

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**SIMULASI PENGENDALI TEMPERATUR AUTOCLAVE  
MENGUNAKAN METODE ANFIS  
DI PT OTSUKA INDONESIA**

**SKRIPSI**

*Disusun Oleh :*  
**ANDHIKA BAGUS**  
**NIM. 01.12.040**

**SEPTEMBER 2006**

---

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**SIMULASI PENGENDALI TEMPERATUR AUTOCLAVE  
MENGUNAKAN METODE ANFIS  
DI PT OTSUKA INDONESIA**

**SKRIPSI**

*Disusun Oleh :*

**ANDHIKA BAGUS  
NIM. 01.12.040**

**SEPTEMBER 2006**

---

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**SIMULASI PENGENDALI TEMPERATUR AUTOCLAVE  
MENGUNAKAN METODE ANFIS  
DI PT OTSUKA INDONESIA**

**SKRIPSI**

*Disusun dan Diajukan Untuk Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat  
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

**Disusun Oleh :**  
**ANDHIKA BAGUS**  
**NIM 01.12.040**



**Diperiksa dan disetujui,**  
**Dosen Pembimbing**



**Ir. WIDODO PUDJI M, MT**  
**NIP. P. 102 870 0171**

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
2006**

---

2.2.2 Membership Function .....	7
2.2.3 Operasi – Operasi Pada Himpunan Fuzzy.....	9
2.3 Kontroler Fuzzy .....	11
2.3.1 Umum .....	11
2.3.2 Fuzzifikasi.....	12
2.3.3 Rule Evaluation.....	13
2.3.4 Inference Engine .....	14
2.3.5 Defuzzifikasi .....	16
2.4 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS).....	18
2.4.1 Struktur ANFIS .....	18
2.4.2 Pembelajaran Dalam ANFIS.....	21
2.4.2.1 Metode Pembelajaran Backpropagation .....	22
2.4.2.2 Metode Pembelajaran Least square Estimation (LSE).....	25
2.5 Proses Sterilisasi Cairan Infus .....	27
<b>BAB III. PEMODELAN SISTEM.....</b>	<b>30</b>
3.1 Pemodelan Matematis .....	30
3.2 Fungsi Alih Katup Kendali Steam .....	32
3.3 Fungsi Alih Proses Aliran .....	33
3.4 Perencanaan Kontroler ANFIS .....	34
3.4.1 Pengambilan Data Training.....	34
3.4.2 Pembentukan FIS .....	37
3.4.2.1 Proses Fuzzifikasi.....	37

3.4.2.2 Penentuan Aturan.....	39
3.4.2.3 Pembelajaran FIS.....	40
3.4.2.4 Defuzzifikasi.....	44
<b>BAB IV SIMULASI DAN ANALISIS SISTEM.....</b>	<b>46</b>
4.1 Pengujian Model Plant.....	46
4.2 Pengujian Dengan Menggunakan Kontroler ANFIS.....	47
4.3 Pengujian Dengan Perubahan Beban.....	51
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>58</b>
5.1 Kesimpulan.....	58
5.2 Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>60</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>61</b>

## DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
2.1	Proses Pembelajaran Hybrid ANFIS .....	22
3.1	Cuplikan Sinyal error dan delta error untuk Pembelajaran ANFIS Pada Beban 1 Psi .....	35
3.2	Cuplikan Sinyal error dan delta error untuk Pembelajaran ANFIS Pada Beban 1,7 Psi .....	35
3.3	Cuplikan Sinyal error dan delta error untuk Pembelajaran ANFIS Pada Beban 2,4 Psi .....	36
3.4	Aturan Fuzzy Untuk ANFIS .....	40
4.1	Perbandingan Pemberian Beban Dengan Kontroler ANFIS .....	57
4.2	Respon Sistem Terhadap Perubahan Tekanan .....	57
5.1	Respon Sistem di Pabrik Dengan Kontroler ANFIS .....	58
5.2	Respon Sistem Terhadap Tekanan Yang Berbeda .....	58
5.3	Respon Sistem terhadap Perubahan Tekanan .....	59

## DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
2.1	S-Function .....	8
2.2	$\pi$ -Function .....	8
2.3	T-Function .....	9
2.4	Definisi himpunan <i>fuzzy</i> lambat, sedang, cepat .....	11
2.5	Struktur Dasar Kontroler Logika Fuzzy .....	11
2.6	Sistem kontrol logika <i>fuzzy</i> secara umum .....	12
2.7	Metode penalaran <i>fuzzy</i> MAX-MIN .....	15
2.8	Metode penalaran <i>fuzzy</i> MAX-DOT .....	16
2.9	Weight Average .....	17
2.10	ANFIS Network .....	18
2.11	Efek perubahan parameter a, b, c .....	19
2.12	Autoclave .....	28
2.13	Diagram alir proses produksi cairan infus .....	29
3.1	Blok aliran proses sistem .....	30
3.2	Pengambilan data training .....	34
3.3	Membership Error pada tekanan 1 psi .....	37
3.4	Membership Delta Error pada tekanan 1 psi .....	38
3.5	Membership Error pada tekanan 1,7 psi .....	38

3.6	Membership Delta Error pada tekanan 1,7 psi.....	38
3.7	Membership Error pada tekanan 2,4 psi .....	39
3.8	Membership Delta Error pada tekanan 2,4 psi.....	39
3.9	Proses pembelajaran pada tekanan 1 psi.....	41
3.10	Proses pembelajaran pada tekanan 1,7 psi.....	41
3.11	Proses pembelajaran pada tekanan 2,4 psi.....	42
3.12	Membership error setelah pembelajaran pada tekanan 1 psi.....	42
3.13	Membership delta error setelah pembelajaran pada tekanan 1 psi.....	42
3.14	Membership error setelah pembelajaran pada tekanan 1,7 psi.....	43
3.15	Membership delta error setelah pembelajaran pada tekanan 1,7 psi.....	43
3.16	Membership error setelah pembelajaran pada tekanan 2,4 psi.....	43
3.17	Membership delta error setelah pembelajaran pada tekanan 2,4 psi.....	44
3.18	Flowchart Proses Sistem .....	45
4.1	Simulasi model plant.....	46
4.2	Respon keluaran model plant.....	47
4.3	Pengujian menggunakan kontroler ANFIS dengan tekanan 1 psi .....	48
4.4	Respon Sistem Menggunakan Kontroler ANFIS untuk tekanan sebesar 1 Psi.....	48
4.5	Pengujian menggunakan kontroler ANFIS dengan tekanan 1,7 psi .....	49
4.6	Respon Sistem Menggunakan Kontroler ANFIS untuk tekanan sebesar 1,7 Psi.....	49
4.7	Pengujian menggunakan kontroler ANFIS dengan tekanan 2,4 psi .....	50



4.8 Respon Sistem Menggunakan Kontroler ANFIS untuk tekanan sebesar 2,4 Psi.....	50
4.9 Grafik perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 1 psi.....	51
4.10 Pengujian Dengan Perubahan Tekanan dari 1,7 Psi ke 1 Psi.....	52
4.11 Respon Sistem Menggunakan Kontroler ANFIS untuk Perubahan Tekanan dari 1,7 Psi ke 1 Psi.....	52
4.12 Grafik perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 2,4psi.....	53
4.13 Pengujian Dengan Perubahan Tekanan dari 1,7 Psi ke 2,4 Psi.....	53
4.14 Respon Sistem Menggunakan Kontroler ANFIS untuk Perubahan Tekanan dari 1,7 Psi ke 2,4 Psi.....	54
4.15 Grafik perubahan tekanan dari 1psi ke 2,4psi.....	55
4.16 Pengujian Dengan Perubahan Tekanan dari 1 Psi ke 2,4 Psi.....	56
4.17 Respon Sistem Menggunakan Kontroler ANFIS untuk Perubahan Tekanan dari 1 Psi ke 2,4 Psi.....	57

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT. Otsuka Indonesia adalah perusahaan multinasional di bidang farmasi, salah satu produk yang dihasilkan adalah cairan infus. Produk cairan infus PT Otsuka ini menguasai 40% pangsa pasar di Indonesia. Cairan infus dasar adalah air & elektrolit yang mengandung unsur penting yang dibutuhkan oleh manusia yang dimasukkan melalui pembuluh darah untuk menggantikan dan mempertahankan keseimbangan cairan & elektrolit dalam tubuh secara cepat dan akurat sesuai dengan kondisi dan kebutuhan tubuh.

Salah satu proses produksi cairan infus adalah proses sterilisasi. Pada proses sterilisasi diperlukan suatu sistem pengendali temperatur yang stabil. Temperatur pada proses sterilisasi di atur (*setting point*) sebesar 105 °C dengan range sebesar  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ . Pengoperasian sistem (dalam hal ini pengaturan besar kecilnya katup pada proses sterilisasi) di PT Otsuka Indonesia masih dilakukan secara manual oleh operator. Adanya perubahan beban yang sering terjadi yaitu perubahan temperatur karena kebocoran sistem atau karena kesalahan dalam pengoperasian oleh operator, dapat mengakibatkan kurang stabilnya temperatur pada proses sterilisasi. Temperatur yang tidak sesuai dengan set point akan mengakibatkan kerugian produksi.

Kenyataan inilah yang menyebabkan ada pemikiran untuk memperbaiki kinerja sistem agar sesuai dengan *setting point* atau range yang dianjurkan. Dan salah satu cara yang dapat diterapkan adalah menambahkan pengendali berbasis logika yaitu dengan metode ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System).

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana performansi sistem sebelum dan setelah diberikan kontroler ANFIS
2. Bagaimana kinerja sistem pada tekanan steam yang berbeda setelah diberikan kontroler ANFIS
3. Bagaimana kinerja sistem setelah menggunakan kontroler ANFIS pada saat dilakukan perubahan tekanan.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk mensimulasikan desain ANFIS sebagai pengendali temperatur Autoclave pada saat sterilisasi di PT. Otsuka Indonesia. Dengan adanya ANFIS ini diharapkan temperatur pada Autoclave sesuai dengan setting point dan dapat mengatasi perubahan beban yang terjadi.

## 1.4 Batasan Masalah

Dalam perancangan untuk tugas akhir ini permasalahan dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Kontroler yang digunakan adalah ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System).
  2. Masukan kontroler adalah error dan selisih error antara sinyal masukan dengan keluaran plant.
  3. Parameter untuk model Autoclave diperoleh berdasarkan spesifikasi yang terdapat di PT. Otsuka Indonesia.
-

4. Proses pembelajaran dilakukan secara off-line.
5. Simulasi hasil perancangan menggunakan program matlab 7.04.
6. Dititik beratkan pada pengendaliannya dan tidak membahas tentang teori dari peralatan atau instrumen lainnya.
7. Temperatur dalam Autoclave diasumsikan konstan dan homogen.
8. Tidak membahas proses produksi cairan infus.

### **1.5 Metodologi Pembahasan**

Metode-metode yang diambil untuk pemecahan masalah meliputi :

- a) Studi literatur kalin pustaka yang mempelajari teori-teori yang terkait melalui literatur yang berhubungan dengan pembahasan masalah.
- b) Data-data sistem diperoleh berdasarkan data yang terdapat di PT. Otsuka Indonesia
- c) Pengendalian dilakukan secara simulasi dengan menggunakan perangkat Matlab.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

#### **BAB I   Pendahuluan**

Bab ini berisi tentang uraian latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi pembahasan, dan sistematika penulisan.

#### **BAB II   Dasar Teori**

Membahas teori tentang Autoclave, proses Sterilisasi, teori dasar tentang *fuzzy* kontroler berupa ANFIS dan teori-teori lain yang mendukung dalam perencanaan pengendali ANFIS.

---

**BAB III Pemodelan Sistem**

Berisi tentang sistem pengendalian temperatur autoclave yang digunakan sebagai *plant*. Penurunan persamaan matematis *plant* serta perancangan ANFIS untuk pengendalian temperatur pada autoclave tersebut.

**BAB IV Simulasi dan Analisis Sistem**

Berisi tentang simulasi rancangan ANFIS pada *plant* serta melakukan analisis sistem.

**BAB V Kesimpulan dan Saran**

Bab ini berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk pengembangan selanjutnya.

---

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Umum

Dalam bab ini akan dibahas tentang kontroler *fuzzy*, ANFIS, proses Sterilisasi. Pada pembahasan kontroler *fuzzy* akan dibahas tentang struktur umum kontroler *fuzzy*, fuzzifikasi, *rule evaluation* dan defuzzifikasi. Kemudian akan dibahas pula tentang ANFIS. Pembahasan terakhir adalah proses sterilisasi di PT Otsuka Indonesia

#### 2.2 Logika Fuzzy

*Fuzzy set* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh, 1965, dalam *paper*nya yang monumental. Dalam *paper* tersebut dipaparkan ide dasar *fuzzy set* yang meliputi *inclusion*, *union*, *intersection*, *complement*, *relation*, dan *convexity*. Ide tersebut terus dimatangkan oleh Zadeh dalam beberapa *paper*nya.

