan output reboiler menghasilkan cairan yang juga

terakumulasi ke dasar kolom, maka persamaan 2.1 dapat dijabarkan lebih lanjut seperti berikut:

$$s W_b = (w_f + w_F) + w_{LRB} - w_{VRB} - w_B \quad (2.2)$$

Dimana,

$s$	= variabel transformasi Laplace	
$W_b$	= cairan terakumulasi di dasar kolom	(kg/s)
$w_f$	= cairan <i>feed</i>	(kg/s)
$w_F$	= cairan refluks yang masuk ke kolom	(kg/s)
$w_{VRB}$	= uap dari reboiler	(kg/s)
$w_{LRB}$	= cairan dari reboiler	(kg/s)
$w_B$	= produk dasar kolom	(kg/s)

$$W_b = H_B(s)\rho_B A_B \quad (2.3)$$

Dimana,

$H_B$	= tinggi cairan di dasar kolom	(m)
$\rho_B$	= massa jenis cairan di dasar kolom	(kg/m <sup>3</sup> )
$A_B$	= luas dasar kolom	(m <sup>2</sup> )

$$w_f = \rho_f \dot{m}_f(s) \quad (2.4)$$

Dimana,

$\rho_f$	= massa jenis cairan <i>feed</i>	(kg/m <sup>3</sup> )
$\dot{m}_f$	= laju aliran massa <i>feed</i>	(m <sup>3</sup> /s)

$$w_F = e^{-n\tau_{TR}s} \rho_F \dot{m}_F(s) \quad (2.5)$$

Dimana,

$n$	= jumlah <i>tray</i> dalam kolom	
$\tau_{TR}$	= waktu konstan orde pertama pada setiap lag hidraulik	(s)
	nampan	
$\rho_F$	= massa jenis cairan refluks	(kg/m <sup>3</sup> )
$\dot{m}_F$	= laju aliran massa refluks	(m <sup>3</sup> /s)

$$\tau_{TR} = \frac{\rho_{TR}(A_{TR} + A_{DC}) + \frac{3\overline{w_n}}{2H_{ow}}\tau_{DC}}{\frac{3\overline{w_n}}{2H_{ow}}} \quad (2.6)$$

Dimana,

$\rho_{TR}$	= massa jenis cairan pada <i>tray</i>	(kg/m <sup>3</sup> )
$A_{TR}$	= luas <i>tray</i>	(m <sup>2</sup> )
$A_{DC}$	= luas <i>downcomer</i>	(m <sup>2</sup> )
$\overline{w_n}$	= laju umpan pada <i>tray</i>	(m <sup>3</sup> /s)
$H_{ow}$	= tinggi luapan <i>downcomer</i>	(m)
$\tau_{DC}$	= waktu konstan <i>downcomer</i>	(s)

$$\tau_{DC} = \frac{\frac{g_c A_{DC}}{g_l}}{0.5 \Delta P_{DC}^{-0.5} \times A_{DC} \times 4.456 \sqrt{\rho_{DC} \frac{g_c}{g_l}}} \quad (2.7)$$

Dimana,

$g_c$	= percepatan gravitasi umum	(m/s <sup>2</sup> )
$g_l$	= percepatan gravitasi dalam kolom	(m/s <sup>2</sup> )
$\Delta P_{DC}$	= penurunan tekanan dalam kolom	(N/m <sup>2</sup> )
$\rho_{DC}$	= massa jenis cairan pada <i>downcomer</i>	(kg/m <sup>3</sup> )

$$w_{LRB} = \rho_{LRB} \dot{m}_{LRB} (s) \quad (2.4)$$

Dimana,

$\rho_{LRB}$	= massa jenis cairan reboiler	(kg/m <sup>3</sup> )
$\dot{m}_{LRB}$	= laju aliran massa reboiler	(m <sup>3</sup> /s)

$$w_{VRB} = \frac{\lambda_{ST}}{\lambda_{PB}} f_{ST} (s) \quad (2.9)$$

Dimana,

$\lambda_{ST}$	= <i>latent heat steam</i> yang memanasi reboiler	(kJ/kg)
$\lambda_{PB}$	= <i>latent heat</i> cairan di dasar kolom	(kJ/kg)
$f_{ST}$	= laju aliran massa uap dari reboiler	(m <sup>3</sup> /s)

$$w_B = \rho_B \dot{m}_B (s) \quad (2.10)$$

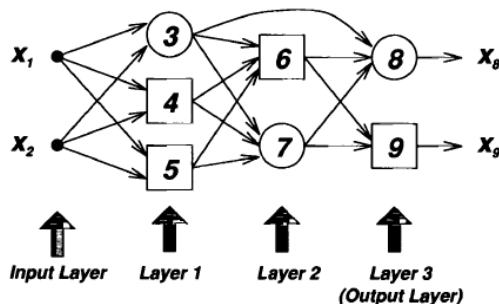
Dimana,

$$\begin{aligned} \rho_B &= \text{massa jenis cairan produk dasar kolom} && (\text{kg/m}^3) \\ \dot{m}_B &= \text{laju aliran massa cairan dari produk dasar kolom} && (\text{m}^3/\text{s}) \end{aligned}$$

## 2.4 Adaptive Network

*Adaptive network* adalah struktur jaringan yang perilaku input-outputnya secara keseluruhan ditentukan dengan sejumlah parameter yang dapat dimodifikasi[7]. Setiap simpul mewakili sebuah unit pemrosesan, dan sambungan di antara simpul menyatakan hubungan sebab-akibat antara simpul-simpul yang terhubung. Aturan pembelajaran menyatakan bagaimana parameter-parameter ini harus diperbarui untuk meminimalkan selisih antara output yang dihasilkan oleh jaringan adaptatif ini dengan output yang diharapkan.

Konfigurasi dari sebuah jaringan adaptif terdiri dari sejumlah simpul yang terhubung oleh sambungan dengan arah tertentu, dimana setiap simpul akan mengoperasikan suatu fungsi yang disebut *node function* pada setiap sinyal yang masuk dan menghasilkan output simpul. Arah sambungan akan menentukan kemana sinyal diberikan. Umumnya, sebuah fungsi simpul adalah sebuah fungsi dengan parameter yang dapat diubah. Dengan mengubah parameter ini, maka fungsi simpul dan perilaku jaringan secara keseluruhan juga akan berubah.

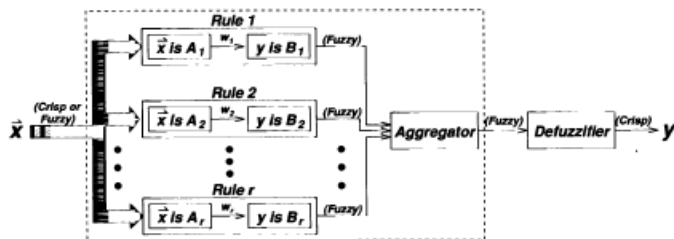


**Gambar 2.5** Struktur Jaringan Adaptif *Feedforward*[7]

Parameter-parameter pada sebuah jaringan adaptif didistribusikan ke simpul-simpulnya, maka setiap simpul memiliki sebuah set parameter lokal. Gabungan dari set-set ini adalah parameter set dari jaringan secara keseluruhan. Jika sebuah parameter set suatu simpul tidak kosong, maka fungsi simpul tergantung pada nilai parameter. Untuk mewakili *adaptive node* atau simpul adaptif ini, digunakan simbol persegi. Sedangkan untuk simpul yang memiliki parameter set yang kosong, digunakan simbol lingkaran. Simpul ini memiliki fungsi yang tetap, atau yang disebut *fixed node*.

## 2.5 Fuzzy Inference System

*Fuzzy inference system* atau sistem penalaran *fuzzy* adalah sebuah *framework* komputasi yang berdasarkan teori himpunan *fuzzy*, aturan *if-then fuzzy*, dan penalaran *fuzzy*. Sistem ini digunakan pada banyak bidang, seperti pengendalian otomatis, klasifikasi data, analisa keputusan, sistem kepakaran, prediksi runut-waktu, robotik, dan pengenalan pola. Struktur dasar dari sistem ini terdiri dari tiga komponen, yaitu aturan dasar atau *rule base*, database, dan mekanisme panalaran. Pada *rule base* terdapat aturan-aturan *fuzzy*. Database menentukan fungsi keanggotaan yang digunakan pada aturan *fuzzy*. Mekanisme penalaran melakukan prosedur penalaran sesuai dengan aturan *fuzzy* dan memberikan output. Pada sistem ini dapat juga memiliki *defuzzifier* yang berfungsi untuk mengubah output *fuzzy* menjadi *crisp*[7].



**Gambar 2.6** Diagram Blok Sistem Penalaran *Fuzzy*[7]

Terdapat beberapa jenis sistem penalaran *fuzzy*, di antaranya adalah model Takagi-Sugeno-Kang (TSK) yang lebih singkatnya disebut dengan model Sugeno. Aturan *fuzzy* pada model ini adalah sebagai berikut:

$$\text{If } x \text{ is } A \text{ and } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x, y) \quad (2.11)$$

dimana  $A$  dan  $B$  adalah himpunan *fuzzy*, dan  $z = f(x, y)$  adalah fungsi *crisp*.

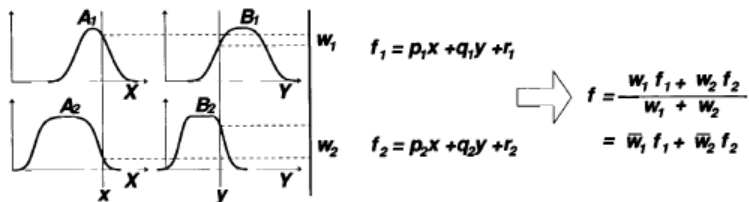
## 2.6 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Diasumsikan sistem penalaran *fuzzy* memiliki input  $x$  dan  $y$ , dan sebuah output  $z$ . Dengan model Sugeno orde satu (output berupa persamaan polinomial), aturan *if-then* sistem tersebut adalah sebagai berikut:

$$\text{Rule 1: If } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1, \text{ then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (2.12)$$

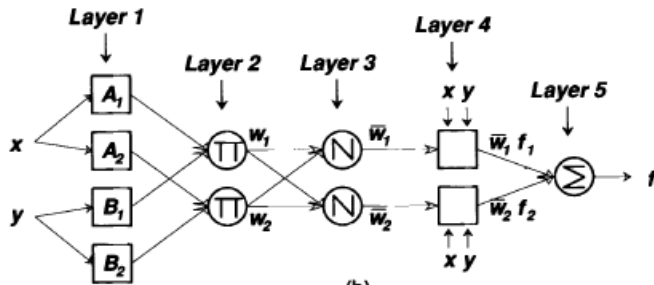
$$\text{Rule 2: If } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2, \text{ then } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (2.13)$$

**Gambar 2.7** mengilustrasikan mekanisme penalaran untuk model Sugeno ini. Arsitektur ANFIS yang sesuai ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.7** Dua Input Model Sugeno dengan Dua Aturan *Fuzzy*[7]

Setiap lapisan pada arsitektur ANFIS pada **Gambar 2.8** dijelaskan seperti berikut (output dari node ke- $i$  pada layer  $l$  dinotasikan dengan  $O_{l,i}$ ):



**Gambar 2.8** Arsitektur ANFIS[7]

Lapisan 1: Setiap simpul ke- $i$  pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} O_{1,i} &= \mu_{A_i}(x), & \text{untuk } i = 1, 2, \text{ atau} & & (2.14) \\ O_{1,i} &= \mu_{B_{i-2}}(y), & \text{untuk } i = 3, 4 & \end{aligned}$$

dimana  $x$  dan  $y$  adalah input simpul ke- $i$  dan  $A_i$  atau  $B_{i-2}$  adalah label linguistik seperti “besar” atau “kecil” yang diasosiasikan dengan simpulnya. Dengan kata lain,  $O_{l,i}$  adalah derajat keanggotaan dari himpunan *fuzzy* dari  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ , dan  $B_2$  untuk input  $x$  dan  $y$ . Dimisalkan digunakan fungsi keanggotaan *generalized bell* dengan rumus sebagai berikut:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (2.15)$$

dimana  $\{a_i, b_i, c_i\}$  adalah parameter set. Jika nilai dari parameter-parameter ini berubah, maka fungsi bentuk *generalized bell* juga akan berubah dan akan menghasilkan variasi bentuk fungsi keanggotaan untuk himpunan *fuzzy*  $A$ . Parameter pada lapisan ini disebut parameter premis.

Lapisan 2: Setiap simpul pada lapisan ini adalah *fixed node* dengan label  $\Pi$ , dimana outputnya merupakan hasil perkalian dari sinyal yang masuk.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), \quad \text{untuk } i = 1,2 \quad (2.16)$$

Setiap simpul output mewakili pembobotan untuk sebuah aturan *fuzzy*.

Lapisan 3: Setiap simpul pada lapisan ini adalah *fixed node* dengan label  $N$ . Simpul ke- $i$  menghitung rasio dari bobot aturan ke- $i$  terhadap jumlah seluruh bobot aturan.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \quad \text{untuk } i = 1,2 \quad (2.17)$$

Output dari lapisan ini disebut *normalized firing strengths* atau bobot ternormalisasi.

Lapisan 4: Setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad \text{untuk } i = 1,2 \quad (2.18)$$

dimana  $\bar{w}_i$  adalah bobot ternormalisasi dari lapisan 3 dan  $\{p_i, q_i, r_i\}$  adalah set parameter untuk simpul ini. Parameter ini disebut parameter konsekuen.