Pelopop aplikasi *fuzzy set* dalam bidang kontrol, yang merupakan aplikasi pertama dan utama dari *fuzzy set* adalah Prof. Ebrahim Mamdani dan kawan-kawan dari *Queen Mary College London*. Logika *fuzzy* dikatakan sebagai logika baru yang lama, sebab ilmu tentang logika *fuzzy* yang modern dan metodis baru ditemukan beberapa tahun yang lalu, padahal sebenarnya konsep tentang logika *fuzzy* itu sendiri ada pada diri kita sejak lama.

Ciri utama dari logika *fuzzy* adalah adanya peluang untuk memanfaatkan toleransi ketidakpastian (*inexactness*) dan ketidaktepatan (*imprecision*). Perbedaan antara logika *fuzzy* dengan logika klasik adalah pada manipulasi simbolik dan

numerik. Logika *fuzzy* dalam hal ini dapat menangani baik manipulasi simbolik maupun manipulasi numerik. Sedangkan logika klasik hanya dapat menangani manipulasi simbolik. Sistem *fuzzy* adalah sistem yang didasarkan atas pengetahuan atau sistem yang didasarkan atas kaidah-kaidah ataupun aturan-aturan.

### 2.2.1 Himpunan *Fuzzy*

Suatu himpunan *fuzzy* (*fuzzy set*)  $A$  dalam semesta pembicaraan (*universe of discourse*)  $U$  dinyatakan dengan fungsi keanggotaan (*membership function*)  $\mu_A$ , yang harganya berada dalam interval  $[0,1]$ . Secara matematis hal ini dinyatakan dengan :

$$\mu_A : U \rightarrow [0,1] \quad 2.1$$

Himpunan *fuzzy*  $A$  dalam semesta pembicaraan  $U$  biasa dinyatakan sebagai sekumpulan pasangan elemen  $u$  ( $u$  anggota  $U$ ) dan besarnya derajat keanggotaan (*grade of membership*) elemen tersebut,  $\mu_A$ , sebagai berikut :

$$A = \{(u, \mu_A(u) / u \in U)\} \quad 2.2$$

Tanda  $' / '$  digunakan untuk menghubungkan sebuah elemen dengan derajat keanggotaannya. Jika  $U$  adalah diskrit, maka  $A$  bisa dinyatakan dengan:

$$A = \mu_A(u_1) / u_1 + \dots + \mu_A(u_n) / u_n \quad 2.3$$

atau

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i \quad 2.4$$

Dan jika  $U$  adalah kontinyu, maka himpunan *fuzzy* bisa dinyatakan dengan :

$$A = \int_U \mu_A(u) / u \quad 2.5$$

Tanda  $' + ', \Sigma'$ , dan  $' \int'$  menyatakan operator *union* (gabungan).

### 2.2.2 Membership Function (Fungsi Keanggotaan).

Setiap elemen yang terhimpun dalam semesta pembicaraan (*universe of discourse*) merupakan anggota dari himpunan *fuzzy* yang dibagi menjadi beberapa derajat. Derajat dari fungsi keanggotaan masing-masing menunjukkan suatu himpunan *fuzzy*.

Pada representasi linier, permukaan digambarkan sebagai suatu garis lurus. Bentuk ini paling sederhana dan menjadi pilihan yang baik untuk mendekati suatu konsep yang kurang jelas.

Pada himpunan *fuzzy*, semua informasi terkandung dalam fungsi keanggotaannya. Oleh karena itu penting untuk mengetahui bagian-bagian pada sebuah fungsi keanggotaan *fuzzy*.

Ada beberapa fungsi keanggotaan dalam logika *fuzzy*. Adapun yang sering digunakan adalah bentuk fungsi-S, fungsi- $\pi$ , fungsi T (triangular). Contoh berikut ini adalah tiga macam keanggotaan yang dinyatakan dengan fungsi keanggotaan S,  $\pi$  dan T (triangular).

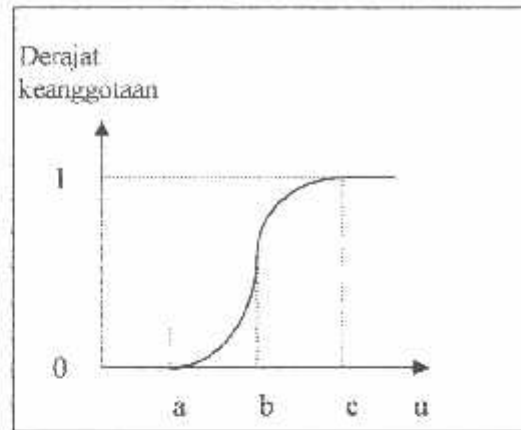
#### a. S-Function

Definisi S-function adalah sebagai berikut :

$$S(u,a,b,c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ 2 \left( \frac{u-a}{c-a} \right) & a \leq u \leq b \\ 1 - 2 \left( \frac{u-a}{c-a} \right) & b \leq u \leq c \\ 1 & u > c \end{cases} \quad 2.6$$



Bentuk diagramatik *S-function* ditunjukkan dalam gambar 2.1



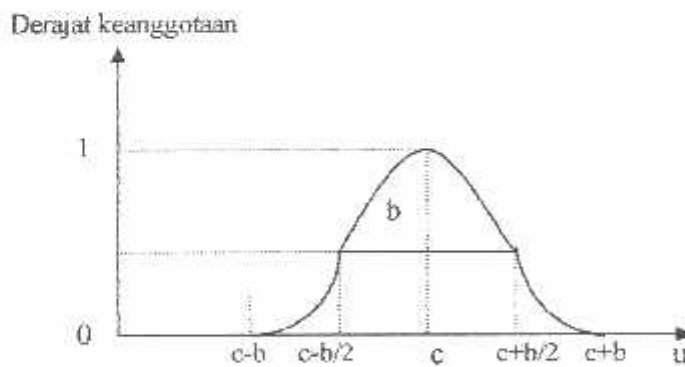
Gambar 2.1. *S-function*

b.  $\pi$ -Function

Definisi  $\pi$ -function adalah sebagai berikut :

$$\pi(u, b, c) = \begin{cases} S(u, c-b, c-\frac{b}{2}, c) & u \leq c \\ 1 - S(u, c, c+\frac{b}{2}, c+b) & u \geq c \end{cases} \quad 2.7$$

Bentuk diagramatik  $\pi$ -function ditunjukkan dalam gambar 2.2



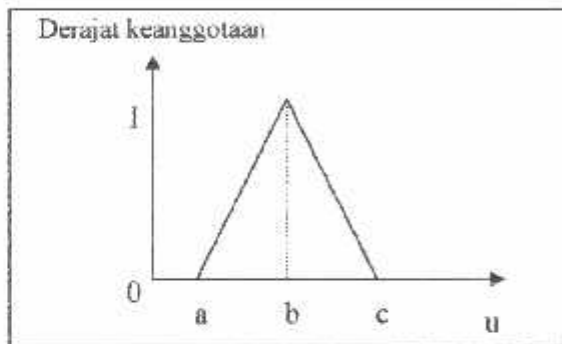
Gambar 2.2  $\pi$ -Function

### c. Triangular-Function.

Triangular-function didefinisikan sebagai berikut :

$$T(u, a, b, c) = \begin{cases} 0 & u < a \\ \frac{u-a}{b-a} & a \leq u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b} & b \leq u \leq c \\ 0 & u > c \end{cases} \quad 2.8$$

Bentuk diagramatik Triangular-function ditunjukkan dalam gambar 2.3



Gambar 2.3 T-Function

#### 2.2.3 Operasi – Operasi pada Himpunan Fuzzy

Seperti halnya himpunan konvensional, ada beberapa operasi yang didefinisikan secara khusus untuk mengkombinasi dan memodifikasi himpunan fuzzy (Kusumadewi, 2002). Operasi dasar himpunan fuzzy untuk himpunan fuzzy A dan B pada semesta pembicaraan U antara lain:

1. *Equality*

$$\mu_A(u) = \mu_B(u), u \in U \quad 2.9$$

2. *Union*

$$\mu_{A \cup B}(u) = \max\{\mu_A(u), \mu_B(u)\}, u \in U \quad 2.10$$

3. *Intersection*

$$\mu_{A \cap B}(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\}, u \in U \quad 2.11$$

4. *Complement*

$$\mu_{A^c}(u) = 1 - \mu_A(u), u \in U \quad 2.12$$

*Variabel Linguistik (Linguistic Variable)*

Suatu himpunan *fuzzy* bisa didefinisikan berdasarkan variabel linguistik tertentu. Suatu contoh variabel linguistik misalnya *kecepatan*, maka himpunan *term* (*kecepatan*) yang mungkin misalnya:

*kecepatan* = {*lambat, sedang, cepat*}

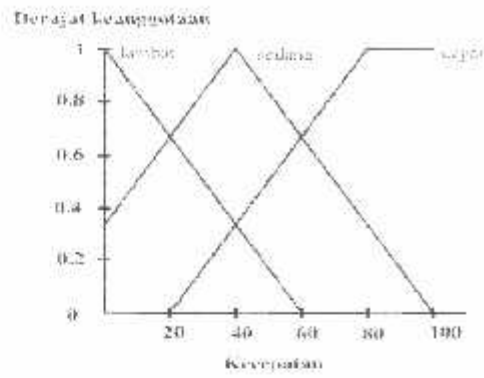
*Lambat, sedang, cepat* adalah harga linguistik (*linguistic value*) dari variabel linguistik *kecepatan*, dan masing-masing didefinisikan dalam suatu himpunan *fuzzy*. Sekumpulan *term* disebut *linguistic qualifiers*.

Sebagai contoh, misalnya untuk  $U = \{0, 20, 40, 60, 80, 100\}$  dan variabel linguistik *kecepatan*, *linguistic qualifier lambat, sedang, dan cepat* didefinisikan sebagai berikut (Kuswadi, 2000):

$$A - \text{lambat} = 1/0 + 0,7/20 + 0,3/40$$

$$B - \text{sedang} = 0,3/0 + 0,7/20 + 1/40 + 0,7/60 + 0,3/80$$

$$C - \text{cepat} = 0,3/40 + 0,7/60 + 1/80 + 1/100$$

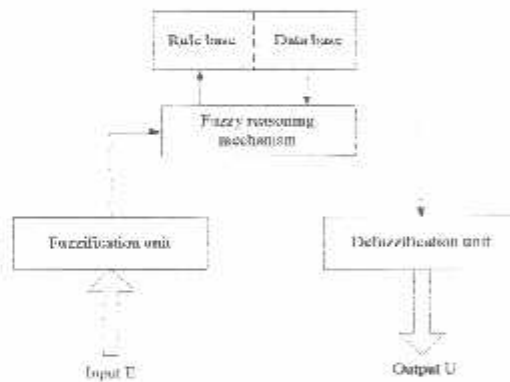


Gambar 2.4 Definisi himpunan *fuzzy* lambat, sedang, cepat

## 2.3 Kontroler *Fuzzy*

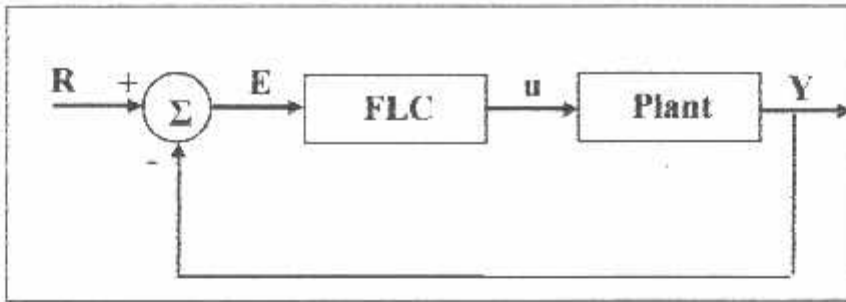
### 2.3.1 Umum

Komponen utama dalam penyusunan *fuzzy* kontroler ini meliputi unit untuk fuzzifikasi, unit penalaran *fuzzy*, *rule base*, dan unit defuzzifikasi. Secara blok diagram kontroler *fuzzy* tersebut terlihat pada gambar 2.4



Gambar 2.5 Struktur dasar kontroler logika *fuzzy*

Secara umum sistem kontrol loop tertutup yang menggunakan *fuzzy logic controller* adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6 Sistem kontrol logika *fuzzy* secara umum

Dengan  $R$  adalah *set point* sistem,  $E$  adalah *error* yang digunakan sebagai masukan FLC,  $u$  adalah keluaran FLC yang juga merupakan aksi kontrol terhadap *plant*, dan  $Y$  adalah keluaran *plant*.