Lapisan 5: Simpul tunggal pada lapisan ini adalah *fixed node* dengan label  $\Sigma$  yang menghitung keseluruhan output dari sinyal yang masuk.

$$O_{5,1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{w_i} \quad (2.19)$$

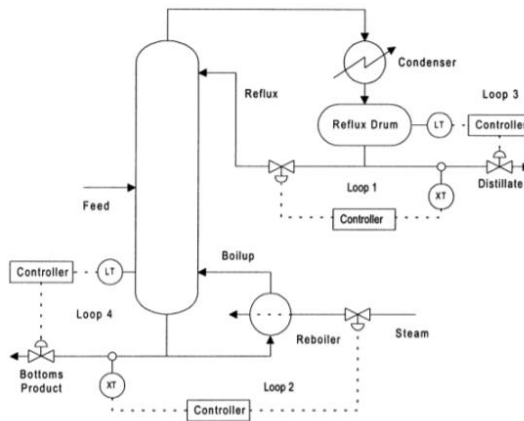


## 2.7 Pengendalian Kolom Distilasi

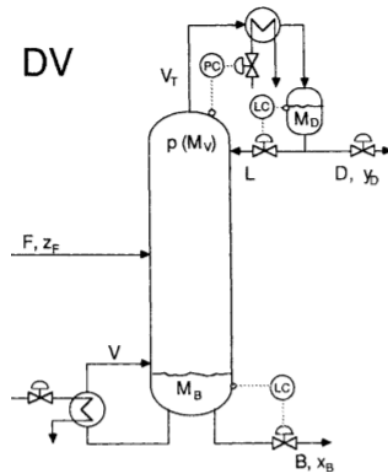
Tujuan dari proses dalam kolom distilasi biner adalah untuk memisahkan dua komponen penyusun campuran melalui proses *stripping* dan *rectifying*[9]. Untuk mendapatkan tujuan tersebut, dilakukan pengendalian pada; (1) komposisi distilat, (2) komposisi produk bawah, (3) level cairan pada tangki refluks, dan (4) level cairan pada dasar kolom.

Pengendalian komposisi bertujuan untuk menentukan sifat produk atas dan produk bawah. Sedangkan pengendalian level dibutuhkan untuk kelayakan operasional[9].

Pengendalian kolom distilasi dapat dilakukan dengan memanipulasi *flow* refluks ke dalam kolom dan *flow* produk bawah keluar dari kolom untuk mengendalikan level pada tangki distilat dan dasar kolom. Pengendalian ini disebut pengendalian DV, karena variabel bebasnya adalah distilat dan *boilup*[1].



**Gambar 2.9** Pengendalian pada Kolom Distilasi[9]



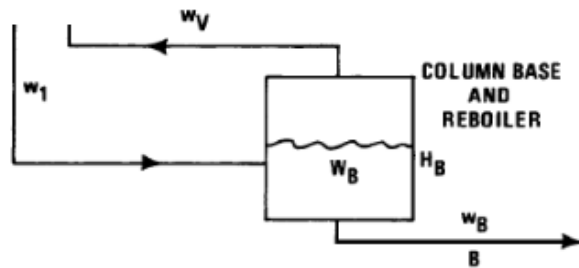
**Gambar 2.10** Pengendalian Kolom Distilasi DV[1]

Pada tugas akhir ini, pengendalian dibatasi pada pengendalian level dasar kolom. Kesetimbangan massa pada dasar kolom distilasi[10] sesuai dengan **Gambar 2.11** adalah sebagai berikut:

$$\frac{dM_b}{dt} = L_1 - V - B \quad (2.20)$$

dimana

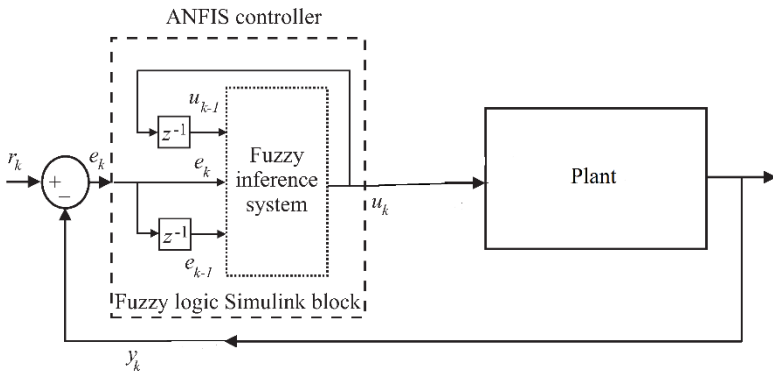
- $M_b$  = akumulasi cairan di dasar kolom (kg)
- $L_1$  = cairan dari *tray* sebelumnya (kg)
- $V$  = uap dari reboiler (kg)
- $B$  = produk bawah (kg)



**Gambar 2.11** Kesetimbangan Massa pada Dasar Kolom dan Reboiler[10]

## 2.8 Pengendalian Kolom Distilasi dengan ANFIS

Pengendali ANFIS dirancang dan digunakan untuk dalam pengendalian adaptif kolom distilasi. **Gambar 2.12** mengilustrasikan skema pengendalian adaptif pada kolom distilasi yang digunakan pada tugas akhir ini. Tujuan dari sistem ini adalah untuk mengendalikan level dasar kolom dengan memanipulasi *flow* produk bawah. Input pengendali adalah error pengendalian, yaitu selisih antara *set point* dengan output pengendalian  $e(k) = u(k) - y(k)$  dan selisih antara error dengan error sebelumnya  $\Delta e(k) = e(k) - e(k - 1)$ .



**Gambar 2.12** Skema Pembelajaran Kontrol ANFIS

Aturan yang diberikan untuk pembelajaran ini adalah:

$$\text{If } e(k) = A \text{ and } \Delta e(k) = B, \text{ then } F(k) = f \quad (2.21)$$

dimana  $A$  dan  $B$  adalah fungsi keanggotaan yang nilainya diberikan sesuai dengan jumlah fungsi keanggotaannya.

**Tabel 2.1** Rule base untuk 3 fungsi keanggotaan

$e(k)/\Delta e(k)$	N	Z	P
N	N	N	Z
Z	N	Z	P
P	Z	P	P

**Tabel 2.2** Rule base untuk 5 fungsi keanggotaan

$e(k)/\Delta e(k)$	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NB	NS	ZE
NS	NB	NB	NS	ZE	PS
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NS	ZE	PS	PB	PB
PB	ZE	PS	PB	PB	PB

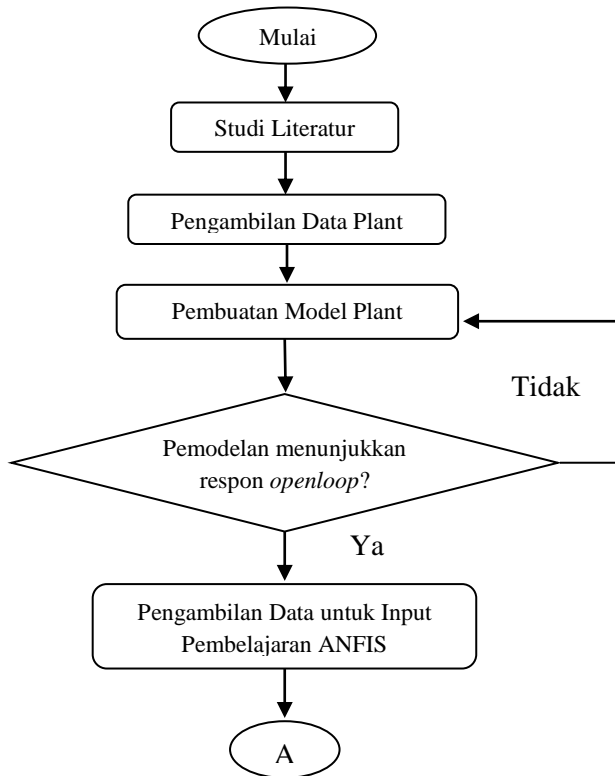
**Tabel 2.3** Rule base untuk 7 fungsi keanggotaan

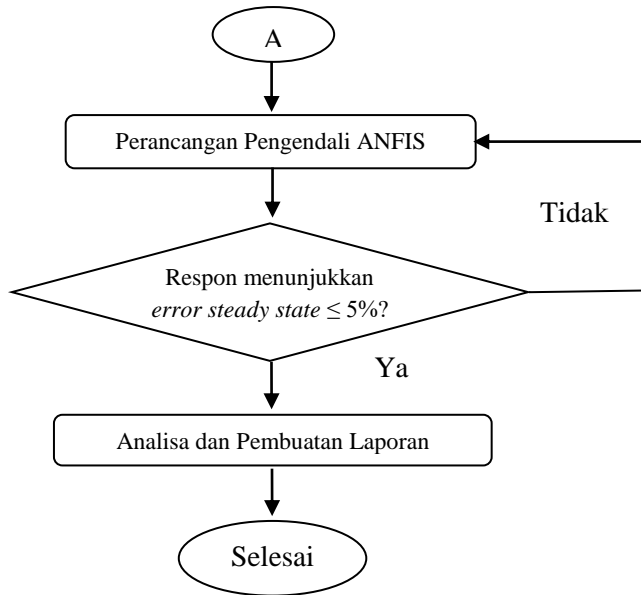
$e(k)/\Delta e(k)$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

*Halaman ini memang dikosongkan.*

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang tahapan pengerjaan dari penelitian yang telah dilakukan. Berikut ini merupakan diagram alir tahapan pengerjaan secara umum:





**Gambar 3.1** Skema Diagram Alir Penelitian

### 3.1 Pengambilan Data *Plant*

Data yang diambil digunakan untuk membuat pemodelan *plant*. Data yang dibutuhkan antara lain:

1. Dimensi *Stripper* 105-E
  2. Kesetimbangan massa pada dasar kolom *Stripper* 105-E
- Data ini diperoleh dari Departemen Perawatan PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 3.1** Parameter dimensi kolom *Stripper* 105-E

Parameter	Nilai
Diameter kolom dasar	0,3556 m
Luas kolom dasar	0,0983 m <sup>2</sup>
Tinggi kolom dasar	2,4 m
Jumlah <i>tray</i>	4
Percepatan gravitasi dalam kolom	9,3 m/s <sup>2</sup>
Luas <i>tray</i>	0,08437 m <sup>2</sup>

**Tabel 3.1** Parameter dimensi kolom *Stripper* 105-E (lanjutan)

Parameter	Nilai
Luas <i>downcomer</i>	0,000611 m <sup>2</sup>
Laju umpan pada <i>tray</i>	0,00122 m <sup>3</sup> /s
Tinggi luapan pada <i>downcomer</i>	0,25 m
Penurunan tekanan dalam kolom	7600 N/m <sup>2</sup>

**Tabel 3.2** Data *feed Ammonia Stripper* 105-E

Parameter	Nilai
Fluida	<i>Liquid-aqua ammonia</i>
Suhu	148.9 °C
Tekananp	17,6 kg/cm <sup>2</sup> A
Laju aliran massa	2566 kg/hr
Massa jenis	793,8 kg/m <sup>3</sup>
Laju aliran volume	3,2 m <sup>3</sup> /hr
WT PCT NH <sub>3</sub>	11,77 %

**Tabel 3.3** Data produk bawah *Ammonia Stripper* 105-E

Parameter	Nilai
Fluida	<i>Liquid-water</i>
Suhu	37 °C
Tekanan	16,2 kg/cm <sup>2</sup> A
Laju aliran massa	2276 kg/hr
Massa jenis	983,8 kg/m <sup>3</sup>
Laju aliran volume	2,3 m <sup>3</sup> /hr
WT PCT NH <sub>3</sub>	0,14 %

**Tabel 3.4** Data refluks *Ammonia Stripper* 105-E

Parameter	Nilai
Fluida	<i>Liquid-ammonia</i>
Suhu	30 °C
Tekanan	20 kg/cm <sup>2</sup> A
Laju aliran massa	740 kg/hr
Massa jenis	595,7 kg/m <sup>3</sup>
Laju aliran volume	1,2 m <sup>3</sup> /hr



**Tabel 3.4** Data refluks *Ammonia Stripper* 105-E (lanjutan)

Parameter	Nilai
WT PCT NH <sub>3</sub>	100 %

**Tabel 3.5** Data *vapor overhead Ammonia Stripper* 105-E

Parameter	Nilai
Fluida	<i>Vapor-ammonia</i>
Suhu	65,7 °C
Tekanan	17,5 kg/cm <sup>2</sup> A
Laju aliran massa	1045 kg/hr
Massa jenis	11,45 kg/m <sup>3</sup>
Laju aliran volume	91,2 m <sup>3</sup> /hr
WT PCT NH <sub>3</sub>	99,5 %

**Tabel 3.6** Data output reboiler 140-E

Parameter	Nilai
Fluida	<i>Liquid-water</i> <i>Vapor-ammonia</i>
Suhu	204,6 °C
Tekanan	16,7 kg/cm <sup>2</sup> A
Laju aliran massa <i>steam</i>	870 kg/hr
Laju aliran massa <i>liquid</i>	2,261 kg/hr
Laju aliran massa <i>vapor</i>	930 kg/hr
Laju aliran volume <i>steam</i>	0,63216 m <sup>3</sup> /s
Laju aliran volume <i>liquid</i>	1,788 m <sup>3</sup> /hr
Massa jenis <i>liquid</i>	859 kg/m <sup>3</sup>
Massa jenis <i>vapor</i>	8.6 kg/m <sup>3</sup>
<i>Latent heat steam</i>	2,27 kJ/kg
<i>Latent heat fluida</i>	1372,2 kJ/kg

### 3.2 Pembuatan Model *Plant*

Untuk membuat simulasi sistem pengendalian dasar kolom *Stripper* 105-E, dilakukan pemodelan instrumen-instrumen yang terkait.

### 3.2.1 Pemodelan *Stripper* 105-E

Pemodelan *Stripper* 105-E dilakukan sesuai dengan yang dijabarkan pada [10]. Pemodelan ini dilakukan dengan kesetimbangan massa:

$$\begin{bmatrix} \text{laju perubahan} \\ \text{massa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{laju massa} \\ \text{input} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \text{laju massa} \\ \text{output} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Kesetimbangan massa tersebut dijabarkan dengan persamaan 2.2 berikut:

$$s W_b = (w_f + w_F) + w_{LRB} - w_{VRB} - w_B \quad (2.2)$$

Dengan memasukkan penjabaran persamaan  $W_b$ ,  $w_f$ ,  $w_F$ ,  $w_{LRB}$ ,  $w_{VRB}$ , dan  $w_B$  seperti yang telah dicantumkan pada bab 2, didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$H_B(s) = \frac{q\rho_f\dot{m}_f(s) + e^{-n\tau_{TR} s} \rho_F\dot{m}_F + \rho_{LRB}\dot{m}_{LRB} - \frac{\lambda_{ST}}{\lambda_{PB}}\dot{m}_S - \rho_B\dot{m}_B}{A_B\rho_B s} \quad (3.2)$$

Untuk membuat pemodelan refluks dihitung:

$$\tau_{DC} = \frac{\frac{9.3}{9.8} \times 0.000611}{0.5\sqrt{7600} \times 0.000611 \times 4.456 \sqrt{990 \frac{9.3}{9.8}}} = 0.000159$$

$$\begin{aligned} \tau_{TR} &= 793.8 \times (0.08437 + 0.000611) + \frac{3 \times 0.00122}{2 \times 0.25} \times 0.000159 \\ &= 67.4579 \end{aligned}$$

$$e^{-n\tau_{TR} s} = e^{-4 \times 67.4579} = 0$$

Pemodelan *Stripper* 105-E dapat ditulis sebagai berikut:

$$H_B(s) = \frac{0.8847 \times 793.8}{983.8 \times 0.0881s} \dot{m}_f - \frac{\frac{2.27}{1372.2}}{983.8 \times 0.0881s} \dot{m}_s + \frac{859}{983.8 \times 0.0881s} \dot{m}_{LRB} - \frac{983.8}{983.8 \times 0.0881s} \dot{m}_B$$

$$H_B(s) = \frac{702.27486}{86.67278s} \dot{m}_f + \frac{858}{86.67278s} \dot{m}_{LRB} - \frac{0.001654}{86.67278s} \dot{m}_s - \frac{983.8}{86.67278s} \dot{m}_B \quad (3.3)$$

### 3.2.2 Pemodelan LV-1027

Pemodelan *control valve* dilakukan dengan cara di bawah ini:

$$G_v = \frac{K_v}{\tau_v s + 1} \quad (3.4)$$

Dimana:

$G_v$  = Fungsi alih *control valve*

$K_v$  = *Gain control valve*

$\tau_v$  = waktu konstan *control valve*

Dengan:

$$K_v = K_p \times K_T \quad (3.5)$$

Dimana:

$K_p$  = *Gain* perubahan sinyal pneumatis ke bentuk aliran

$K_T$  = *Gain* perubahan sinyal elektrik ke sinyal pneumatic

$$K_p = \frac{\Delta \text{flow rate}}{\Delta \text{pressure pneumatik}} \quad (3.6)$$

$$K_T = \frac{\Delta \text{pressure pneumatik}}{\Delta \text{arus elektrik}} \quad (3.7)$$

Berlaku juga

$$\tau_v = T_V (\Delta V + RV) \quad (3.8)$$

Dimana:

$T_V$  = fraksi massa perubahan *control valve*

$\Delta V$  = perbedaan tekanan pneumatis

$RV$  = perbandingan waktu konstan *inherent* dengan *time stroke*

$$T_V = \frac{Y_c}{C_v} \quad (3.9)$$

Dimana:

$Y_c$  = faktor *stroking time*

$C_v$  = koefisien *control valve*

Jika

$\Delta$  flow rate = 1.1675 kg/s

$\Delta$  pneumatic pressure = 12 psi

Maka  $K_p$  = 0.093  $\frac{kg/s}{psi}$

Jika

$\Delta$  arus elektrik = 16 mA

Maka  $T$  = 0.75  $\frac{psi}{mA}$

Maka  $K_v$  = 0.0696  $\frac{mA}{kg/s}$

Jika

$Y_c$  = 0.676

$C_v$  = 0.39

$\Delta V$  = 1

$RV$  = 0.03

Maka  $\tau_v$  = 2.221

Sehingga

$$G_v = \frac{0.0696}{2.221s+1} \quad (3.10)$$

### 3.2.3 Pemodelan Transmitter

Pemodelan *transmitter* dilakukan dengan cara di bawah ini:

$$G_T = \frac{K_L}{\tau_T+1} \quad (3.11)$$

Dimana:

$G_T$  = Fungsi alih *transmitter*

$K_L$  = *Gain transmitter*

$\tau_T$  = waktu konstan *transmitter*

Dengan:

$$K_L = \frac{\Delta \text{ arus listrik}}{\Delta \% \text{ level kolom}} \quad (3.12)$$

Jika

$\Delta$  arus elektrik = 16 mA

$\Delta$  % level kolom = 16 %

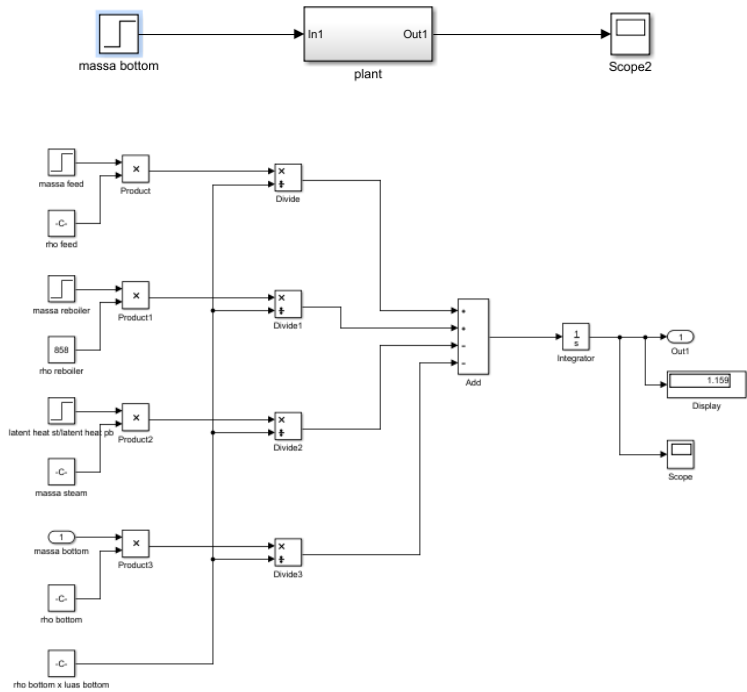
Maka  $K_p$  = 1  $\frac{mA}{\%}$

Sehingga,

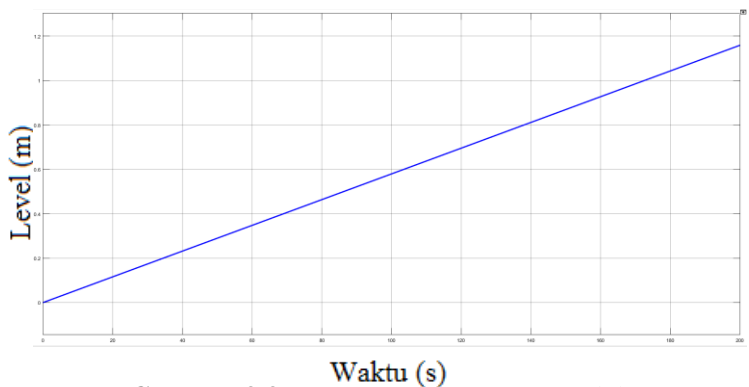
$$G_T = \frac{1}{0.2s+1} \quad (3.13)$$

### 3.3 Validasi Pemodelan

Setelah dilakukan simulasi pemodelan dengan MATLAB, dilakukan validasi pemodelan dengan melihat respon *open loop*-nya. Respon sistem orde nol tersebut dapat dilihat pada **Gambar 3.3**. Respon yang dihasilkan menggambarkan bahwa pada setiap penambahan input, maka level juga akan bertambah.



**Gambar 3.2** Skema Validasi Pemodelan dengan *Open Loop*

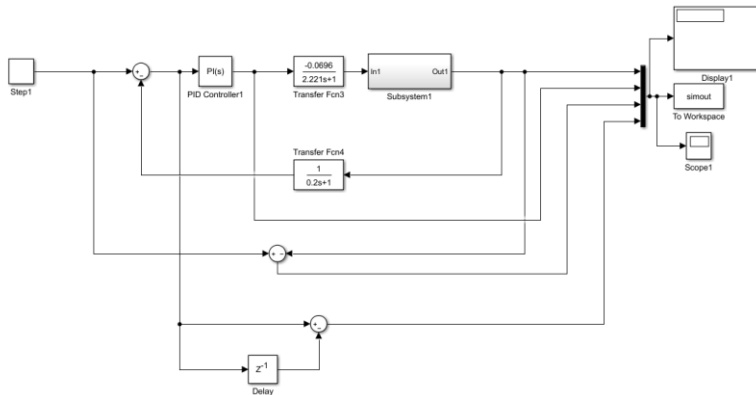


**Gambar 3.3** Respon *Open Loop* Pemodelan

### 3.4 Pengambilan Data Input Pembelajaran ANFIS

Untuk pembelajaran ANFIS, dibuat sistem pengendalian dengan pengendali PI sebagai guru. Pengendali PI tersebut didapatkan dari *auto tuining* MATLAB sehingga didapat nilai P sebesar 0.1666 dan I sebesar 0.004771. Dari sistem pengendalian ini, diambil data yang diperlukan untuk pembelajaran *inverse control*, yaitu data  $e(k) - e(k - 1)$  dan  $x(k) - x(k + 1)$  sebagai data input, dan sinyal kontrol PI sebagai target pembelajaran.

Pemodelan *plant* dibuat menggunakan SIMULINK dan dijalankan selama 1000 detik. Data-data yang diperoleh digunakan untuk pembelajaran ANFIS. Data-data ini terdiri dari 467 pasang data input-output.



**Gambar 3.4** Rancangan SIMULINK untuk Pengambilan Data Pembelajaran ANFIS

### 3.5 Perancangan Pengendali ANFIS

Setelah didapatkan data-data yang diperlukan, dilakukan pembelajaran dan perancangan pengendali ANFIS.

#### 3.5.1 Pembelajaran ANFIS

Pembelajaran ANFIS dilakukan dengan *toolbox Neuro-Fuzzy Designer* pada MATLAB 2016b. *Toolbox* ini dapat membentuk sebuah sistem penalaran *fuzzy* dengan parameter-parameter yang sesuai dengan pembelajaran yang telah dilakukan.

Langkah-langkah pembelajaran dengan *toolbox* tersebut adalah:

1. Memasukkan data *training* yang terdiri dari nilai  $e(k) - e(k - 1)$  dan  $x(k) - x(k + 1)$  sebagai input, dan sinyal kendali PI sebagai output.
2. Memilih tipe dan jumlah fungsi keanggotaan untuk sistem *fuzzy* yang akan dibangkitkan.
3. Memberi jumlah *epoch* pelatihan.
4. Membangkitkan sistem penalaran *fuzzy* dari pelatihan yang telah dilakukan.

Pembelajaran dilakukan untuk variasi fungsi keanggotaan *fuzzy* sebagai berikut:

**Tabel 3.7** Variasi tipe dan jumlah fungsi keanggotaan pengendali *fuzzy*

<b>Tipe Fungsi Keanggotaan</b>	<b>Jumlah Fungsi Keanggotaan</b>
<i>Triangular</i>	3
	5
	7
<i>Trapezoid</i>	3
	5
	7
<i>Bell</i>	3
	5
	7
<i>Gaussian</i>	3
	5
	7

Dari pembelajaran yang dilakukan, didapatkan parameter pelatihan sebagai berikut:



**Tabel 3.8** Parameter pembelajaran ANFIS Fungsi Keanggotaan Segitiga

MF	Simpul	Par. Konsekuen	Par. Premis	Aturan Fuzzy	Learning Error
3	35	27	18	9	$6,7 \times 10^{-4}$
5	75	75	105	25	$1,3 \times 10^{-4}$
7	131	42	189	49	$0,9 \times 10^{-4}$

**Tabel 3.9** Parameter pembelajaran ANFIS Fungsi Keanggotaan Trapesium

MF	Simpul	Par. Konsekuen	Par. Premis	Aturan Fuzzy	Learning Error
3	35	27	24	9	$7,7 \times 10^{-4}$
5	75	75	40	25	$2,0 \times 10^{-4}$
7	131	147	56	49	$1,9 \times 10^{-4}$

**Tabel 3.10** Parameter pembelajaran ANFIS Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

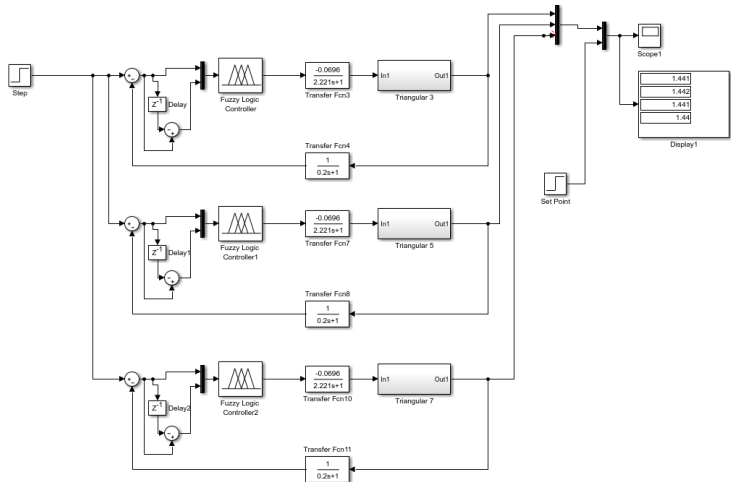
MF	Simpul	Par. Konsekuen	Par. Premis	Aturan Fuzzy	Learning Error
3	35	27	18	9	$1,5 \times 10^{-4}$
5	75	75	105	25	$8,4 \times 10^{-4}$
7	131	42	189	49	$8,6 \times 10^{-4}$

**Tabel 3.11** Parameter pembelajaran ANFIS Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

MF	Simpul	Par. Konsekuen	Par. Premis	Aturan Fuzzy	Learning Error
3	35	27	12	9	$2,3 \times 10^{-4}$
5	75	74	20	25	$9,2 \times 10^{-4}$
7	131	147	28	49	$0,9 \times 10^{-4}$

### 3.5.2 Perancangan Pengendali ANFIS

Setelah diperoleh sistem penalaran *fuzzy* dari pembelajaran ANFIS, dibentuk sebuah sistem pengendalian yang menggunakan sistem *fuzzy* tersebut.