Komponen utama penyusun *fuzzy logic controller* (FLC) adalah unit fuzzifikasi, unit penalaran *fuzzy* (*fuzzy logic reasoning*), basis pengetahuan (*knowledge base*) dan unit defuzzifikasi.

Basis pengetahuannya terdiri dari dua jenis informasi :

1. Basis data, yang mendefinisikan parameter *fuzzy* sebagai bagian dari himpunan *fuzzy* dengan menentukan batas-batas fungsi keanggotaan pada semesta pembicaraan untuk tiap-tiap variabel.
2. Basis aturan, yang memetakan nilai masukan *fuzzy* menjadi nilai keluaran *fuzzy*.

### 2.3.2 Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel non numerik) menjadi variabel *fuzzy* (variabel linguistik). Nilai masukan-masukan yang masih dalam bentuk variabel numerik yang telah dikuantisasi sebelum diolah oleh pengendali logika *fuzzy* harus diubah dahulu ke

dalam variabel *fuzzy*. Melalui fungsi keanggotaan yang telah disusun maka nilai-nilai masukan tersebut menjadi informasi *fuzzy* yang berguna untuk proses pengolahan secara *fuzzy* pula.

Dalam pengendalian proses *input* data adalah data *crisp*. Fungsi keanggotaan ini biasanya disebut dengan fungsi keanggotaan *input*.

Dengan kata lain fuzzifikasi merupakan pemetaan titik-titik numerik (*crisp points*)  $\underline{x} = (x^1, \dots, x^n) \in U$  ke himpunan *fuzzy* A di U. U adalah semesta pembicaraan. Paling tidak ada dua kemungkinan pemetaan, yaitu:

1. Fuzzifikasi singleton: A adalah *fuzzy* singleton dengan *support*  $\underline{x}$ , artinya,  $\mu_A(\underline{x}') = 1$  untuk  $\underline{x}' = \underline{x}$  dan  $\mu_A(\underline{x}') = 0$  untuk  $\underline{x}' \in U$  yang lain dengan  $\underline{x}' \neq \underline{x}$ .
2. Fuzzifikasi non singleton:  $\mu_A(\underline{x}') = 1$  dan  $\mu_A(\underline{x}')$  menurun dari 1 sebagaimana  $\underline{x}'$  bergerak menjauh  $\underline{x}$ .

### 2.3.3 Rule evaluation

Pada *rule evaluation* prosesor *fuzzy* menggunakan aturan linguistik untuk menentukan aksi kontrol yang harus dilakukan dalam merespon nilai *input* yang diberikan. Dalam *rule evaluation* ini, *rule base* yang telah dibuat sangat menentukan handal dan tidaknya *fuzzy* kontroler yang dirancang. Pada umumnya, aturan-aturan *fuzzy* dinyatakan dalam bentuk 'IF-THEN' yang merupakan inti dari relasi *fuzzy*.

#### Kaidah Fuzzy Jika-Maka (*Fuzzy Rules*)

Ada dua jenis proposisi *fuzzy*, yaitu:

1. *Conditional fuzzy proposition*

Jenis ini ditandai dengan penggunaan pernyataan IF. Secara umum:

IF  $x$  is  $A$  THEN  $y$  is  $B$

Dengan  $x$  dan  $y$  adalah skalar, dan  $A$  dan  $B$  adalah variabel linguistik. Proposisi yang mengikuti IF disebut anteseden, sedangkan proposisi yang mengikuti THEN disebut konsekuen. Proposisi ini dapat diperluas dengan menggunakan penghubung *fuzzy*, seperti:

IF  $(x_1 \text{ is } A_1) \bullet (x_2 \text{ is } A_2) \bullet (x_3 \text{ is } A_3) \bullet \dots \bullet (x_n \text{ is } A_n)$  THEN  $y$  is  $B$

dengan  $\bullet$  adalah operator (misal OR atau AND)

## 2. *Unconditional fuzzy proposition*

Jenis ini ditandai dengan tidak digunakannya pernyataan IF. Secara umum :

$x$  is  $A$

dengan skalar, dan  $A$  adalah variabel linguistik.

Proposisi yang tak terkondisi selalu diaplikasikan dengan model AND, tergantung pada bagaimana proposisi tersebut diaplikasikan, bisa membatasi daerah *output*, bisa juga mendefinisikan daerah solusi (jika tidak ada aturan terkondisi yang dieksekusi).

### 2.3.4 *Inference Engine*

Metode-metode penalaran untuk memperoleh keputusan *fuzzy* ada dua, yaitu :

- a. Metode nilai point MAX-MIN
- b. Metode nilai point MAX-DOT

Diasumsikan terdapat dua basis kaidah atur untuk *fuzzy*, yaitu :

Kaidah atur 1 : *If*  $x$  adalah  $A_1$  AND  $y$  adalah  $B_1$  *Then*  $z$  adalah  $C_1$

Kaidah atur 2 : *If*  $x$  adalah  $A_2$  AND  $y$  adalah  $B_2$  *Then*  $z$  adalah  $C_2$

---

Jika kaidah atur ke- $i$  dinyatakan dengan  $\alpha_i$  maka dua kaidah atur di atas dapat dinyatakan kembali sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \\ \alpha_2 &= \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0)\end{aligned}\quad 2.13$$

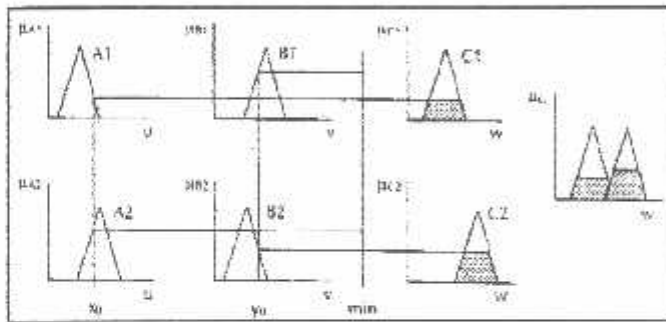
dengan  $x_0$  dan  $y_0$  menyatakan masukan *crisp*.

a. Metode penalaran MAX-MIN

Pada metode penalaran MAX-MIN fungsi keanggotaan konsekuen  $C$  dinyatakan dengan :

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{c_1}(w)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{c_2}(w)) \quad 2.14$$

metode penalaran MAX-MIN diperlihatkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Metode penalaran fuzzy MAX-MIN

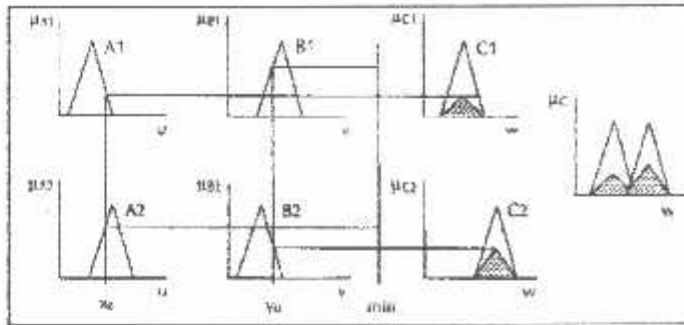
b. Metode penalaran MAX-DOT

Pada metode penalaran MAX-DOT fungsi keanggotaan konsekuen  $C$  dinyatakan pada persamaan 2.10.

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 \cdot \mu_{c_1}(w)) \vee (\alpha_2 \cdot \mu_{c_2}(w)) \quad 2.15$$

metode penalaran MAX-DOT diperlihatkan dalam Gambar 2.8.





Gambar 2.8. Metode penalaran fuzzy MAX-DOT

### 2.3.5 Defuzzifikasi

*Input* dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam range tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output*.

Defuzzifikasi merupakan proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan *crisp*. Proses ini merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi berfungsi untuk mengubah keluaran linguistik ke dalam keluaran *crisp*.

Metode defuzzifikasi ada dua, yaitu : metode rata-rata maksimum dan metode pusat luasan.

#### a. Metode Rata-Rata Maksimum (*Mean of Maximum*) MOM

Metode MOM disebut pula sebagai defuzzifikasi tinggi, aksi kontrol mewakili aksi kontrol yang fungsi keanggotaannya mencapai maksimum.

Nilai *crisp* yang dihasilkan oleh operasi MOM adalah:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i H_i W_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i H_i} \quad 2.16$$

dengan :  $n$  = jumlah aturan

$H_i$  = tinggi maksimum fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*

$W_i$  = kontrol keluaran dengan nilai *crisp*

$\alpha_i$  = *firing strength* aturan ke- $i$

b. Metode Rata-Rata Titik Berat (*Weight Average*)

Metode ini *valid* digunakan untuk bentuk fungsi keanggotaan yang simetri dengan formulasi:

$$z^* = \frac{\sum \mu_i(z) \cdot z}{\sum \mu_i(z)} \quad 2.17$$

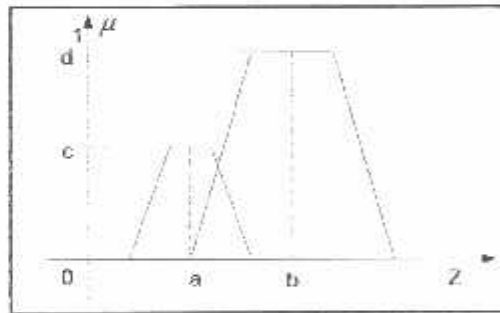
dengan :

$\sum$  = penjumlahan aljabar

$z^*$  = nilai keluaran kontroler

$z$  = nilai tengah keluaran tiap fungsi keluaran keanggotaan *fuzzy*

$\mu_i$  = derajat keanggotaan hasil inferensi *fuzzy*



Gambar 2.9. *Weight Average*

Dari gambar 2.9 dapat diperoleh nilai defuzzifikasi sebagai berikut:

$$z^* = \frac{a(c) + b(d)}{c + d} \quad 2.18$$

## 2.4 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

ANFIS merupakan penggabungan dari sistem *fuzzy* dengan jaringan syaraf. Model *fuzzy* yang digunakan adalah model Takagi-Sugeno-Kang (TSK Model). Model tersebut adalah:

$$\begin{aligned}
 &\text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \\
 &\text{AND } x_2 \text{ is } A_2 \\
 &\dots\dots\dots \\
 &\text{AND } x_m \text{ is } A_m \\
 &\text{THEN } y = \tilde{f}(x_1, x_2, \dots, x_m)
 \end{aligned}
 \tag{2.19}$$

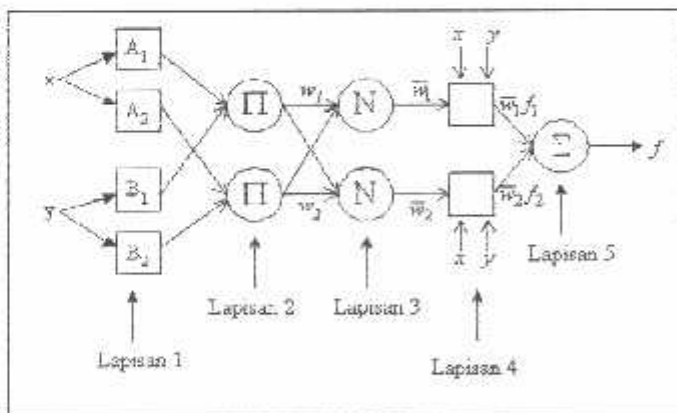
$x_1, x_2, \dots, x_m$  adalah variabel masukan, sedangkan  $A_1, A_2, \dots, A_m$  adalah *fuzzy set*. Jika  $y$  tetap, maka didapatkan *zero-order* untuk model *fuzzy* Sugeno. Jika  $y$  adalah *first order* polinomial,

$$y = k_0 + k_1x_1 + k_2x_2 + \dots + k_mx_m \tag{2.20}$$

maka didapatkan *first-order* model *fuzzy* Sugeno.

### 2.4.1 Struktur ANFIS

Gambar dari jaringan ANFIS dapat dilihat dalam gambar 2.10.