**Gambar 3.5** Perancangan Pengendali ANFIS pada SIMULINK untuk Tiap Tipe Fungsi Keanggotaan

Pada perancangan ini digunakan *set point* sebesar 1.44 m yang merupakan 60% dari tinggi level dasar kolom *Stripper*.

Dari hasil pembelajaran, diperoleh parameter premis dan parameter konsekuen *fuzzy* yang digunakan untuk membuat pengendali *fuzzy*. Sebagai contoh, berikut adalah parameter *fuzzy* hasil pembelajaran dengan 3 fungsi keanggotaan segitiga yang memiliki rumus

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{b-a}{x-a}; & a \leq x \leq b \\ \frac{b-x}{c-b}; & b \leq x \leq c \end{cases} \quad (3.14)$$

**Tabel 3.12** Parameter *fuzzy* 3 fungsi keanggotaan segitiga

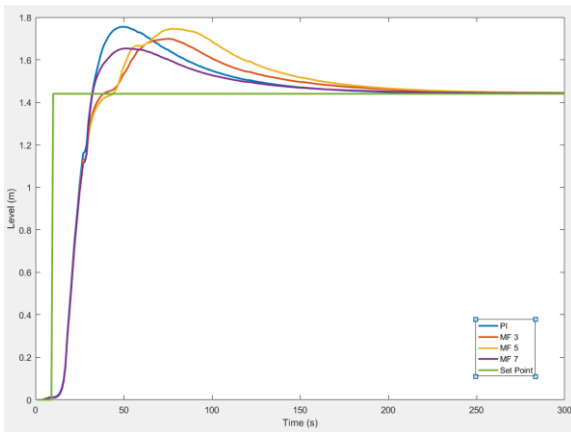
	Parameter Premis		
	a	b	c
Error			
N	-1.196	-0.317	0.5609
Z	-0.317	0.561	1.44
P	0.560	1.44	2.319
Delta Error			
N	-2.857	-1.424	-6.21e-4
Z	-1.425	7.8e-3	1.44
P	2.2e-3	1.44	2.872
	Parameter Konsekuen		
Aturan	p	q	r
1	0.2475	0.2077	0.344
2	-3.99e-3	0.1716	-0.0281
3	0.3655	-0.0689	-0.1897
4	0.08264	0.1226	0.2051
5	0.1056	-0.0520	0.00427
6	0.08312	0.1761	0.1269
7	0.03595	-0.3153	0.2482
8	-0.144	-0.0204	-0.0385
9	-0.1152	0.1844	0.1402

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Sistem Pengendalian

#### 4.1.1 Fungsi Keanggotaan Segitiga

Simulasi sistem dengan SIMULINK menghasilkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1** Respon Sistem Pengendalian ANFIS dengan Fungsi Keanggotaan Segitiga

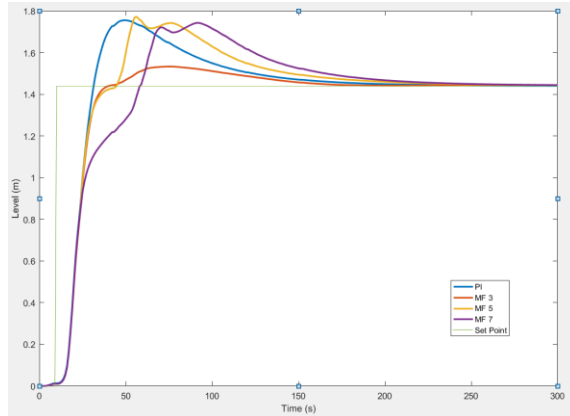
Nilai performansi dari masing-masing variasi jumlah keanggotaan dapat dilihat di tabel berikut.

**Tabel 4.1** Perbandingan nilai performansi respons pada pengendalian PI dan ANFIS Segitiga

Type Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	21,892%	13,213 s	163,255 s	0
ANFIS 3 MF	17,849%	14,183 s	191,180 s	0.001
ANFIS 5 MF	21,080%	14,603 s	201,209 s	0.002
ANFIS 7 MF	14,676%	13,386 s	157,229 s	0.001

#### 4.1.2 Fungsi Keanggotaan Trapesium

Simulasi sistem dengan SIMULINK menghasilkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.2** Respon Sistem Pengendalian ANFIS dengan Fungsi Keanggotaan Trapesium

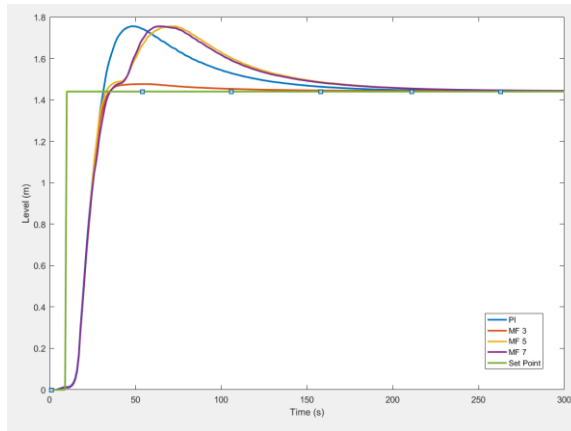
Nilai performansi dari masing-masing variasi jumlah keanggotaan dapat dilihat di tabel berikut.

**Tabel 4.2** Perbandingan nilai performansi pada pengendalian ANFIS Trapesium

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	21,885 %	12,234 s	153,271 s	0
ANFIS 3 MF	6,229 %	13,475 s	133,981 s	0.003
ANFIS 5 MF	22,912 %	13,343 s	177,416 s	0.002
ANFIS 7 MF	20,837 %	34,796 s	194,395 s	0.002

### 4.1.3 Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

Simulasi sistem dengan SIMULINK menghasilkan grafik respon sistem sebagai **Gambar 4.3**.



**Gambar 4.3** Respon Sistem Pengendalian ANFIS dengan Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

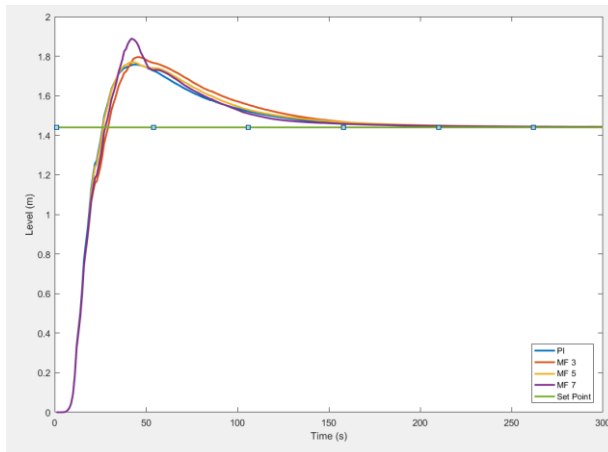
Nilai performansi dari masing-masing variasi jumlah keanggotaan dapat dilihat di tabel berikut.

**Tabel 4.3** Perbandingan nilai performansi pada pengendalian ANFIS *Generalized Bell*

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	21,889 %	12,060 s	149,791 s	0
ANFIS 3 MF	2,358 %	12,645 s	66,790 s	0.002
ANFIS 5 MF	21,704 %	11,954 s	176,091 s	0.002
ANFIS 7 MF	21,720 %	13,837 s	174,291 s	0.002

### 4.1.4 Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Simulasi sistem dengan SIMULINK menghasilkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.4** Respon Sistem Pengendalian ANFIS dengan Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Nilai performansi dari masing-masing variasi jumlah keanggotaan dapat dilihat di tabel berikut.

**Tabel 4.4** Perbandingan nilai performansi pada pengendalian ANFIS *Gaussian*

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	22,047 %	12,946 s	145,752 s	0
ANFIS 3 MF	24,401 %	15,535 s	152,960 s	0.003
ANFIS 5 MF	22,749 %	13,305 s	151,548 s	0.002
ANFIS 7 MF	31,011 %	14,589 s	131,902 s	0.001

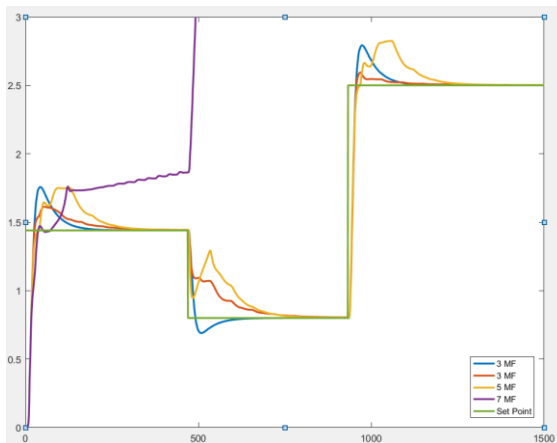
## 4.2 Uji *Tracking*

Uji *tracking* dilakukan untuk melihat kemampuan sistem untuk mengikuti *set point* ketika diberi perubahan pada *set point*. Pada penelitian ini uji *tracking* dilakukan dengan memberi perubahan naik dan turun pada *set point*. Perubahan *set point*

turun menjadi sebesar 0,8 meter dan perubahan naik menjadi sebesar 2,5 meter.

#### 4.2.1 Uji *Tracking* Fungsi Keanggotaan Segitiga

Dengan simulasi menggunakan SIMULINK, didapatkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5** Respon Sistem Uji *Tracking* Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan Segitiga

Nilai performansi pada uji *tracking* fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada tabel berikut.

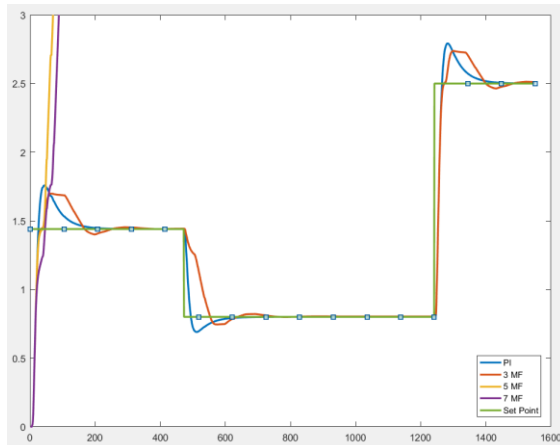
**Tabel 4.5** Perbandingan nilai performansi uji *tracking* pada pengendalian ANFIS Segitiga

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	11,693%	5,987 s	584,420 s	0
ANFIS 3 MF	3,698%	6,118 s	658,912 s	0,001
ANFIS 5 MF	12,869%	6,149 s	659,720 s	0,002
ANFIS 7 MF	-	-	-	-



#### 4.2.2 Uji *Tracking* Fungsi Keanggotaan Trapesium

Dengan simulasi menggunakan SIMULINK, didapatkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.6**.



**Gambar 4.6** Respon Sistem Uji *Tracking* Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan Trapesium

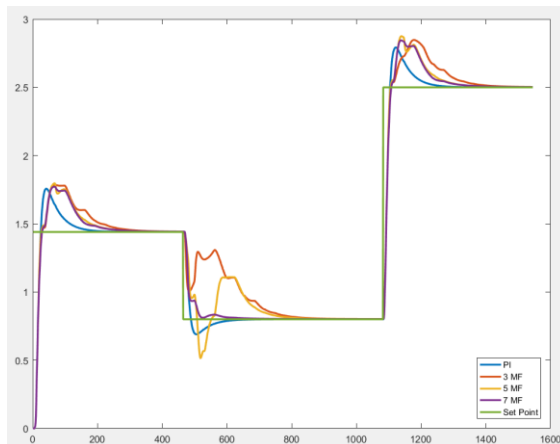
Nilai performansi pada uji *tracking* fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.6** Perbandingan nilai performansi uji *tracking* pada pengendalian ANFIS Trapesium

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	11,675 %	6,606 s	586,287 s	0
ANFIS 3 MF	9,0288 %	6,776 s	616,179 s	0,002
ANFIS 5 MF	-	-	-	-
ANFIS 7 MF	-	-	-	-

#### 4.2.3 Uji *Tracking* Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

Dengan simulasi menggunakan SIMULINK, didapatkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.7**.



**Gambar 4.7** Respon Sistem Uji *Tracking* Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

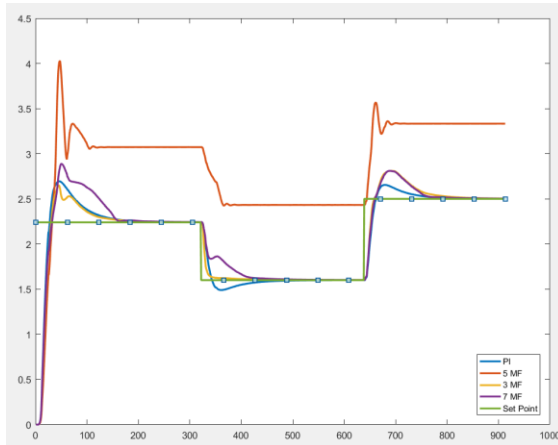
Nilai performansi pada uji *tracking* fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.7** Perbandingan nilai performansi uji *tracking* pada pengendalian ANFIS *Generalized Bell*

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	11,692 %	5,874 s	585,102 s	0
ANFIS 3 MF	13,773 %	6,016 s	656,426 s	0,002
ANFIS 5 MF	14,884 %	5,938 s	622,678 s	0,002
ANFIS 7 MF	13,677 %	5,925 s	605,686 s	0,001

#### 4.2.4 Uji *Tracking* Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Dengan simulasi menggunakan SIMULINK, didapatkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.8**.



**Gambar 4.8** Respon Sistem Uji *Tracking* Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Nilai performansi pada uji *tracking* fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.8** Perbandingan nilai performansi uji *tracking* pada pengendalian ANFIS *Gaussian*

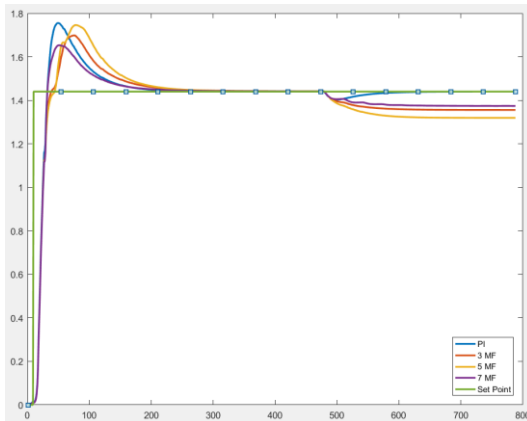
Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	7,760 %	16,154 s	731,681 s	0,001
ANFIS 3 MF	20,919 %	25,751 s	676,463 s	0,83
ANFIS 5 MF	12,237 %	18,857 s	764,973 s	0,004
ANFIS 7 MF	15,371 %	20,673 s	751,764 s	0,003

### 4.3 Uji *Disturbance*

Uji *disturbance* dilakukan untuk melihat kemampuan sistem untuk mengikuti *set point* ketika diberi gangguan pada sistem. Pada penelitian ini uji *disturbance* dilakukan dengan memberi perubahan pada laju aliran massa *feed*.

### 4.3.1 Uji *Disturbance* Fungsi Keanggotaan Segitiga

Dengan simulasi menggunakan SIMULINK, didapatkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4.9** Respon Sistem Uji *Disturbance* Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan Segitiga

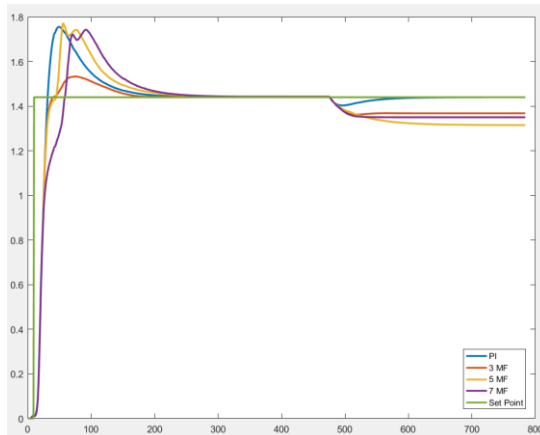
Nilai performansi pada uji *disturbance* fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.9** Perbandingan nilai performansi uji *disturbance* pada pengendalian ANFIS segitiga

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	21,892 %	13,213 s	517,165 s	0
ANFIS 3 MF	25,279 %	12,988 s	519,078 s	0,084
ANFIS 5 MF	32,338 %	12,760 s	542,629 s	0,121
ANFIS 7 MF	20,302 %	12,936 s	515,155 s	0,066

### 4.3.2 Uji *Disturbance* Fungsi Keanggotaan Trapesium

Dengan simulasi menggunakan SIMULINK, didapatkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.10**.



**Gambar 4.10** Respon Sistem Uji *Disturbance* Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan Trapesium

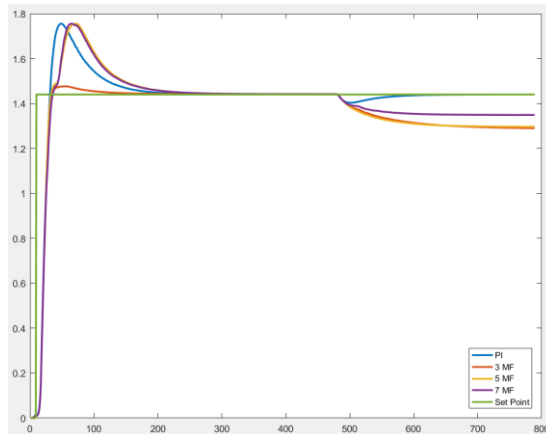
Nilai performansi pada uji *disturbance* fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.10** Perbandingan nilai performansi uji *disturbance* pada pengendalian ANFIS trapesium

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	21,887 %	12,234 s	513,272 s	0
ANFIS 3 MF	12,052 %	12,061 s	489,429 s	0,072
ANFIS 5 MF	34,757 %	10,926 s	546,568 s	0,125
ANFIS 7 MF	29,052 %	25,116 s	497,445 s	0,09

### 4.3.3 Uji *Disturbance* Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

Dengan simulasi menggunakan SIMULINK, didapatkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.11**.



**Gambar 4.11** Respon Sistem Uji *Disturbance* Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

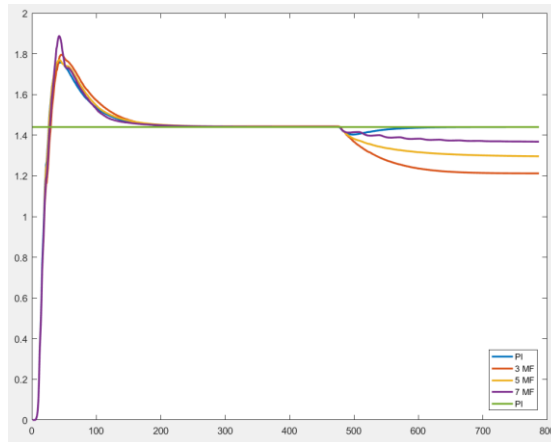
Nilai performansi pada uji *disturbance* fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.11** Perbandingan nilai performansi uji *disturbance* pada pengendalian ANFIS *generalized bell*

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	21,892 %	12,059 s	518,209 s	0
ANFIS 3 MF	14,420 %	10,754 s	595,085 s	0,15
ANFIS 5 MF	35,379 %	10,344 s	565,279 s	0,144
ANFIS 7 MF	30,096 %	12,251 s	524,122 s	0,091

#### 4.3.4 Uji *Disturbance* Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Dengan simulasi menggunakan SIMULINK, didapatkan grafik respon sistem seperti pada **Gambar 4.12**.



**Gambar 4.12** Respon Sistem Uji *Disturbance* Pengendalian ANFIS Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Nilai performansi pada uji *disturbance* fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.12** Perbandingan nilai performansi uji *disturbance* pada pengendalian ANFIS *gaussian*

Tipe Pengendalian	Maksimum Overshoot	Rise Time	Settling Time	Error Steady State
PI	22,050 %	12,946 s	515,188 s	0
ANFIS 3 MF	48,153 %	10,233 s	600,108 s	0,212
ANFIS 5 MF	36,553 %	10,443 s	581,397 s	0,144
ANFIS 7 MF	38,062 %	13,233 s	544,713 s	0,072

#### 4.4 Pembahasan

Dari hasil respon sistem yang telah dilakukan, dapat dijabarkan sebagai berikut.

##### 4.4.1 Pengendali ANFIS Fungsi Keanggotaan Segitiga

Dari **Tabel 4.1** diperoleh bahwa performansi pengendali ANFIS dengan 7 fungsi keanggotaan segitiga lebih baik

dibandingkan dengan pengendali PI jika ditinjau dari nilai *maximum overshoot* dan *settling time* dengan nilai masing-masing 14,676% dan 157,229 s. Sedangkan untuk *rise time*, pengendali PI masih lebih baik daripada pengendali ANFIS segitiga dengan nilai 13,213 s.

Pada uji *tracking*, pengendali ANFIS dengan 7 fungsi keanggotaan segitiga tidak dapat mengikuti perubahan *set point* dan mengalami *overshoot*. Sedangkan pengendali ANFIS segitiga dengan 3 dan 5 fungsi keanggotaan masih dapat mengikuti perubahan *set point*, dimana pengendali dengan 3 fungsi keanggotaan memiliki nilai *maximum overshoot* yang lebih baik daripada pengendali PI dengan nilai 3,698%.

Pada uji *disturbance*, pengendali PI memiliki performansi yang lebih baik daripada pengendali ANFIS segitiga. Dari ketiga pengendali ANFIS segitiga, hanya pengendali 7 fungsi keanggotaan yang memiliki *error steady state* di bawah 5% dengan nilai 0.066.

#### 4.4.2 Pengendali ANFIS Fungsi Keanggotaan Trapesium

Dari **Tabel 4.2** diperoleh bahwa performansi pengendalian ANFIS dengan 3 fungsi keanggotaan trapesium lebih baik dibandingkan pengendalian PI jika ditinjau dari *maximum overshoot* dan *settling time* dengan nilai masing-masing 6,229 % dan 133,981 s. Pada **Gambar 4.2** dapat dilihat kemampuan ANFIS trapesium 3 fungsi keanggotaan dalam mencapai *set point* tanpa mengalami *overshoot* yang tinggi. Sedangkan untuk *rise time*, pengendali PI masih lebih baik dari pengendali ANFIS trapesium dengan nilai 12,234 s.

Pada uji *tracking*, pengendali ANFIS trapesium dengan 5 dan 7 fungsi keanggotaan tidak mampu mengatasi perubahan *set point* dan mengalami *overshoot*. Sedangkan pengendali dengan 3 fungsi keanggotaan masih dapat mengikuti perubahan *set point* dan memiliki nilai *maximum overshoot* yang lebih baik daripada pengendali PI dengan nilai 9,0288%.

Pada uji *disturbance*, pengendali PI memiliki performansi yang lebih baik daripada pengendali ANFIS trapesium. Ketiga



pengendali ANFIS trapesium memiliki nilai *error steady state* di atas 5%.

#### 4.4.3 Pengendali ANFIS Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

Dari **Tabel 4.3** diperoleh bahwa performansi pengendalian ANFIS dengan 3 fungsi keanggotaan *generalized bell* lebih baik dibandingkan pengendalian PI jika ditinjau dari *maximum overshoot* dan *settling time* dengan nilai masing-masing 2,358 % dan 66,790 s. Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan nilai *maximum overshoot* dan *settling time* PI dengan nilai 21,889 % dan 149,791 s. Sedangkan untuk *rise time*, pengendali ANFIS dengan 5 fungsi keanggotaan lebih baik daripada pengendali PI dengan nilai 11,954 s.

Pada uji *tracking*, pengendali ANFIS *generalized bell* dapat mengikuti perubahan *set point*. Akan tetapi, performansi pengendali PI pada uji ini lebih baik. Pada **Gambar 4.3** juga dapat dilihat bahwa respon dari pengendali PI lebih stabil dibandingkan dengan pengendali ANFIS *generalized bell*.

Pada uji *disturbance*, pengendali PI memiliki performansi yang lebih baik daripada pengendali ANFIS *generalized bell*. Ketiga pengendali ANFIS trapesium memiliki nilai *error steady state* di atas 5%.

#### 4.4.4 Pengendali ANFIS Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Dari **Tabel 4.4** diperoleh bahwa performansi pengendali PI lebih baik dibandingkan dengan pengendali ANFIS *Gaussian*, baik jika ditinjau dari *maximum overshoot*, *rise time*, maupun *settling time*. Akan tetapi, seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.4**, performansi pengendali PI dan ketiga pengendali ANFIS *Gaussian* tidak jauh berbeda.

Pada uji *tracking*, pengendali PI juga memiliki performansi yang lebih baik. Pengendali ANFIS *Gaussian* 3 fungsi keanggotaan memiliki *error steady state* yang cukup besar, yaitu 0,83.

Pada uji *disturbance*, pengendali PI memiliki performansi yang lebih baik daripada pengendali ANFIS *Gaussian*. Dari ketiga pengendali ANFIS *Gaussian*, hanya 7 fungsi keanggotaan yang memiliki nilai *error steady state* dibawah 5% dengan nilai 0,072.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan:

1. Telah dilakukan perancangan pengendalian pada dasar kolom distilasi pada *Stripper* 105-E PT. Petrokimia Gresik dengan menggunakan pengendali ANFIS dengan variasi tipe segitiga, trapesium, *generalized bell*, dan *Gaussian*, serta variasi jumlah fungsi keanggotaan sebesar 3, 5, dan 7.
2. Berdasarkan respon sistem, pengendali ANFIS *generalized bell* dengan 3 fungsi keanggotaan memiliki performansi yang lebih baik dibandingkan dengan pengendali PI, dengan nilai *maximum overshoot* sebesar 2,358 % dan *settling time* sebesar 66,790 s.
3. Berdasarkan respon sistem uji *tracking*, pengendali ANFIS segitiga 3 fungsi keanggotaan dan trapesium 3 fungsi keanggotaan memiliki performansi yang lebih baik daripada pengendali PI dengan nilai *maximum overshoot* masing-masing 3,698% dan 9,0288%.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, saran yang diberikan adalah:

1. Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan pengendalian kolom distilasi dengan struktur DV dan dibatasi pada pengendalian level dasar kolom. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan perancangan pengendalian pada *flow* refluks.