Gambar 2.10 ANFIS Network

**Layer 1 :**

Layer ini adalah *fuzzification layer*. Untuk model Jang's, neuron-neuron fuzzifikasi memiliki fungsi aktivasi bell. Di dalam layer ini pula dilakukan pengkalkulasian nilai *membership* untuk parameter premis. Fungsi simpul tersebut adalah :

Output  $O_{1,1}$  untuk simpul  $i = 1,2$

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \quad 2.21$$

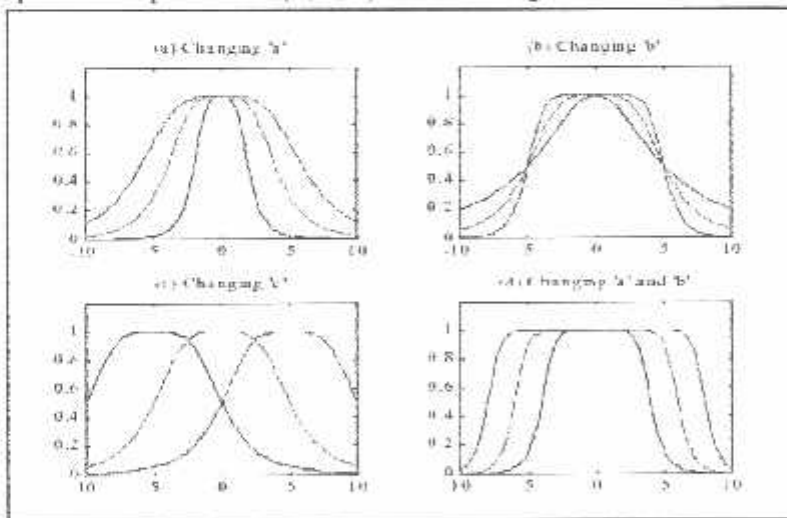
Output  $O_{1,3}$  untuk simpul  $i = 3,4$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(y) \quad 2.22$$

A dan B adalah label linguistik (*small, large, ...*), x dan y adalah masukan pada simpul i. Keluaran dari simpul untuk layer ini adalah *membership value* dari input (Picro, 2002).

$$\mu_{A_i}(x_i) = \exp\left(-\left(\frac{x-c_i}{a_i}\right)^{2b_i}\right) \quad 2.23$$

Efek dari perubahan parameter {a, b, c} adalah sebagai berikut :



Gambar 2.11 Efek perubahan parameter a, b, c

**Layer 2 :**

*Layer* ini adalah *rule layer*. Tiap neuron dalam *layer* ini berkesesuaian dengan *single Sugeno-type fuzzy rule*. *Rule* neuron menerima masukan-masukan dari neuron fuzzifikasi dan mengkalkulasi *firing strength* dari tiap-tiap *rule*. Dalam ANFIS, konjungsi dari *rule antecedent* dievaluasi dengan operator *product*.

Fungsi simpul adalah :

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y) \quad \text{untuk } i=1,2 \quad 2.24$$

Fungsi ini dapat diperluas apabila bagian premis memiliki lebih dari dua himpunan *fuzzy*. Banyaknya simpul pada lapisan ini menunjukkan banyaknya *rule* yang dibentuk. Operator yang digunakan adalah T-norm. Keluaran dari simpul ini adalah *firing strength* dari *rule*.

**Layer 3 :**

*Layer* ini merupakan *normalisation layer*. Tiap neuron dalam *layer* ini menerima *input* dari semua neuron dalam *rule layer*, dan mengkalkulasi normalisasi *firing strength* dari *rule-rule* yang ada.

Normalisasi *firing strength* adalah rasio dari *firing strength* untuk tiap *rule* yang telah diberikan dengan jumlah keseluruhan *firing strength* dari semua *rule*.

Fungsi simpul tersebut adalah :

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad \text{untuk } i=1,2 \quad 2.25$$

Keluaran titik simpul adalah *firing strength* yang ternormalisasi.

**Layer 4 :**

Merupakan *layer* defuzzifikasi. Tiap neuron dalam *layer* ini dihubungkan dengan neuron normalisasi dan juga menerima masukan awal,  $x$  dan  $y$ . Neuron defuzzifikasi mengkalkulasi bobot nilai konsekuen dari *rule* yang diberikan, dengan fungsi simpul :

$$O_{s,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad 2.26$$

$p_i$ ,  $q_i$ , dan  $r_i$  adalah parameter-parameter konsekuen dari *rule*  $i$ .

**Layer 5 :**

Pada lapisan ini hanya terdapat satu simpul yang digunakan untuk menjumlahkan semua *output* dari neuron defuzzifikasi dan menghasilkan keseluruhan keluaran ANFIS.

Fungsi simpul ini adalah :

$$O_{s,r} = \sum_i w_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad 2.27$$

**2.4.2 Pembelajaran dalam ANFIS**

ANFIS menggunakan algoritma pembelajaran *hybrid* yang mengkombinasikan *estimator least squares* dan metode *gradient descent*. Algoritma pembelajaran ANFIS ada dua, tiap *epoch* disusun dari proses pembelajaran maju dan mundur. Dalam proses pembelajaran maju (*forward pass*), pembelajaran dari model-model *input* dimasukkan ke dalam ANFIS, neuron *output* dihitung *layer per layer* dan parameter-parameter konsekuen *rule* diidentifikasi menggunakan *least square estimator*.

---

Dalam pembelajaran mundur (*backward*), pembelajaran menggunakan algoritma *backpropagation*. Sinyal *error* di kembalikan, dan parameter *antecedent* di-update berdasarkan metode *chain rule*.

Dalam pembelajaran ANFIS ini, parameter-parameter *antecedent* dan konsekuen dioptimasi. Pembelajaran maju, parameter-parameter konsekuen diatur sedangkan parameter-parameter premis tetap. Pada arah pembelajaran mundur, parameter-parameter premis *dituning*, sedangkan parameter konsekuen dibuat tetap. Satu tahap arah pembelajaran maju-mundur dinamakan satu *epoch*. Tabel 2.1 menerangkan proses pembelajaran *hybrid* ANFIS.

Tabel 2.1 Proses pembelajaran *hybrid* ANFIS

	Arah maju	Arah mundur
Parameter premis	Tetap	<i>Gradient descent</i>
Parameter konsekuen	RLSE	Tetap
Sinyal	Keluaran simpul	Laju kesalahan

#### 2.4.2.1 Metode Pembelajaran *Backpropagation*

Penghitungan *error* untuk pembelajaran ke- $k$ , untuk jaringan *error-back prop* didefinisikan sebagai berikut:

$$E_k = \frac{1}{2}(y_k - O_k)^2 \quad 2.28$$

dengan  $y_k$  adalah keluaran sistem yang diinginkan dan  $O_k$  adalah keluaran sistem yang sebenarnya.

Tiap parameter  $\beta_i$  harus dihitung berdasarkan

$$\frac{\partial E_k}{\partial \beta_c} = \frac{\partial E_k}{\partial O_i} \frac{\partial O_i}{\partial \beta_c} = -(y_k - O_k) \frac{\partial O_k}{\partial \beta_c} \quad 2.29$$

Error rata-rata dari parameter konsekuen dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{\partial E}{\partial \beta_c} = \frac{\partial E}{\partial O_5} \frac{\partial O_5}{\partial O_4} \frac{\partial O_4}{\partial \beta_c} \quad 2.30$$

dimana  $\beta_c$  adalah parameter konsekuen dan  $O_i$  adalah *output* dari lapisan ke-i.

Error rata-rata untuk parameter premis dihitung sebagai berikut:

$$\frac{\partial E}{\partial \beta_p} = \frac{\partial E}{\partial O_5} \frac{\partial O_5}{\partial O_4} \frac{\partial O_4}{\partial O_3} \frac{\partial O_3}{\partial O_2} \frac{\partial O_2}{\partial O_1} \frac{\partial O_1}{\partial \beta_p} \quad 2.31$$

dimana  $\beta_p$  adalah parameter premis dan  $O_i$  adalah *output* dari lapisan ke-i.

Turunan dari  $\frac{\partial O_j}{\partial O_{j-1}}$ ,  $j = 5, \dots, 2$  adalah

$$\frac{\partial O_5}{\partial O_4} = \frac{\partial (\sum f_i \bar{w}_i)}{\partial (f_i \bar{w}_i)} = 1 \quad 2.32$$

Dimana  $\bar{w}_i$  adalah normalisasi *firing strength* dari *rule* ke-i

$$\frac{\partial O_4}{\partial O_3} = \frac{\partial (f_i \bar{w}_i)}{\partial (\bar{w}_i)} = f_i \quad 2.33$$

Dimana  $i$  adalah jumlah dari *rule* yang bersesuaian ( jumlah dari unit pada *layer* ke 3)

$$\frac{\partial O_3}{\partial O_2} = \frac{\partial \left( \frac{w_i}{\sum_{j=1}^n w_j} \right)}{\partial w_i} = \frac{\sum_{j=1}^n w_j - w_i}{\left( \sum_{j=1}^n w_j \right)^2} \quad 2.34$$

$n$  adalah jumlah keseluruhan dari *rule* di sistem.

$$\frac{\partial O_2}{\partial O_1} = \frac{\partial \left( \prod_{A_j \in \mathcal{R}(A_m)} A_j \right)}{\partial A_m} = \prod_{A_j \in \mathcal{R}(A_m), A_j \neq A_m} A_j \quad 2.35$$



Dimana  $A_j \in \mathfrak{R}(A_m)$  menunjukkan *fuzzy set*, yang membuat bagian premis dari *rule* mengandung *fuzzy set*  $A_m$ .

Dari persamaan (2.23)-(2.29) dapat diringkas menjadi,

untuk parameter konsekuen  $\beta_c$  :

$$\frac{\partial E}{\partial \beta_c} = -(y - O) \frac{\partial O_4}{\partial \beta_c} \quad 2.36$$

dimana  $\beta_c \in \{p_i, q_i, r_i\}$ . Persamaan di atas diturunkan secara parsial terhadap  $p$ ,  $q$ , dan  $r$ .

$$\frac{\partial O_4}{\partial p_i} = \frac{\partial}{\partial p_i} (f_i \bar{w}_i) = \frac{\partial}{\partial p_i} (\bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)) = \bar{w}_i x \quad 2.37$$

$$\frac{\partial O_4}{\partial q_i} = \frac{\partial}{\partial q_i} (f_i \bar{w}_i) = \frac{\partial}{\partial q_i} (\bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)) = \bar{w}_i y \quad 2.38$$

$$\frac{\partial O_4}{\partial r_i} = \frac{\partial}{\partial r_i} (f_i \bar{w}_i) = \frac{\partial}{\partial r_i} (\bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i)) = \bar{w}_i \quad 2.39$$

Dan untuk parameter premis  $\beta_p$  dari *membership function* untuk label linguistik

$A_m$  adalah

$$\frac{\partial E}{\partial \beta_p} = -(y - O) f_i \frac{\sum_{j=1}^n w_j - w_i}{\left( \sum_{j=1}^n w_j \right)^2} \prod_{A_j \in \mathfrak{R}(A_m), A_j \neq A_m} A_j \frac{\partial O_1}{\partial \beta_p} \quad 2.40$$

$$\frac{\partial E}{\partial \beta_p} \approx -(y - O) f_i \frac{\partial O_1}{\partial \beta_p} \quad 2.41$$

dimana  $\beta_p \in \{a_i, b_i, c_i\}$ . Persamaan di atas diturunkan secara parsial terhadap  $a$ ,  $b$ ,

dan  $c$ .

$$\frac{\partial O_1}{\partial a_y} = \frac{\partial}{\partial a_y} \left( \exp \left( - \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} \right) \right) = 2 \frac{\left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} h_y \exp \left( - \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} \right)}{a_y}$$

$$\frac{\partial O_1}{\partial a_y} \approx \frac{h_y}{a_y} \quad 2.42$$

$$\frac{\partial O_1}{\partial b_y} = \frac{\partial}{\partial b_y} \left( \exp \left( - \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} \right) \right) = -2 \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} \ln \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right) \exp \left( - \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} \right)$$

$$\frac{\partial O_1}{\partial b_y} \approx -\ln \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right) \quad 2.43$$

$$\frac{\partial O_1}{\partial c_y} = \frac{\partial}{\partial c_y} \left( \exp \left( - \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} \right) \right) = 2 \frac{\left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} h_y \exp \left( - \left( \frac{x - c_y}{a_y} \right)^{2b_y} \right)}{x - c_y}$$

$$\frac{\partial O_1}{\partial c_y} \approx \frac{h_y}{x - c_y} \quad 2.44$$

Dimana  $i$  adalah jumlah dari *rule* yang bersesuaian dan  $j$  adalah jumlah dari *variable linguistik* yang bersesuaian dalam *rule*.

#### 2.4.4.2 Metode Pembelajaran *Least Square Estimation (LSE)*

Jika nilai dari parameter premis tetap maka keluaran keseluruhannya dapat dinyatakan dengan kombinasi linier dari parameter konsekuen.

$$\begin{aligned} f &= \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2 \\ &= \bar{w}_1 (p_1 x + q_1 y + r_1) + \bar{w}_2 (p_2 x + q_2 y + r_2) \\ &= (\bar{w}_1 x) p_1 + (\bar{w}_1 y) q_1 + (\bar{w}_1) r_1 + (\bar{w}_2 x) p_2 + (\bar{w}_2 y) q_2 + (\bar{w}_2) r_2 \end{aligned} \quad 2.45$$

Pada persamaan (2.45) terlihat parameter-parameter bagian konsekuen merupakan parameter linier terhadap keluaran sistem. Jika sejumlah N data belajar diterapkan pada persamaan (2.45), didapat :

$$\begin{aligned} (\bar{w}_1 x)_1 p_1 + (\bar{w}_1 y)_1 q_1 + (\bar{w}_1)_1 r_1 + (\bar{w}_2 x)_1 p_2 + (\bar{w}_2 y)_1 q_2 + (\bar{w}_2)_1 r_2 &= y_1 \\ \vdots & \\ \vdots & \\ (\bar{w}_1 x)_n p_1 + (\bar{w}_1 y)_n q_1 + (\bar{w}_1)_n r_1 + (\bar{w}_2 x)_n p_2 + (\bar{w}_2 y)_n q_2 + (\bar{w}_2)_n r_2 &= y_n \end{aligned} \quad 2.46$$

jika dinyatakan dengan persamaan matriks, berbentuk :

$$A\theta = y \quad 2.47$$

dengan  $\theta$  merupakan vektor  $6 \times 1$  yang elemen-elemennya merupakan himpunan parameter konsekuen,  $y$  merupakan vektor keluaran yang elemen-elemennya N buah data keluaran sistem. Penyelesaian terbaik untuk  $\theta$  adalah meminimumkan

$\|A\theta - y\|_2^2$ , dengan teori LSE (*Least Square Estimation*) didapat  $\theta^*$  :

$$\theta^* = (A^T A)^{-1} A^T y \quad 2.48$$

$\theta^*$  dihitung dengan rumus *Recursive LSE* (RLSE). Selanjutnya persamaan 2.48 menjadi :

$$\begin{cases} \theta_{i+1} = \theta_i + P_{i+1} a_{i+1} (y_{i+1}^T - a_{i+1}^T \theta_i) \\ P_{i+1} = P_i - \frac{P_i a_{i+1} a_{i+1}^T P_i}{1 + a_{i+1}^T a_{i+1}} \quad , i = 0, 1, \dots, P-1 \end{cases} \quad 2.49$$

dengan  $a_i^T$  adalah vektor baris dari matriks A pada persamaan 2.49,  $y_i$  adalah elemen ke- $i$  dari  $y$ .  $P_i$  disebut matriks kovariansi yang didefinisikan dengan :

$$P_i = (A^T A)^{-1} \quad 2.50$$

## 2.5 Proses Sterilisasi Cairan Infus

Autoclave merupakan suatu alat yang digunakan untuk proses sterilisasi cairan infus di PT Otsuka Indonesia. Tujuan dari sterilisasi adalah untuk mematikan bakteri-bakteri yang berbahaya bagi manusia. Temperatur autoclave di PT Otsuka Indonesia diatur (*set point*) pada 105°C dengan range yang diijinkan adalah  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Temperatur harus stabil pada *set point* yang telah ditentukan, karena apabila temperatur pada saat sterilisasi kurang dari 105°C maka bakteri-bakteri yang berbahaya bagi manusia tidak mati, sehingga produk harus di restiril yang menyebabkan kerugian produksi. Dan apabila temperatur lebih dari 105°C maka dapat menyebabkan kerusakan pada botol cairan infus dan dapat menurunkan kualitas kadar produk.

Selama ini pengendalian temperatur pada *autoclave* di PT Otsuka Indonesia masih dilakukan secara manual, yaitu pengaturan besar kecilnya katup pada proses sterilisasi. Apabila temperatur dalam autoclave naik, maka operator harus membuka katup untuk membuang uap agar temperatur kembali ke *set point*. Demikian juga apabila temperatur dalam *autoclave* turun, maka operator harus membuka katup untuk menambah uap agar temperatur kembali ke *set point*.

Dalam proses sterilisasi di PT Otsuka Indonesia terdapat 3 tahapan diantaranya

### a) Tahap Pemanasan

Dimulai setelah pintu autoclave ditutup, valve ditutup, afriegrator fan dihidupkan, steam dibuka, heating control dihidupkan, setelah 30 menit atau setelah suhu antara ruang dan suhu larutan yang diinginkan tercapai (105°C) steam dimatikan dan petunjuk suhu dipantau melalui grafik pada termorecorder, tahap steril dimulai.

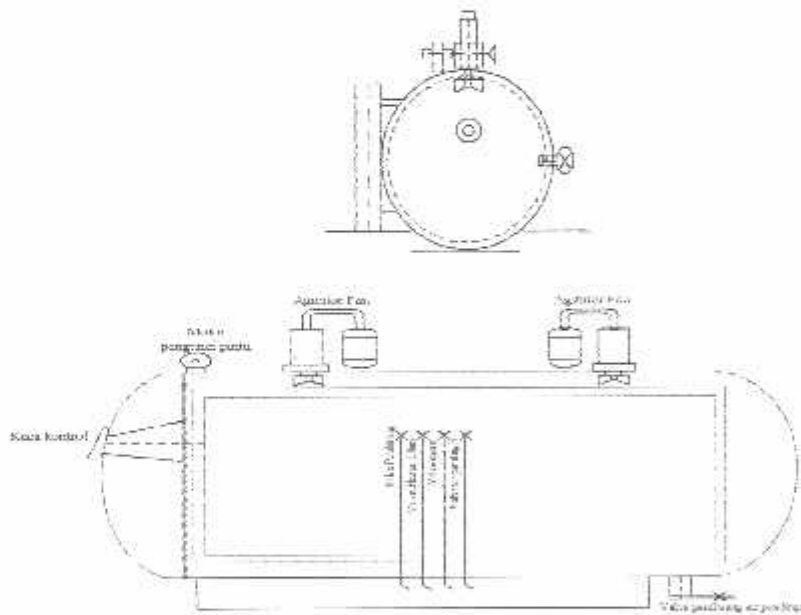
---

### b) Tahap Sterilisasi

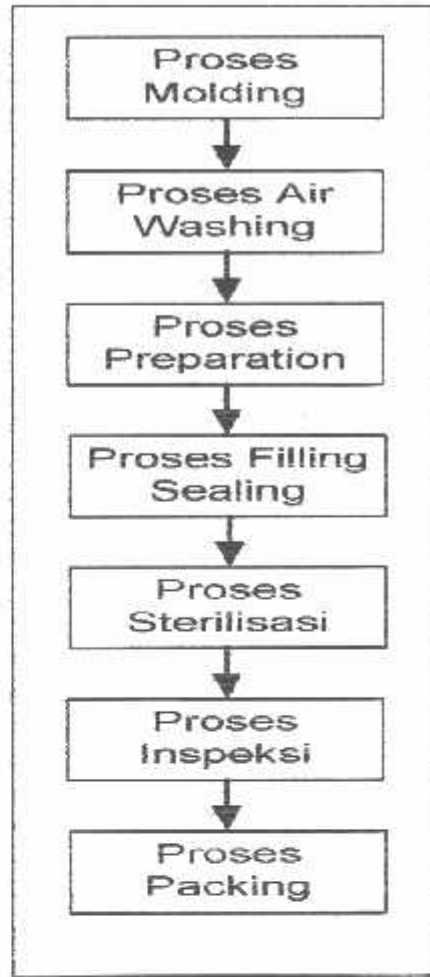
Tahap sterilisasi dicapai setelah pemanasan selesai selama 30 menit, pada tahap ini suhu dipertahankan dengan heating control, suhu harus dipertahankan dan tidak boleh terlalu tinggi atau terlalu kurang dari 105°C selama 45 menit. Kemudian tahap selanjutnya adalah pendinginan.

### c) Tahap Pendinginan

Merupakan tahap untuk menurunkan suhu autoclave maupun larutan setelah proses sterilisasi dicapai. Heating control dimatikan, valve air dibuka dan pompa pendingin dihidupkan. Proses ini dilakukan selama kurang lebih 30 menit sampai suhu turun menjadi 40°C. Setelah proses pendinginan selesai maka afrigator fan dimatikan, pompa pendingin dimatikan, tutup valve air, kosongkan tekanan dalam autoclave, buka pintu autoclave dan rak dikeluarkan.



Gambar 2.12 Autoclave



Gambar 2.13 Diagram alir proses produksi cairan infus

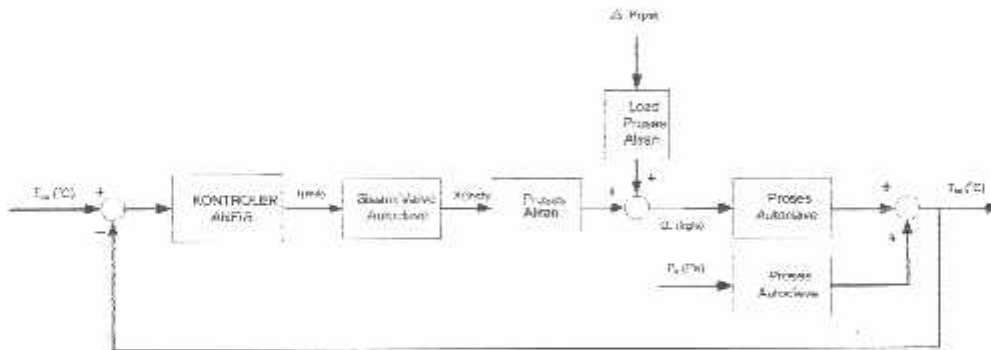
### BAB III PEMODELAN SISTEM

Tujuan sistem pengendalian ini adalah untuk mempertahankan temperatur dalam autoklaf pada harga tertentu atau pada harga *set point* sebesar  $105^{\circ}\text{C}$ . Laju aliran uap merupakan variabel yang dapat diatur untuk mengendalikan temperatur keluaran.

Temperatur dalam autoclave diukur dengan sensor temperatur. Sinyal keluaran tersebut akan dibandingkan oleh kontroler dengan set point. Fungsi dari kontroler adalah membangkitkan sinyal kendali, berdasarkan *error* antara sinyal pengukuran dengan *set point*.

Laju aliran uap merupakan fungsi dari bukaan katub. Fungsi alih proses diperoleh dari perhitungan-perhitungan kesetimbangan massa dan energi.

Blok umum diagram sistem pengendalian temperatur pada autoclave adalah:



Gambar 3.1 Blok aliran proses sistem

#### 3.1 Pemodelan Matematis

Proses pemanasan pada autoklaf dipengaruhi oleh laju aliran *steam* (uap) dan tekanan udara yang berasal dari kompresor. Pemodelan matematis sistem berdasarkan prinsip hukum kekekalan energi. Menurut hukum kesetimbangan massa, laju energi yang masuk ke dalam sistem dikurangi dengan laju energi yang keluar dari sistem sama dengan laju energi akumulasinya.

$$E_{in} - E_{out} = E_{st} \quad 3.1$$

Dengan

$E_{in}$  : Energi yang masuk ke sistem

$E_{out}$  : Energi yang keluar dari sistem

$E_{st}$  : Energi yang terakumulasi dalam sistem

Energi yang masuk ke sistem adalah energi yang berasal dari :

$$\text{Uap panas (steam)} : E_s = Q_s \cdot C_s \cdot T_{st} \quad 3.2$$

$$\text{Udara (air)} : W_a = P_a \cdot (V_{in} - V_{out}) \quad 3.3$$

Energi yang keluar dari autoclave adalah energi yang berasal uap panas yang terbuang :

$$E_s = Q_s \cdot C_s \cdot T_{so} \quad 3.4$$

Energi yang terakumulasi dalam sistem :

$$E_{st} = m_s \cdot C_s \cdot \frac{dT_{so}}{dt} \quad 3.5$$

Substitusi persamaan 3.2, 3.3, 3.4 dan 3.5 ke persamaan 3.1 didapat :

$$(Q_s \cdot C_s \cdot T_{st} + P_a (V_{in} - V_{out})) - Q_s \cdot C_s \cdot T_{so} = m_s \cdot C_s \cdot \frac{dT_{so}}{dt} \quad 3.6$$

Persamaan 3.6 di transformasi laplace menjadi :

$$Q_s(s) \cdot C_s \cdot T_{st} + P_a(s) \cdot (V_{in} - V_{out}) - Q_s \cdot C_s \cdot T_{so}(s) = m_s \cdot C_s \cdot sT_{so}(s) \quad 3.7$$

Kemudian disederhanakan menjadi :

$$T_{so} = \frac{C_s \cdot T_{st}}{C_s \cdot Q_s \left( \frac{m_s}{Q_s} \cdot s + 1 \right)} \cdot Q_s(s) + \frac{(V_{in} - V_{out})}{C_s \cdot Q_s \left( \frac{m_s}{Q_s} \cdot s + 1 \right)} \cdot P_a(s) \quad 3.8$$

dengan :