*Halaman ini sengaja dikosongkan.*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Skogestad, Sigurd, “*Selecting the Best Distillation Control Configuration*”, *AlChE Journal*, vol. 36, no. 5, pp. 753-764, May 1990.
- [2] Halvorsen, Ivar J. and Skogestad, Sigurd, “Distillation Theory”, in *Encyclopedia of Separation Science: Distillation*, United States of America: Academic Press, 2000.
- [3] Thompson, E. V. and Ceckler W. H., “Chemical-Reaction Equilibria” in *Introduction to Chemical Engineering*, United States of America: McGraw-Hill, 1978.
- [4] AlChE Academy. (2015, Jul.31). *Distillation Basics – How a distillation Column Works* [video]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=M7AL7-44YTc>.
- [5] Elkhatat, Ahmed. (2016, Apr.23). *Continuous Distillation Column 2016 (Updated/Modified)* [video]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=e9Wfz8l2T4E>.
- [6] PT Petrokimia Gresik, “*Prinsip Proses dan Operasi Produksi Ammonia*”, Gresik: PT Petrokimia Gresik.
- [7] Jang, Jyh-Shing R., et al., “*Neuro-Fuzzy and Soft Computing: a Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*”, United States of America: Prentice Hall, 1997.
- [8] Gamayanti, Nurlita and Bilfaqih, Yusuf. *Penyelidikan Operasi Menggunakan Strategi Obyek Pembelajaran* [online]. Available: <http://share.its.ac.id/mod/resource/view.php?id=1945>.
- [9] Sivakumar, Rajendran and Balu, Krishnaswami, “*ANFIS based distillation column control*”, *International Journal of Computer Application (IJCA) Special Issue on "Evolutionary Computation for Optimization Techniques"*, pp. 67-73, Dec 2010.
- [10] Buckley, Page S., et al., “*Design of Distillation Column Control System*”, United States of America: Instrument Society of America, 1985.

- [11] Abadi, Imam, et al., “*Aplikasi Metode Neuro-Fuzzy pada Sistem Pengendalian Antisurge Kompresor*”, Jurnal Teknik Elektro Universitas Kristen Petra, vol. 7, no. 1, pp. 93-104, Mar 2007.







## LAMPIRAN B

**Tabel B-1** Data pengukuran level dasar kolom *Ammonia Stripper* 105-E (dalam %)

<b>Timestamp</b>	<b>LC1027.pv - SnapShot</b>
06/03/2017 7:55	62.99164963
06/03/2017 7:55	62.99164963
06/03/2017 8:00	62.89463425
06/03/2017 8:30	59.64746094
06/03/2017 9:00	61.04908752
06/03/2017 9:30	51.0610199
06/03/2017 10:00	66.61509705
06/03/2017 10:30	63.73062515
06/03/2017 11:00	61.14477158
06/03/2017 11:30	59.80700684
06/03/2017 12:00	58.78565216
06/03/2017 12:30	62.03617096
06/03/2017 13:00	62.14653778
06/03/2017 13:30	62.93424225
06/03/2017 14:00	60.5671196
06/03/2017 14:30	63.65074158
06/03/2017 15:00	61.46163559
06/03/2017 15:30	62.94002533
06/03/2017 16:00	62.56775665
06/03/2017 16:30	62.02570724
06/03/2017 17:00	61.94226456
06/03/2017 17:30	61.91556549
06/03/2017 18:00	63.27513504
06/03/2017 18:30	61.88685989
06/03/2017 19:00	56.34555054
06/03/2017 19:30	62.68435287
06/03/2017 20:00	63.54393387
06/03/2017 20:30	62.02125549

<b>Timestamp</b>	<b>LC1027.pv - SnapShot</b>
06/03/2017 21:00	61.42780685
06/03/2017 21:30	61.80719757
06/03/2017 22:00	62.71305847
06/03/2017 22:30	61.74822998
06/03/2017 23:00	63.60089874
06/03/2017 23:30	64.91952515
07/03/2017 0:00	61.45896149
07/03/2017 0:30	62.27692795
07/03/2017 1:00	61.65410614
07/03/2017 1:30	61.44293594
07/03/2017 2:00	62.57865906
07/03/2017 2:30	61.73132324
07/03/2017 0:30	62.27692795
07/03/2017 1:00	61.65410614
07/03/2017 1:30	61.44293594
07/03/2017 2:00	62.57865906
07/03/2017 2:30	61.73132324
07/03/2017 3:00	62.38618469
07/03/2017 3:30	62.3303299
07/03/2017 4:00	62.18836975
07/03/2017 4:30	62.13541031
07/03/2017 5:00	62.65119934
07/03/2017 5:30	62.62983704
07/03/2017 6:00	61.81209183
07/03/2017 6:30	61.71374512
07/03/2017 7:00	62.28916931
07/03/2017 7:30	62.19304276
07/03/2017 8:00	62.50945663
07/03/2017 8:30	61.4834404
07/03/2017 9:00	62.38707352
07/03/2017 9:30	61.08290482
07/03/2017 10:00	62.99253845
07/03/2017 10:30	61.47386932

<b>Timestamp</b>	<b>LC1027.pv - SnapShot</b>
07/03/2017 11:00	62.92645264
07/03/2017 11:30	62.48141861
07/03/2017 12:00	55.60123444
07/03/2017 12:30	61.28739548
07/03/2017 13:00	57.05937958
07/03/2017 13:30	60.21042633
07/03/2017 14:00	56.82484818
07/03/2017 14:30	57.00841904
07/03/2017 15:00	59.97055435
07/03/2017 15:30	61.67190552
07/03/2017 16:00	62.04751587
07/03/2017 16:30	62.565979
07/03/2017 17:00	62.36126709
07/03/2017 17:30	62.61359406
07/03/2017 18:00	61.76892471
07/03/2017 18:30	62.15499115
07/03/2017 19:00	61.53261566
07/03/2017 19:30	61.52148819
07/03/2017 20:00	62.21240234
07/03/2017 20:30	62.59980392
07/03/2017 21:00	62.79205704
07/03/2017 21:30	61.58045959
07/03/2017 22:00	61.3984375
07/03/2017 22:30	61.5969162
07/03/2017 23:00	61.71240997
07/03/2017 23:30	62.49811172
08/03/2017 0:00	62.48765182
08/03/2017 0:30	59.03131485
08/03/2017 1:00	62.35192108
08/03/2017 1:30	62.34568405
08/03/2017 2:00	61.34591675
08/03/2017 2:30	60.91602325
08/03/2017 3:00	62.69169617

<b>Timestamp</b>	<b>LC1027.pv - SnapShot</b>
08/03/2017 3:30	61.77960587
08/03/2017 4:00	62.16744995
08/03/2017 4:30	62.26557922
08/03/2017 5:00	62.38039017
08/03/2017 5:30	62.74377441
08/03/2017 6:00	61.73265076
08/03/2017 6:30	62.62872314
08/03/2017 7:00	61.31254578
08/03/2017 7:30	61.1603508
08/03/2017 8:00	61.12585831
08/03/2017 8:30	61.06711197
08/03/2017 9:00	61.15945053
08/03/2017 9:30	61.77448654
08/03/2017 10:00	62.64207458
08/03/2017 10:30	62.36593628
08/03/2017 11:00	62.61760712
08/03/2017 11:30	63.03659439
08/03/2017 12:00	60.5566597
08/03/2017 12:30	61.65010071
08/03/2017 13:00	62.97162247
08/03/2017 13:30	61.43938065
08/03/2017 14:00	61.76625443
08/03/2017 14:30	62.7061615
08/03/2017 15:00	60.69261551
08/03/2017 15:30	63.0110054
08/03/2017 16:00	61.21708298
08/03/2017 16:30	63.32386398
08/03/2017 17:00	63.41420746
08/03/2017 17:30	62.47296906
08/03/2017 18:00	61.162117
08/03/2017 18:30	60.47744751
08/03/2017 19:00	60.47677612
08/03/2017 19:30	60.70351791

<b>Timestamp</b>	<b>LC1027.pv - SnapShot</b>
08/03/2017 20:00	62.36282349
08/03/2017 20:30	60.05088043
08/03/2017 21:00	61.34547424
08/03/2017 21:30	62.97473526
08/03/2017 22:00	62.96272659
08/03/2017 22:30	62.00590515
08/03/2017 23:00	61.26981735
08/03/2017 23:30	61.29985809
09/03/2017 0:00	61.55508423
09/03/2017 0:30	61.5579834
09/03/2017 1:00	62.19259262
09/03/2017 1:30	62.46117401
09/03/2017 2:00	63.18234253
09/03/2017 2:30	61.17502975
09/03/2017 3:00	60.63253784
09/03/2017 3:30	61.27761078
09/03/2017 4:00	61.82010269
09/03/2017 4:30	62.70794678
09/03/2017 5:00	62.64764023
09/03/2017 5:30	62.8094101
09/03/2017 6:00	62.7577858
09/03/2017 6:30	62.87683105
09/03/2017 7:00	61.79629517
09/03/2017 7:30	62.02615738
09/03/2017 7:55	61.21463776

## LAMPIRAN C

**Tabel C-1** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga 3 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis		
	a	b	c
Error			
N	-1.196	-0.317	0.5609
Z	-0.317	0.561	1.44
P	0.560	1.44	2.319
Delta Error			
N	-2.857	-1.424	-6.21e-4
Z	-1.425	7.8e-3	1.44
P	2.2e-3	1.44	2.872

**Tabel C-2** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga 3 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	0.2475	0.2077	0.344
2	-3.99e-3	0.1716	-0.0281
3	0.3655	-0.0689	-0.1897
4	0.08264	0.1226	0.2051
5	0.1056	-0.0520	0.00427
6	0.08312	0.1761	0.1269
7	0.03595	-0.3153	0.2482
8	-0.144	-0.0204	-0.0385
9	-0.1152	0.1844	0.1402

**Tabel C-3** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga 5 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis		
	a	b	c
<b>Error</b>			
NB	-0.7568	-0.3183	0.1229
NS	-0.3239	0.121	0.5615
ZE	0.1211	0.5613	1.001
PS	0.5611	1.001	1.441
PB	1	1.44	1.879
<b>Delta Error</b>			
NB	-2.141	-1.424	-0.7013
NS	-1.425	-0.7083	0.01318
ZE	-0.7017	0.01095	0.7239
PS	-0.01151	0.7237	1.438
PB	0.7238	1.44	2.156

**Tabel C-4** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga 5 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	0.06516	0.2615	0.4166
2	0.1513	-0.03407	-0.126
3	-0.004971	-0.4076	-0.03289
4	-0.08795	-0.2388	0.213
5	0	0	0
6	-0.2103	0.1773	0.2969
7	-0.03704	-0.1273	0.0141
8	0.01364	-0.2688	-0.01507
9	0.04594	-0.1404	0.2207
10	0	0	0
11	0.04443	-0.008591	0.03759
12	0.004151	-0.09347	0.06855



Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
13	0	0	0
14	0.08902	0.09054	0.04626
15	0.1241	0.1282	0.1288
16	0.01735	-0.02542	0.03033
17	0.05095	-0.08608	0.09713
18	0	0	0
19	0.03504	0.04034	0.0475
20	0.1155	0.09955	0.07307
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	-0.002345	-0.009757	0.03326
25	-0.008162	0.1332	0.05973

**Tabel C-5** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga 7 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis		
	a	b	c
<b>Error</b>			
NB	-0.6103	-0.3206	-0.02169
NM	-0.3082	-0.02797	0.2685
NS	-0.02659	0.268	0.5614
ZE	0.2685	0.5611	0.8542
PS	0.5612	0.8542	1.146
PM	0.8541	1.147	1.441
PB	1.148	1.44	1.733
<b>Delta Error</b>			
NB	-1.902	-1.425	-0.9463
NM	-1.425	-0.9467	-0.4697
NS	-0.9481	-0.47	-0.004048
ZE	-0.4674	0.005195	0.4855

	Parameter Premis		
	a	b	c
Error			
PS	-0.03012	0.4847	0.9628
PM	0.4851	0.9626	1.442
PB	0.9622	1.44	1.917

**Tabel C-6** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga 7 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	-0.005979	-0.02235	0.02323
2	0.009918	0.03381	0.01309
3	0.5106	0.04378	0.1196
4	0.03154	-0.2859	-0.02651
5	0.008491	-0.2808	0.1174
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0.009221	-0.01532	0.0203
9	-0.01665	-0.04095	0.02326
10	0.4424	0.03996	0.06613
11	0.03257	0.01546	-0.01636
12	0.133	0.1346	-0.02259
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0.02812	-0.02262	0.03627
16	0.00971	-0.05578	0.03569
17	0.01422	-0.01111	0.006932
18	0.2353	0.1175	-0.02593
19	0.01955	0.004545	0.1948
20	0	0	0
21	0	0	0
22	-0.006915	-0.06423	0.04021

Aturan	Parameter Konsekuen		
	a	b	c
23	0.05258	-0.04373	0.0684
24	0.04486	-0.04643	0.06476
25	0	0	0
26	0.02981	0.03101	0.03766
27	0.07235	0.07525	0.0914
28	0	0	0
29	0	0	0
30	0.06294	-0.05999	0.08727
31	0.06361	-0.06587	0.09191
32	0	0	0
33	0.03781	0.03968	0.05916
34	0.09025	0.09106	0.03681
35	0.1275	0.132	0.1384
36	0	0	0
37	0	0	0
38	0	0	0
39	0	0	0
40	-0.01516	-0.01569	-0.01675
41	0.03991	0.03984	0.03913
42	0.1062	0.107	0.07055
43	0	0	0
44	0	0	0
45	0	0	0
46	0	0	0
47	0	0	0
48	-0.01404	-0.006114	0.04184
49	0.0284	0.1089	0.04318

**Tabel C-7** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium 3 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis			
	a	b	c	d
Error				
N	-0.932	-0.581	-0.057	0.2916
Z	-0.061	0.2931	0.824	1.175
P	0.824	1.176	1.704	2.055
Delta Error				
N	-2.427	-1.854	-0.966	-0.4065
Z	-0.981	-0.3939	0.437	1.01
P	0.4373	1.01	1.87	2.443