$P_a$  : tekanan udara (air) yang masuk ke autoclave

$C_s$  : kapasitas panas spesifik *steam*

$T_{st}$  : temperatur *steam input*

$T_{so}$  : temperatur *steam output* (temperatur autoclave)

$Q_s$  : aliran *steam*

$m_s$  : massa dari *steam*



Dengan memasukkan nilai dari data teknis maka didapatkan fungsi alih dari autoclave sebagai berikut :

$$T_{ic} = \frac{4,609}{4,9852s+1} \cdot P_v(s) + \frac{14,5714}{4,9852s+1} \cdot Q_v(s) \quad 3.9$$

### 3.2 Fungsi Alih Katub Kendali Steam

*Control valve* berfungsi untuk mengubah variabel yang dikendalikan menjadi sinyal keluaran aktuator yaitu gerakan mekanik dari *valve* yang akan mengatur laju aliran fluida dan sekaligus merupakan elemen yang berfungsi untuk memanipulasi variabel proses

Berdasarkan spesifikasi dari autoclave, katub yang digunakan untuk mengendalikan adalah tipe *butterfly* dengan karakteristik *equal percentage*. Fungsi alih katub kendali dinyatakan sebagai fungsi alih sistem orde satu :

$$\frac{X(s)}{P(s)} = \frac{K_{cv}}{T_{cv}s+1} \quad 3.10$$

dengan

$X(s)$  = posisi katub kendali

$P(s)$  = besar tekanan katub kendali

$K_{cv}$  = gain katub kendali

$T_{cv}$  = konstanta waktu dari katub kendali

Nilai dari gain katub kendali diperoleh dari :

$$K_{cv} = \frac{\Delta x}{\Delta p} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta i} = \frac{3}{0,12} \cdot \frac{0,12}{16} = 0,1875 \text{ inch/mA} \quad 3.11$$

dengan

$\Delta x$  : posisi katub kendali steam maksimum

$\Delta p$  : selisih tekanan masukan dan keluaran

$\Delta i$  : selisih arus masukan dan keluaran

dengan memasukkan nilai spesifikasi teknis, maka fungsi alih katub kendali secara keseluruhan adalah sebagai berikut :

$$\frac{X(s)}{I(s)} = \frac{0,1875}{30,16s+1} \quad 3.12$$

### 3.3 Fungsi Alih Proses Aliran

Fungsi aliran proses ini berdasarkan pemodelan dari skripsi sebelumnya. Aliran *steam* ( $Q_s$ ) merupakan fungsi dari katub *steam* ( $X$ ), tekanan *input* katub kendali ( $P_1$ ) dan tekanan *output* katub kendali ( $P_2$ ).

$$Q_s = f(X, P_1, P_2) \quad 3.13$$

Untuk mencari  $\Delta Q_s$ ,  $Q_s$  didiferensialkan secara parsial terhadap masing-masing variabel.

$$\Delta Q_s = \frac{dQ_s}{dx} \cdot \Delta x + \frac{dQ_s}{dP_1} \Delta P_1 + \frac{dQ_s}{dP_2} \Delta P_2 \quad 3.14$$

Misal :

$$\frac{dQ_s}{dx} = K_1 \quad 3.15$$

$$\frac{dQ_s}{dP_1} = \frac{Q_s}{2(P_1 - P_2)} = K_2 \quad 3.16$$

$$\frac{dQ_s}{dP_2} = \frac{Q_s}{2(P_2 - P_1)} = -K_2 \quad 3.17$$

dengan

$Q_s$  = aliran *steam*

$x$  = posisi katub kendali

$P_1$  = tekanan *input* katub kendali *steam*

$P_2$  = tekanan *output* katub kendali *steam*

Untuk memperoleh nilai  $Q_s$ , maka tiap persamaan diferensial parsial diintegrasikan, sehingga diperoleh :

$$Q_s = K_1 \cdot x + K_2 \cdot (P_1 - P_2) \quad 3.18$$

Nilai  $K_1$  dan  $K_2$  diperoleh berdasarkan penghitungan data spesifikasi teknis dari autoclave, yaitu :

$$K_1 = \frac{dQ_s}{dx} = \frac{2,98 - 0,75}{3(100\% - 10\%)} = 0,8529 \text{ kg/s} \cdot \text{inch} \quad 3.19$$

$$K_2 = \frac{Q_s}{2(P_1 - P_2)} = \frac{1,98}{2(3,55 - 1,85)} = 0,5824 \text{ kg/s} \cdot \text{psi} \quad 3.20$$

dalam transformasi laplace menjadi

$$Q_s = 0,8529 X(s) + 0,5824 \Delta P(s) \quad 3.21$$

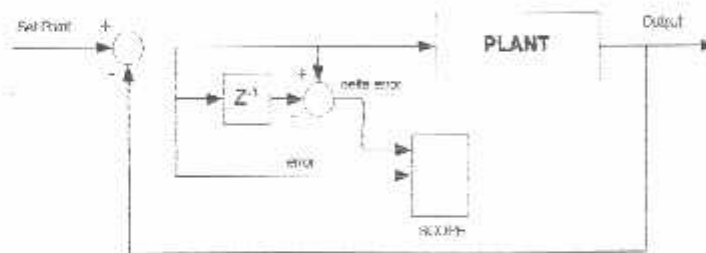
### 3.4 Perencanaan Kontroler ANFIS

Perencanaan kontroler ini menggunakan ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*). ANFIS ini merupakan penggabungan mekanisme *fuzzy inference system* yang digambarkan dalam jaringan syaraf. Sistem *inference fuzzy* yang digunakan adalah model Takagi-Sugeno-Kang. ANFIS yang dirancang memiliki dua variabel masukan yaitu *error* dan *delta error*, serta satu variabel keluaran yaitu besarnya arus yang masuk ke *control valve*.

Tahap-tahap yang dilakukan dalam perancangan ANFIS ini meliputi tahap pengambilan data *training*, pembentukan *fuzzy inference system*, pembelajaran FIS, defuzzifikasi FIS dan pengetesan FIS.

#### 3.4.1 Pengambilan Data Training

Data yang digunakan sebagai data *training* adalah data *error* dan *delta error* serta data *output* (keluaran) *fuzzy* yang diinginkan. Pengambilan data *training* terlihat pada gambar 4.2



Gambar 3.2. Pengambilan data *training*

Data yang didapatkan berjumlah 900 pasangan data yaitu *error* dan *delta error* melalui proses pensamplingan. 900 pasangan data digunakan untuk proses pembelajaran ANFIS, sedang 900 data lainnya merupakan target yang digunakan untuk mengetes hasil pembelajaran dari ANFIS. Pasangan data yang diperoleh terdiri dari 300 pasangan data untuk beban 1 psi, 300 lainnya untuk 1,7 psi dan 300 lainnya untuk beban 2,4 psi. Cuplikan data yang telah didapatkan dapat dilihat dalam tabel 3.1, 3.2 dan 3.3

**Tabel 3.1.** Cuplikan sinyal *error* dan *delta error* untuk pembelajaran ANFIS pada beban 1 psi

<i>Time</i>	<i>Error</i>	<i>D_Error</i>
0	105	105
1	89.774	-15.226
2	76.297	-13.478
3	64.432	-11.864
4	54.048	-10.384
5	45.013	-9.0351
6	37.201	-7.8122
7	30.491	-6.7101
8	24.769	-5.7221
9	19.927	-4.8414
10	15.867	-4.0606
11	12.494	-3.3722
12	9.7258	-2.7686
13	7.4833	-2.2425
14	5.6965	-1.7868
15	4.3018	-1.3946
16	3.2423	-1.0595
17	2.467	-0.77529
18	1.9308	-0.53628
19	1.5935	-0.33721
20	1.4203	-0.1732
21	1.3805	-0.03981
22	1.4476	0.067017
23	1.5985	0.15094
24	1.8137	0.21524
25	2.0766	0.26287
26	2.373	0.29644
27	2.6913	0.31827
28	3.0217	0.33039
29	3.3563	0.33459

**Tabel 3.2.** Cuplikan sinyal *error* dan *delta error* untuk pembelajaran ANFIS pada beban 1.7 psi

<i>Time</i>	<i>Error</i>	<i>D_Error</i>
0	105	105
1	88.697	-16.303
2	74.35	-14.347
3	61.797	-12.553
4	50.878	-10.919
5	41.441	-9.4376
6	33.338	-8.1031
7	26.43	-6.9072
8	20.589	-5.8415
9	15.692	-4.8969
10	11.628	-4.0643
11	8.293	-3.3346

12	5.5942	-2.6988
13	3.4459	-2.1483
14	1.7713	-1.6746
15	0.50128	-1.27
16	-0.42577	-0.92706
17	-1.0645	-0.63878
18	-1.4633	-0.3988
19	-1.6646	-0.20122
20	-1.7052	-0.04065
21	-1.6174	0.087829
22	-1.4287	0.18864
23	-1.163	0.26576
24	-0.84024	0.32275
25	-0.47744	0.3628
26	-0.08876	0.38868
27	0.31411	0.40287
28	0.72163	0.40752
29	1.1261	0.4045

**Tabel 3.3.** Cuplikan sinyal *error* dan *delta error* untuk pembelajaran ANFIS pada beban 2,4 psi

<i>Time</i>	<i>Error</i>	<i>D. Error</i>
0	105	105
1	87.82	-17.38
2	72.404	-15.216
3	59.161	-13.242
4	47.708	-11.453
5	37.868	-9.84
6	29.474	-8.3939
7	22.37	-7.1044
8	16.409	-5.9609
9	11.457	-4.9524
10	7.3887	-4.068
11	4.0916	-3.2971
12	1.4626	-2.6291
13	-0.59143	-2.054
14	-2.1539	-1.5624
15	-3.2993	-1.1454
16	-4.0939	-0.79459
17	-4.5961	-0.50227
18	-4.8574	-0.26132
19	-4.9227	-0.06523
20	-4.8308	0.09191
21	-4.6153	0.21547
22	-4.305	0.31025
23	-3.9245	0.38058
24	-3.4942	0.43027
25	-3.0315	0.46272
26	-2.5506	0.48092
27	-2.0631	0.48747

28	-1.5784	0.48464
29	-1.104	0.4744

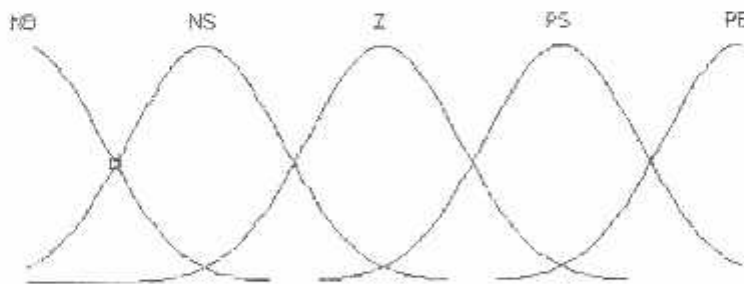
### 3.4.2 Pembentukan FIS

Pembentukan FIS ini meliputi proses fuzzifikasi atau pembentukan *membership error* dan *delta error*, penentuan aturan, defuzzifikasi

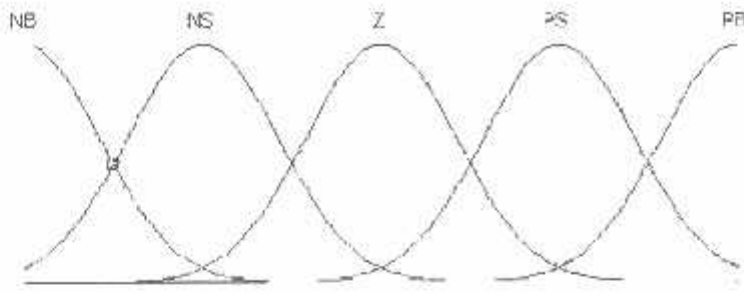
#### 3.4.2.1 Proses Fuzzifikasi

Sinyal *error* dan *delta error* yang didapatkan kemudian dilakukan proses fuzzifikasi dengan cara memetakan sinyal *error* dan *delta error* pada suatu *membership function*. *Membership function* yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *gaussian membership*. Tipe ini dipilih karena fungsi ini sangat sederhana dan hanya mempunyai 2 parameter serta mudah dalam penurunan fungsinya sehingga diharapkan perhitungan fungsi atau penurunan terhadap parameternya relatif lebih cepat.

Berdasarkan hasil pensamplingan data, pada tekanan 1 psi sinyal *error* dipetakan dalam range [1,3805 105] dan memiliki lima keanggotaan yaitu *Negatif Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positif Small* (PS), *Positif Big* (PB). Sedangkan sinyal *delta error* dipetakan dalam range [-15,226 105] dan memiliki lima keanggotaan yaitu *Negatif Big* (NB), *Negative Small* (NS), *Zero* (Z), *Positif Small* (PS), *Positif Big* (PB). Fungsi keanggotaan *error* dan *delta error* ditunjukkan pada gambar 3.3 dan gambar 3.4

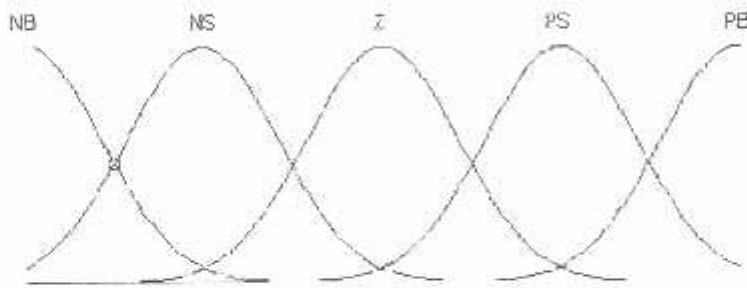


Gambar 3.3. *Membership Error* pada tekanan 1 psi

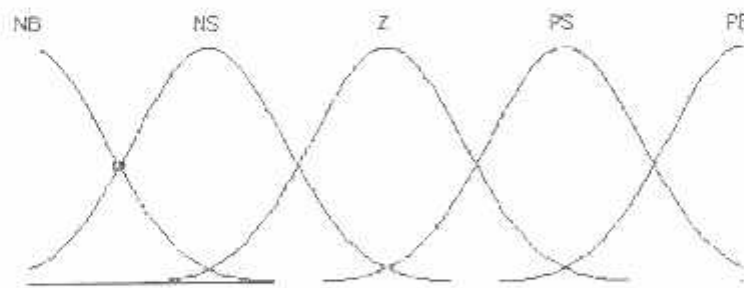


**Gambar 3.4.** *Membership Delta Error* pada tekanan 1 psi

Pada tekanan 1,7 psi, sinyal *error* dipetakan dalam range  $[-1,7052 \ 105]$  dengan keanggotaan NB, NS, Z, PS, dan PB. Sedangkan sinyal *delta error* dipetakan dalam range  $[-16,503 \ 105]$  dengan fungsi keanggotaan NB, NS, Z, PS, dan PB. Fungsi keanggotaan sinyal *error* dan *delta error* pada tekanan 1,7 psi dapat dilihat dalam gambar 3.5 dan 3.6

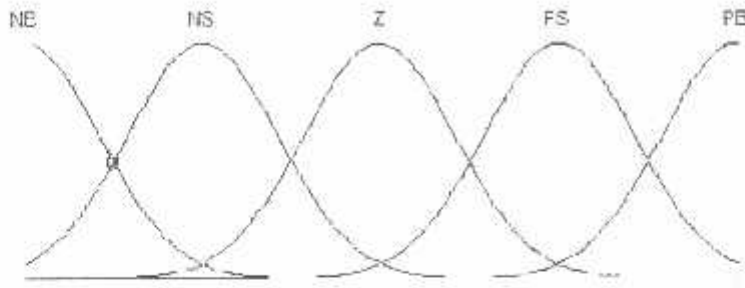


**Gambar 3.5.** *Membership Error* pada tekanan 1,7 psi

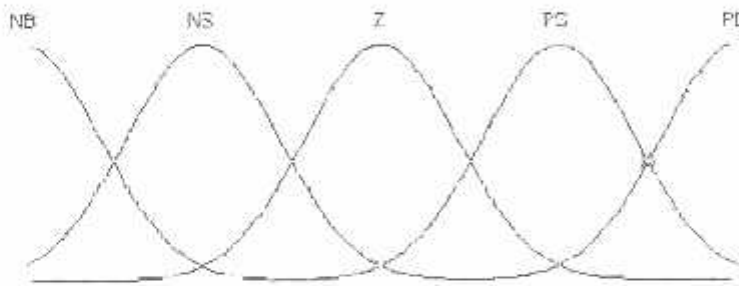


**Gambar 3.6.** *Membership Delta Error* pada tekanan 1,7 psi

Pada tekanan 2,4 psi, sinyal *error* dan *delta error* memiliki lima fungsi keanggotaan yang sama yaitu NB, NS, Z, PS, dan PB. Sinyal *error* dipetakan dalam range [-4,927 105] sedangkan untuk sinyal *delta error* pada range [-17,381 105] seperti terlihat dalam gambar 3.7 dan 3.8



Gambar 3.7. Membership Error pada tekanan 2,4 psi



Gambar 3.8. Membership Delta Error pada tekanan 2,4 psi

### 3.4.2.2 Penentuan Aturan

Penentuan komposisi aturan merupakan tahap selanjutnya setelah penentuan *range* dan label himpunan *fuzzy* masukan/keluaran. Aturan yang dibuat sebanyak 25 aturan dimana semua keanggotaan dari sinyal *error* bertemu dengan semua keanggotaan sinyal *delta error*, begitu juga sebaliknya, semua keanggotaan sinyal *delta error* bertemu dengan semua keanggotaan sinyal *error*.

Metode penalaran *fuzzy* yang dipergunakan oleh kontroler logika *neuro fuzzy* (ANFIS) adalah metode MAX-DOT karena tipe ini mendukung fungsi  $\frac{\partial w_i}{\partial \mu}$  yang digunakan dalam pelatihan ANFIS.

$$w_i = \mu_{A_i} \cdot \mu_{B_i}$$

3.22



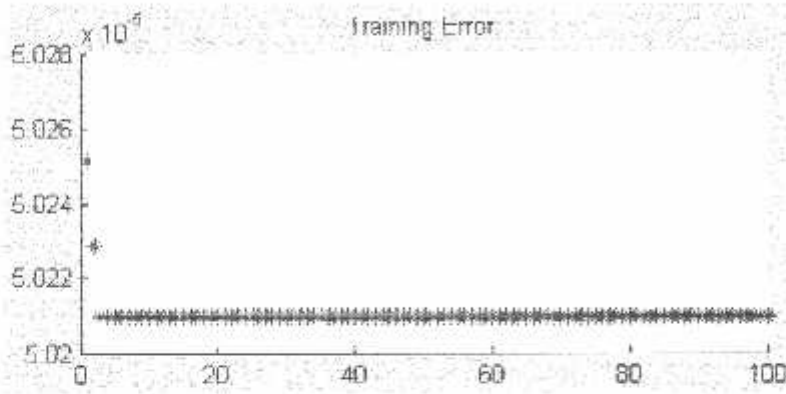
Tabel 3.4. Aturan *fuzzy* untuk ANFIS

No	IF	Variabel <i>Error</i>	AND	Variabel <i>d Error</i>	THEN	Z
1	IF	E = NB	AND	dE = NB	THEN	Z1
2	IF	E = NB	AND	dE = NS	THEN	Z2
3	IF	E = NB	AND	dE = Z	THEN	Z3
4	IF	E = NB	AND	dE = PS	THEN	Z4
5	IF	E = NB	AND	dE = PB	THEN	Z5
6	IF	E = NS	AND	dE = NB	THEN	Z6
7	IF	E = NS	AND	dE = NS	THEN	Z7
8	IF	E = NS	AND	dE = Z	THEN	Z8
9	IF	E = NS	AND	dE = PS	THEN	Z9
10	IF	E = NS	AND	dE = PB	THEN	Z10
11	IF	E = Z	AND	dE = NB	THEN	Z11
12	IF	E = Z	AND	dE = NS	THEN	Z12
13	IF	E = Z	AND	dE = Z	THEN	Z13
14	IF	E = Z	AND	dE = PS	THEN	Z14
15	IF	E = Z	AND	dE = PB	THEN	Z15
16	IF	E = PS	AND	dE = NB	THEN	Z16
17	IF	E = PS	AND	dE = NS	THEN	Z17
18	IF	E = PS	AND	dE = Z	THEN	Z18
19	IF	E = PS	AND	dE = PS	THEN	Z19
20	IF	E = PS	AND	dE = PB	THEN	Z20
21	IF	E = PB	AND	dE = NB	THEN	Z21
22	IF	E = PB	AND	dE = NS	THEN	Z22
23	IF	E = PB	AND	dE = Z	THEN	Z23
24	IF	E = PB	AND	dE = PS	THEN	Z24
25	IF	E = PB	AND	dE = PB	THEN	Z25

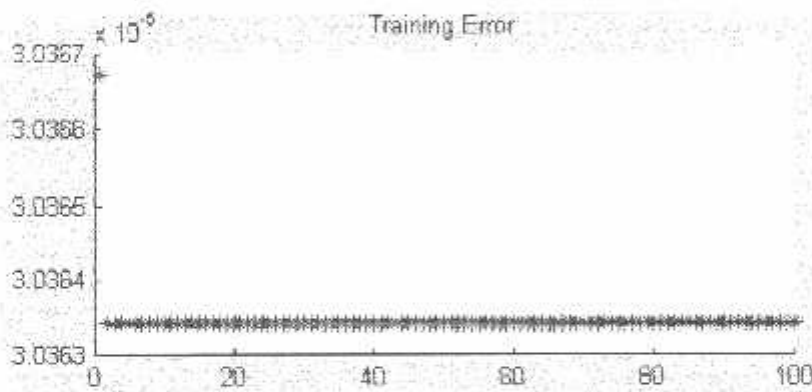
### 3.4.2.3 Pembelajaran FIS

Setelah dilakukan pembentukan FIS, langkah selanjutnya adalah melakukan proses pembelajaran FIS. Metode belajar yang digunakan ANFIS pada skripsi ini adalah metode *hybrid off-line* yang merupakan penggabungan antara metode LSE dan *gradient descent*. Metode *hybrid* dipakai karena relatif lebih cepat mencapai konvergen, sehingga relatif cepat pula dalam mencari parameter

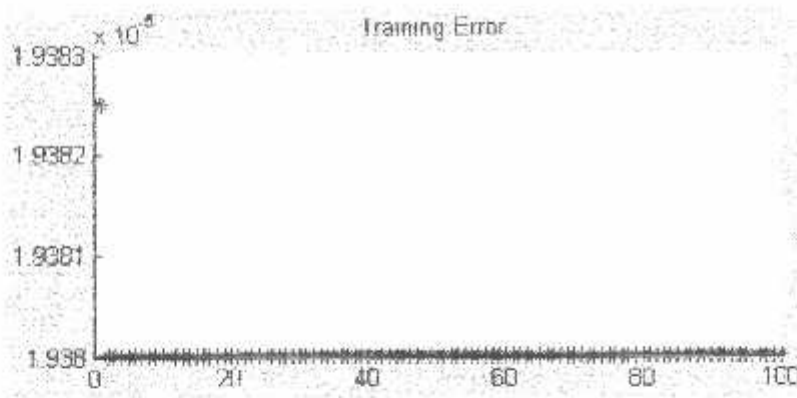
dengan kesalahan minimal seperti yang diinginkan. Dalam penggunaannya metode *hybrid* terdiri dari dua tahap. Tahap pertama adalah mencari *consequent parameter*. Pada tahap ini, metode belajar yang digunakan adalah metode LSE. Tahap kedua digunakan untuk mencari *premise parameter* (parameter fungsi keanggotaan masukan). Pada tahap ini, metode belajar yang digunakan adalah metode *gradient descent*.



Gambar 3.9. Proses pembelajaran pada tekanan 1 psi

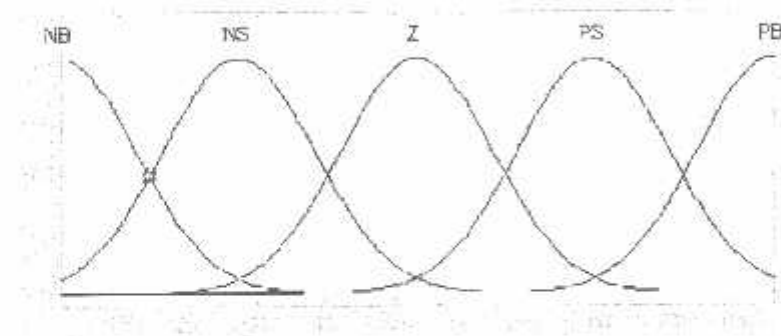


Gambar 3.10. Proses pembelajaran pada tekanan 1,7 psi

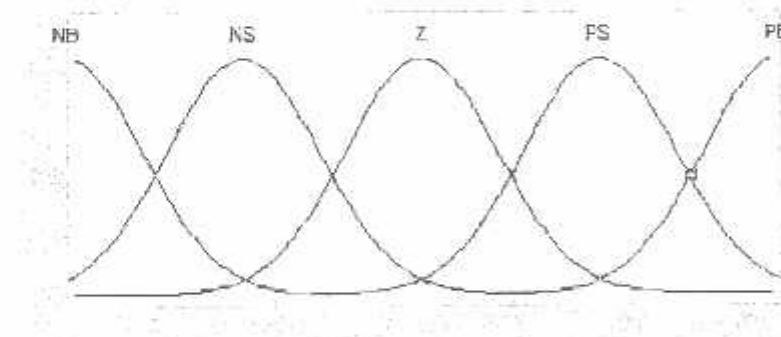


Gambar 3.11. Proses pembelajaran pada tekanan 2,4 psi

*Membership error* dan *delta error* setelah proses pembelajaran pada tekanan 1 psi ditunjukkan pada gambar 3.12. dan 3.13.