**Tabel C-8** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium 3 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	0.2279	0.01865	0.07189
2	0.03818	-0.03333	-0.01554
3	0	0	0
4	-0.06156	0.245	0.3829
5	0.2286	-0.001347	-0.02029
6	0.06955	0.05143	0.07356
7	0	0	0
8	0.04654	0.04818	0.05143
9	-0.4055	0.5436	0.04112

**Tabel C-9** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium 5 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis			
	a	b	c	d
Error				
NB	-0.625	-0.4492	-0.1861	-0.004926
NS	-0.2038	-0.01035	0.2537	0.4294
ZE	0.2537	0.4295	0.6931	0.8688
PS	0.6931	0.8688	1.132	1.308
PB	1.132	1.308	1.572	1.748
Delta Error				
NB	-1.926	-1.639	-1.21	-0.9007
NS	-1.21	-0.9231	-0.4926	-0.2063
ZE	-0.4927	-0.2061	0.2226	0.509
PS	0.2226	0.509	0.9387	1.225
PB	0.9387	1.225	1.655	1.941

**Tabel C-10** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium 5 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	0.3278	0.07673	0.3796
2	1.021	0.1412	0.3434
3	0.03457	-0.02707	-0.01659
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0.1376	0.02823	0.08484
7	0.85	0.3557	0.2966
8	0.05591	0.03125	-0.01643
9	0	0	0

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
10	0	0	0
11	0.3633	0.2065	0.1147
12	0.1425	0.0003204	0.05437
13	0	0	0
14	0.05665	0.05892	0.07157
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0.06117	0.06288	0.0689
20	0.05641	0.0606	0.07965
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	0	0	0
25	-0.4105	0.5498	0.03935

**Tabel C-11** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium 7 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis			
	a	b	c	d
<b>Error</b>				
NB	-0.5225	-0.4053	-0.2457	-0.1187
NM	-0.2602	-0.1278	0.06338	0.1809
NS	0.0633	0.1805	0.3562	0.4734
ZE	0.3562	0.4734	0.6494	0.7664
PS	0.6498	0.7665	0.9421	1.059
NM	0.9421	1.059	1.235	1.354
PB	1.236	1.352	1.528	1.645
<b>Delta Error</b>				
NB	-1.759	-1.568	-1.281	-1.09

	Parameter Premis			
	a	b	c	d
Error				
NM	-1.282	-1.09	-0.804	-0.6129
NS	-0.8036	-0.613	-0.3542	-0.1482
ZE	-0.3244	-0.1666	0.1509	0.3419
PS	0.1509	0.3419	0.6284	0.8193
PM	0.6284	0.8193	1.106	1.296
PB	1.106	1.297	1.583	1.774

**Tabel C-12** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium 7 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	0	0	0
2	0.1229	0.07764	0.1026
3	0.2791	0.1632	0.1197
4	0.03281	-0.02688	-0.01709
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0.1413	0.02692	0.08289
9	0.1844	-0.003291	0.04277
10	0.1104	0.05729	0.08389
11	0.04725	0.006483	-0.01642
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0.1342	0.02497	0.08087
16	0.131	0.02176	0.07863
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0	0	0

	Parameter Konsekuen		
Aturan	p	q	r
20	0	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0.1296	0.02047	0.07829
24	0.06873	-0.07385	0.1012
25	0	0	0
26	0	0	0
27	0	0	0
28	0	0	0
30	0.0367	-0.03943	0.05403
31	0.02325 -	0.02498	0.03423
32	0	0	0
33	0	0	0
34	0.06938	0.07077	0.05407
35	0	0	0
36	0	0	0
37	0	0	0
38	0	0	0
39	0	0	0
40	0	0	0
41	0.0553	0.05752	0.08141
42	0.02797	0.0421	0.1404
43	0	0	0
44	0	0	0
45	0	0	0
46	0	0	0
47	0	0	0
48	0.04059	0.04142	0.03255
49	-0.4045	0.5407	0.04384



**Tabel C-13** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *generalized bell* 3 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis		
	a	b	c
Error			
N	0.4565	1.997	-0.323
Z	0.5128	2.008	0.4341
P	0.4624	2.004	1.407
Delta Error			
N	0.6772	2.022	-1.403
Z	0.2892	2.074	-0.07696
P	1.043	1.93	1.244

**Tabel C-14** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *generalized bell* 3 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	0.202	-0.01519	0.07178
2	0.02061	-0.3211	0.08636
3	-0.1002	1.538	-0.4197
4	-0.2812	0.3771	0.6019
5	-0.03372	0.166	-0.03459
6	0.01181	0.1237	0.03403
7	0.4511	-0.09597	0.3928
8	0.2544	-0.2249	0.2515
9	-0.4226	0.5673	0.02376

**Tabel C-15** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *generalized bell* 5 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis		
	a	b	c
Error			
NB	0.02267	2.002	-0.389

	Parameter Premis		
	a	b	c
Error			
NS	0.2896	2.005	0.02693
ZE	0.2717	1.996	0.5308
PS	0.2312	2.002	1.031
PB	0.2099	2	1.454
Delta Error			
NB	0.3549	2.002	-1.42
NS	0.3255	2.007	-0.6874
ZE	0.1454	2.02	0.04072
PS	0.4278	1.994	0.6679
PB	0.3451	2.001	1.446

**Tabel C-16** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *generalized bell* 5 fungsi keanggotaan

	Parameter Konsekuen		
Aturan	p	q	r
1	0.001725	0.0005563	-0.004684
2	0.09942	0.09912	-0.2775
3	-0.05649	0.02961	0.1822
4	-0.008311	0.01079	0.03016
5	1.94e-05	0.0003766	4.216e-05
6	0.1992 -	0.02734	0.005468
7	0.1875	-0.01789	0.03209
8	0.02425	0.007126	-0.03029
9	0.1097	-0.2406	0.04235
10	0.0053	0.0002808	0.01781
11	0.1533	0.03099	0.07695
12	0.1687	-0.01078	0.02777
13	-0.1121	0.1366	0.00125
14	0.02146	0.04146	0.1318
15	0.03424	0.04082	0.03156

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
16	0.002158	-0.002144	0.002385
17	0.06526	-0.05898	0.08136
18	-0.008662	0.005215	0.01477
19	0.09632	0.1023	0.01406
20	0.07502	0.1269	-0.01064
21	-9.333e-05	-0.0001295	6.139e-05
22	0.002116	-0.0008942	0.001003
23	-0.00209	0.001053	0.004114
24	-0.08001	-0.01148	-0.01441
25	-0.4184	0.4155	0.275

**Tabel C-17** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *generalized bell 7* fungsi keanggotaan

	Parameter Premis		
	a	b	c
<b>Error</b>			
NB	0.03958	1.999	-0.4222
NM	0.1995	2.002	-0.0942
NS	0.1805	1.999	0.2447
ZE	0.1483	2	0.5569
PS	0.1451	2	0.8526
PM	0.1538	2	1.152
PB	0.1499	2	1.44
<b>Delta Error</b>			
NB	0.2404	2	-1.424
NM	0.2355	2	-0.9506
NS	0.24	2.003	-0.4507
ZE	0.2244	1.999	0.04459
PS	0.2683	1.999	0.4637
PM	0.2331	2	0.9595

	Parameter Premis		
	a	b	c
Error			
PB	0.2362	2	1.441

**Tabel C-18** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *generalized bell 7* fungsi keanggotaan

	Parameter Konsekuen		
Aturan	p	q	r
1	0.002026	0.006947	-0.00735
2	0.02651	0.08807	-0.09278
3	0.07992	0.08253	-0.1963
4	-0.06019	0.01432	0.146
5	-0.009197	0.003431	0.02911
6	-0.0001948	0.0001535	0.0005824
7	-2.724e-05	4.213e-05	7.967e-05
8	0.234	-0.04667	-0.01933
9	0.1015	0.08762	0.1107
10	0.2395	0.04192	0.07878
11	0.03194	0.03704	-0.02104
12	0.04685	-0.01852	-0.03504
13	0.001546	-0.0003199	0.003507
14	0.0006875	0.0005485	0.001367
15	0.1341	0.01964	0.07549
16	0.174	-0.05688	-0.01891
17	0.02448	-0.06336	-0.008347
18	0.1651	0.1994	-0.03453
19	0.0156	0.009351	0.0992
20	0.004194	0.00416	0.006823
21	0.001521	0.001842	0.001508
22	0.006231	-0.02767	0.02343
23	0.07852	-0.02149	0.06423
24	0.07767	-0.08391	0.1131

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
25	-0.001795	0.004263	0.002627
26	0.01455	0.01536	0.02283
27	0.04828	0.05018	0.06246
28	0.003505	0.004063	0.003251
29	0.001742	-0.002926	0.003191
30	0.05737	-0.06358	0.08436
31	0.02483	-0.02775	0.03734
32	0.0008252	0.001853	0.004157
33	0.06228	0.06489	0.08675
34	0.05496	0.05752	0.08705
35	0.02396	0.02669	0.01964
36	0.0001718	-0.0003849	0.0003169
37	0.002642	-0.001587	0.002306
38	0.000866	-0.001219	0.001362
39	-0.0005158	0.0003689	0.001065
40	0.003258	0.003816	0.005976
41	0.04888	0.05592	0.1148
42	0.09604	0.1277	-0.03626
43	3.298e-05	-6.983e-05	7.831e-05
44	0.0004388	0.0001334	1.364e-06
45	6.804e-06	-0.0001213	0.0002397
46	-0.0004924	0.0003597	0.0005883
47	-0.003132	0.001164	0.0009273
48	-0.04801	-0.01015	-0.00949
49	-0.3835	0.383	0.2572

**Tabel C-19** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *gaussian* 3 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis	
	a	b
Error		
N	0.08219	-0.5247
Z	0.4246	0.4598
P	0.4175	1.404
Delta Error		
N	0.5416	-1.431
Z	0.624	-0.043
P	0.7363	1.29

**Tabel C-20** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *gaussian* 3 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	0.3716	-0.4675	0.1448
2	-0.7837	0.5143	-0.2617
3	-0.317	-0.05138	-0.0603
4	0.2516	-0.1509	-0.198
5	-0.009376	-0.3594	-0.1524
6	0.2391	-0.2225	0.6437
7	-0.2878	-0.1032	-0.2195
8	0.05381	-1.476	-0.3267
9	-0.2442	0.007418	0.7135

**Tabel C-21** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *gaussian* 5 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis	
	a	b
Error		
NB	0.07587	-0.537

	Parameter Premis	
	a	b
Error		
NS	0.1903	-0.03855
ZE	0.2538	0.5239
PS	0.2342	1.025
PB	0.2257	1.424
Delta Error		
NB	0.3122	-1.416
NS	0.2653	-0.6853
ZE	0.1072	0.0161
PS	0.3566	0.6611
PB	0.29	1.456

**Tabel C-22** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *gaussian* 5 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	0.003322	0.01124	-0.01276
2	0.07773	0.08739	-0.2094
3	-0.04458	0.05794	0.1264
4	-0.02351	0.01582	0.07945
5	-1.475e-06	3.842e-07	5.403e-06
6	0.1953	-0.02706	0.005428
7	0.1676	-0.01689	0.03187
8	0.04131	0.02547	-0.022
9	-0.005078	-0.1759	-0.01066
10	-1.533e-05	2.315e-05	6.851e-05
11	0.1186	0.01487	0.06817
12	0.1203	-0.02034	0.04821
13	-0.04849	0.235	-0.019
14	0.011	0.03917	0.1125
15	0.01241	0.0132	0.01211

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
16	0.004608	-0.005418	0.007109
17	0.06106	-0.06901	0.09231
18	7.69e-07	0.0002187	-0.0002642
19	0.06801	0.07698	0.08042
20	0.1258	0.1895	0.06321
21	7.077e-05	-7.906e-05	0.0001063
22	0.0007808	-0.000802	0.001123
23	1.651e-09	8.204e-09	-3.48e-10
24	-0.2052	-0.1741	-0.1434
25	-0.1776	0.2567	0.1534

**Tabel C-23** Parameter premis pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *gaussian* 7 fungsi keanggotaan

	Parameter Premis	
	a	b
Error		
NB	0.1378	-0.458
NM	0.0783	-0.2436
NS	0.09061	0.2757
ZE	0.126	0.5584
PS	0.1357	0.8523
PM	0.1693	1.173
PB	0.155	1.427
Delta Error		
NB	0.2116	-1.419
NM	0.2134	-0.9434
NS	0.1635	-0.4317
ZE	0.1835	-0.03313
PS	0.2375	0.4101
PM	0.2324	0.9951
PB	0.1871	1.472



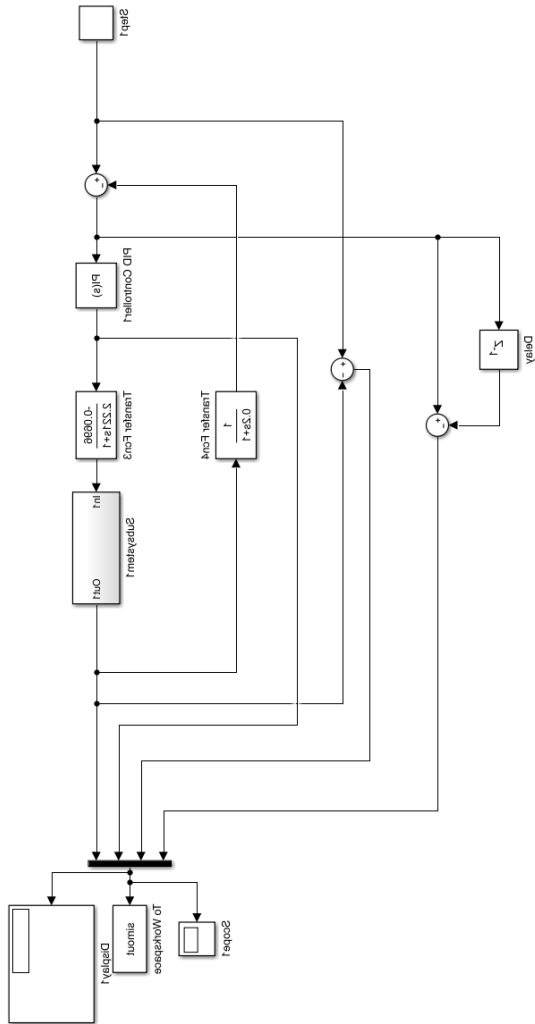
**Tabel C-24** Parameter konsekuen pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *gaussian* 7 fungsi keanggotaan

Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
1	-0.03048	-0.02957	0.0287
2	-0.004022	0.0223	-0.03999
3	0.09319	0.004379	-0.0782
4	-0.08095	-0.1109	-0.01885
5	0.09832	0.001873	-0.04225
6	0.0001447	-4.176e-05	-0.0001616
7	9.003e-13	-1.583e-13	-1.781e-12
8	0.02509	-0.03823	-0.01715
9	0.08737	0.05329	0.0856
10	0.2624	-0.01894	0.1422
11	0.1059	0.1832	-0.008962
12	-0.07679	-0.07327	-0.05669
13	0.0005743	-0.000196	-0.001265
14	3.442e-12	4.183e-13	-3.295e-13
15	0.1271	0.02538	0.08122
16	0.08505	0.06027	0.1381
17	-0.003339	-0.007427	-0.02582
18	0.09638	0.05823	-0.04017
19	0.02197	0.0122	0.09476
20	.034e-06	5.572e-06	0.0001058
21	1.548e-10	1.61e-10	1.958e-10
22	0.0006256	-0.01284	0.009508
23	0.07739	-0.0203	0.07034
24	0.0324	-0.02948	0.0438
25	0.0007357	0.0001695	0.001836
26	0.02476	0.02571	0.03255
27	0.06573	0.06848	0.0872
28	-8.861e-06	-8.603e-06	1.275e-05
29	0.0005012	-0.0005049	0.0007142

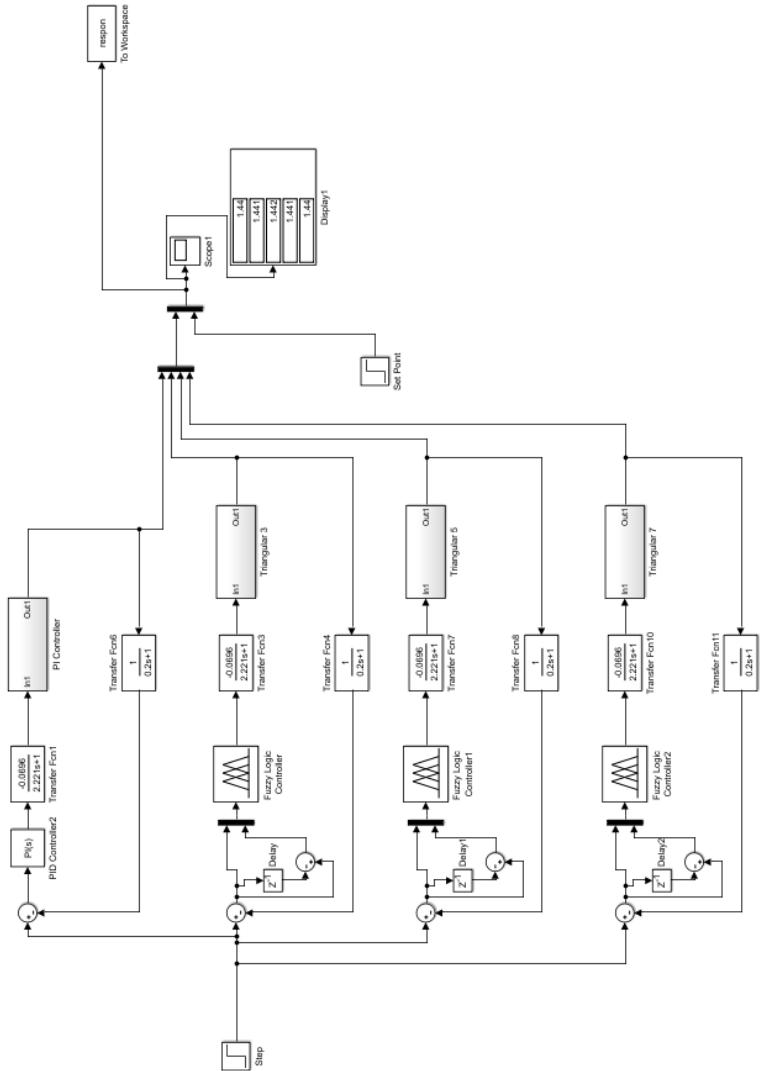
Aturan	Parameter Konsekuen		
	p	q	r
30	0.079	-0.07523	0.1095
31	0.04142	-0.04227	0.05941
32	0.0001884	-0.0001762	0.0002729
33	0.05304	0.05544	0.07681
34	0.06366	0.06552	0.0663
35	0.004567	0.004763	0.005865
36	1.89e-05	-1.859e-05	2.661e-05
37	0.003406	-0.003332	0.004783
38	0.001428	-0.001495	0.002075
39	6.546e-06	-5.488e-06	9.491e-06
40	0.003897	0.004031	0.004264
41	0.06579	0.07201	0.07668
42	0.1375	0.1628	0.09903
43	1.915e-08	-1.9e-08	2.708e-08
44	2.806e-06	-2.918e-06	4.063e-06
45	9.561e-07	-1.02e-06	1.403e-06
46	4.276e-09	-3.516e-09	6.364e-09
47	-2.423e-05	-1.487e-05	1.956e-05
48	-0.1083	-0.09368	-0.07077
49	0.007206	0.1219	0.06547

## LAMPIRAN D

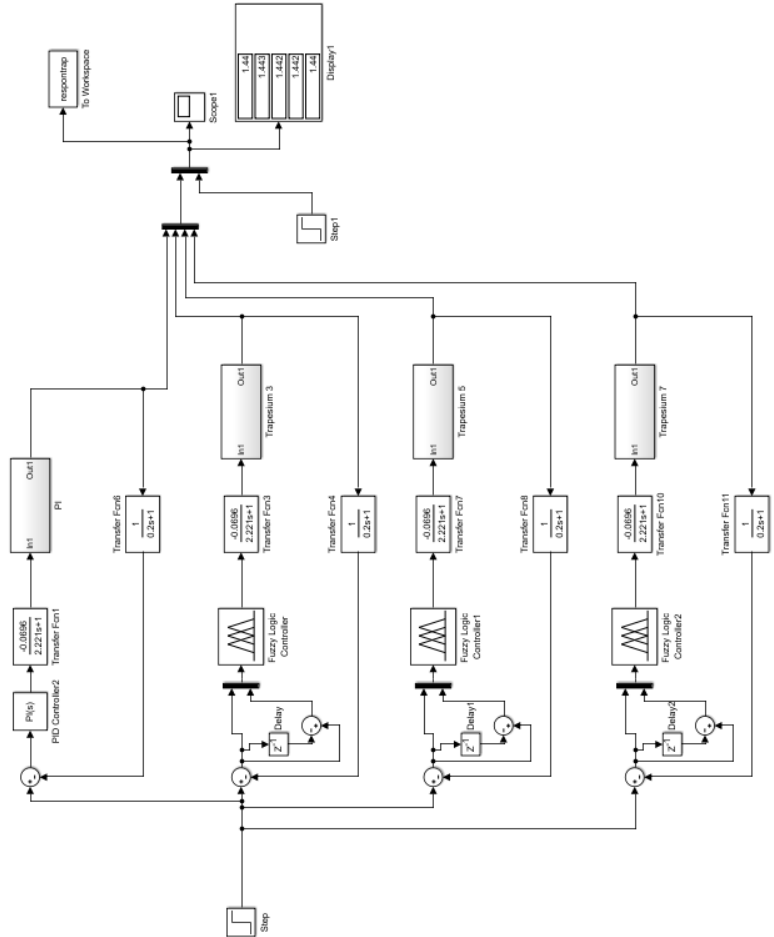
**Gambar D-1** Skema pengambilan data input pembelajaran ANFIS pada SIMULINK



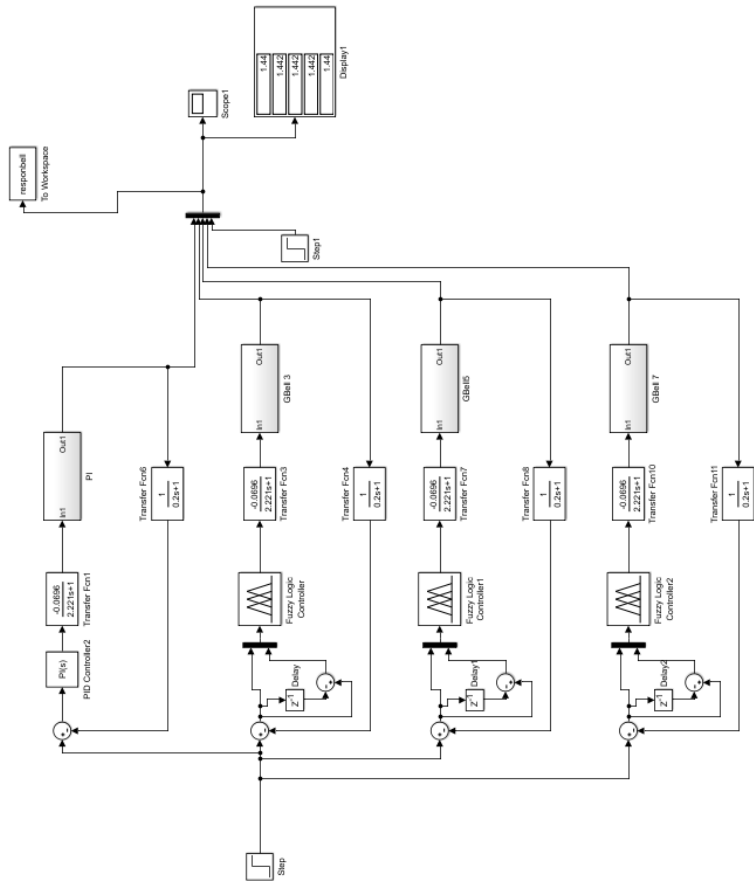
**Gambar D-2** Skema pengendali ANFIS fungsi keanggotaan segitiga



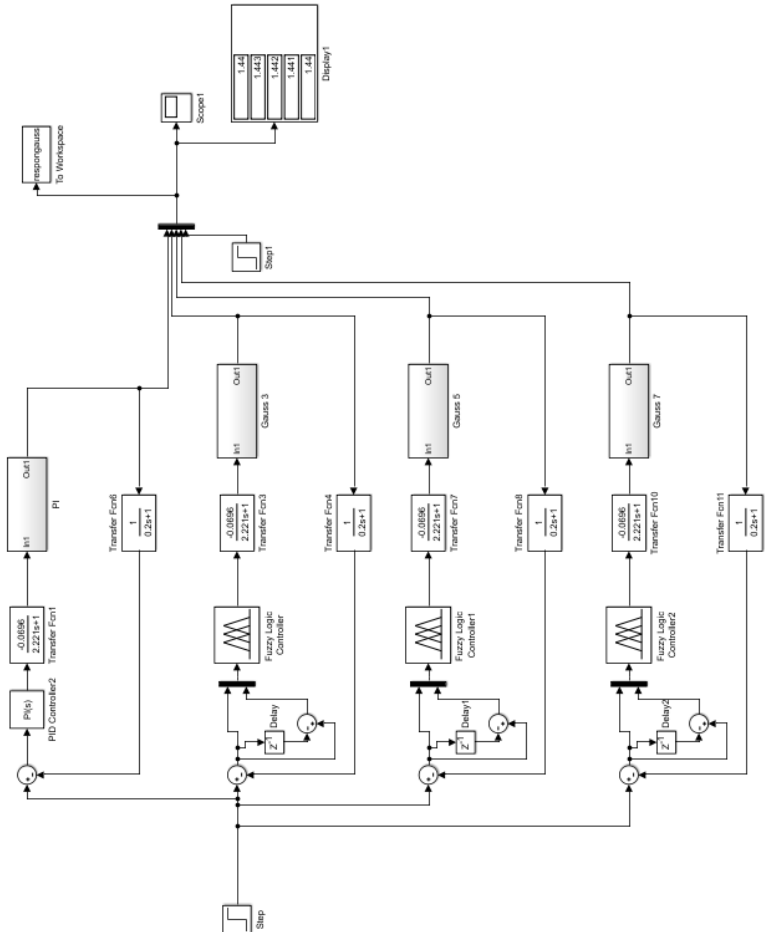
**Gambar D-3** Skema pengendali ANFIS fungsi keanggotaan trapesium



**Gambar D-4** Skema pengendali ANFIS fungsi keanggotaan *generalized bell*



**Gambar D-5** Skema pengendali ANFIS fungsi keanggotaan gaussian



## BIODATA PENULIS



Nama penulis Prihatsiwi Hayuningsih dilahirkan di Bontang, tanggal 17 November 1994 dari bapak yang bernama Wahyoko W. S. dan ibu bernama Siti Fatimah. Saat ini penulis tinggal di Kaliduren RT 001/RW 005 Kelurahan Candirejo, Kecamatan Borobudur, Kabupaten Magelang. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 3 Candirejo pada tahun 2007, pendidikan di SMP Negeri 1 Borobudur pada tahun 2010, pendidikan di SMA Negeri 1 Muntilan pada tahun 2013 dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang.

Pada bulan Juli 2017 penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Perancangan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk Pengendalian Level Kolom Distilasi**. Bagi pembaca yang memiliki kritik, saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini, maka dapat menghubungi penulis melalui *email* : [hprihatsiwi@gmail.com](mailto:hprihatsiwi@gmail.com)