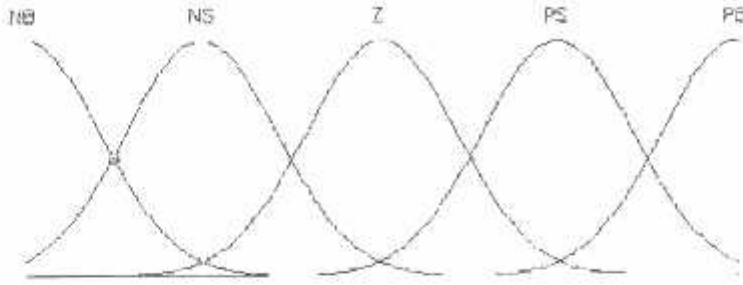


Gambar 3.12. *Membership error* setelah pembelajaran pada tekanan 1 psi

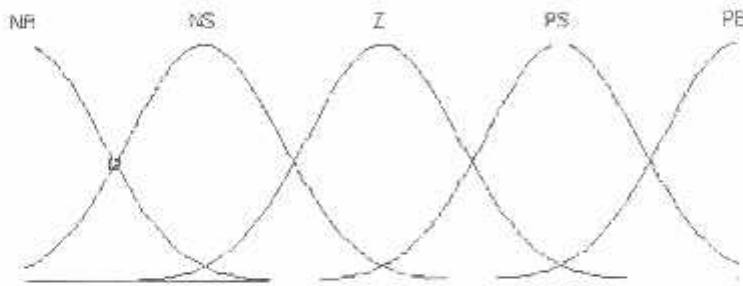


Gambar 3.13. *Membership delta error* setelah pembelajaran pada tekanan 1 psi

*Membership error* dan *delta error* setelah proses pembelajaran pada tekanan 1,7 psi ditunjukkan pada gambar 3.14. dan 3.15.

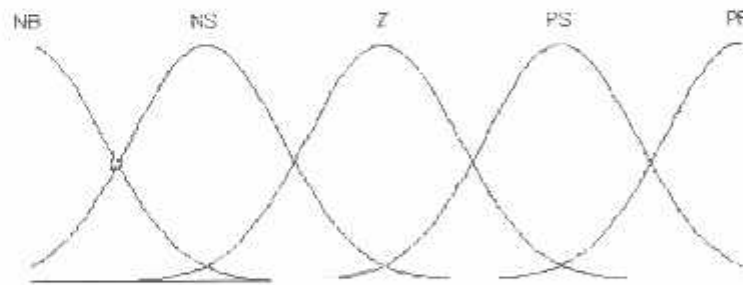


**Gambar 3.14.** *Membership error* setelah pembelajaran pada tekanan 1,7 psi

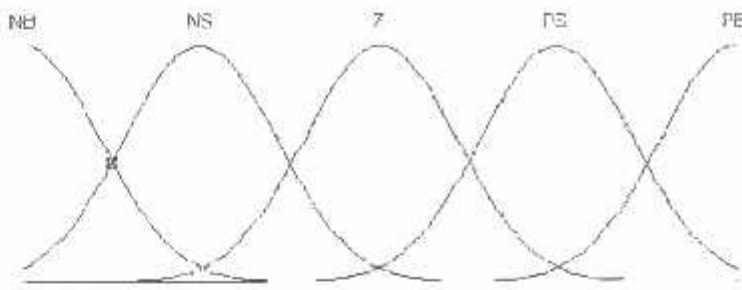


**Gambar 3.15.** *Membership delta error* setelah pembelajaran pada tekanan 1,7 psi

*Membership error* dan *delta error* setelah proses pembelajaran pada tekanan 2,4 psi ditunjukkan pada gambar 3.16. dan 3.17.



**Gambar 3.16.** *Membership error* setelah pembelajaran pada tekanan 2,4 psi



Gambar 3.17. *Membership delta error* setelah pembelajaran pada lekaran 2,4 psi

#### 3.4.2.4 Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses pemetaan himpunan *fuzzy* ke himpunan *crisp*. Proses ini merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi berfungsi untuk mengubah keluaran linguistik ke dalam keluaran *crisp*.

Metode yang digunakan pada skripsi ini adalah dengan menggunakan metode *weight average*. Metode ini *valid* digunakan untuk bentuk fungsi keanggotaan yang simetri dengan formulasi:

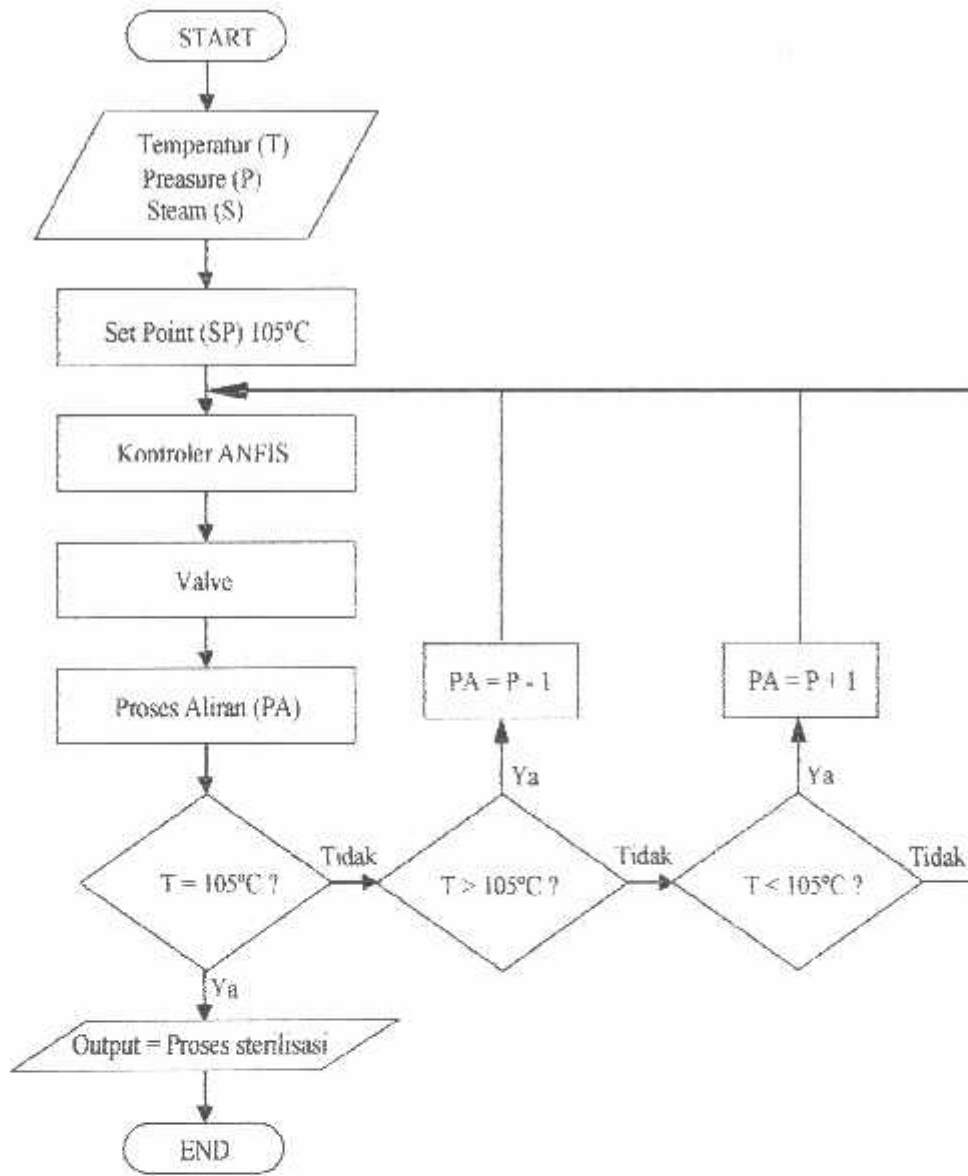
$$z^* = \frac{\sum \mu_i(z) \cdot z}{\sum \mu_i(z)} \quad 3.23$$

dengan

$z^*$  = nilai keluaran kontroler

$z$  = nilai tengah keluaran tiap fungsi keluaran keanggotaan fuzzy

$\mu_i$  = derajat keanggotaan hasil inferensi *fuzzy*



Gambar 3.18. Flowchart proses sistem

## BAB IV

### SIMULASI DAN ANALISIS SISTEM

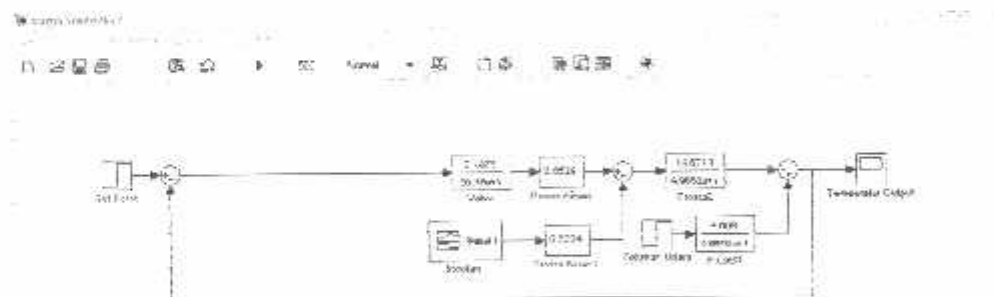
Pada bab ini akan dibahas tentang simulasi dari sistem yang telah dirancang dengan menggunakan kontroler ANFIS. Analisis digunakan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem setelah diberikan kontroler dan keandalannya dalam mengatasi variasi beban yang diberikan.

Simulasi dilakukan pada tekanan 1 psi, 1,7 psi dan 2,4 psi. Pengujian yang dilakukan meliputi

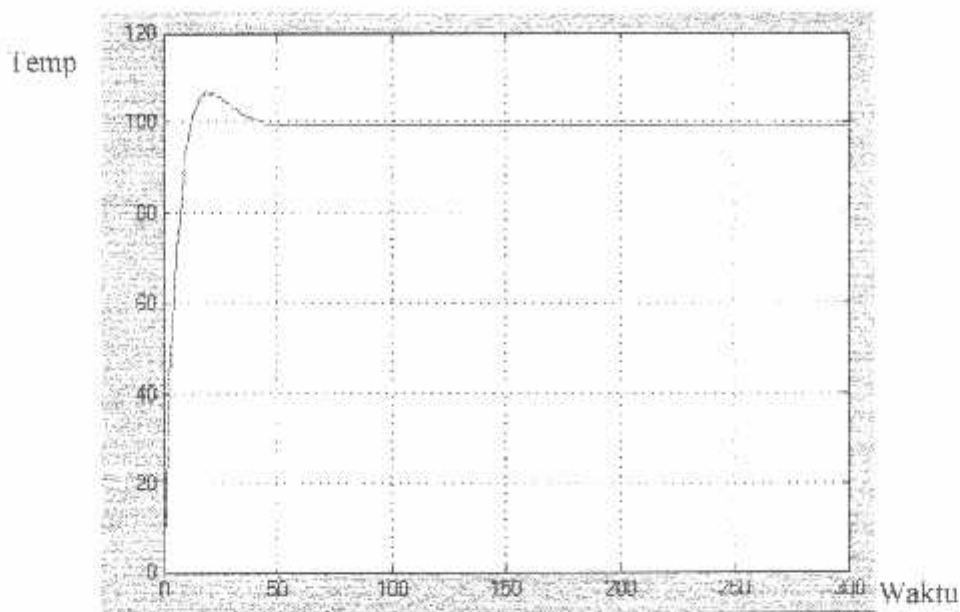
1. Pengujian model *plant*.
2. Pengujian sistem ketika diberikan kontroler ANFIS.
3. Pengujian sistem dengan perubahan beban.

#### 4.1 Pengujian Model Plant

Pengujian model dilakukan untuk mengetahui kevalidan dari model yang telah dirancang. Pengujian model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dari *plant* dengan data hasil proses *plant* di pabrik.



Gambar 4.1 Simulasi model *plant*.



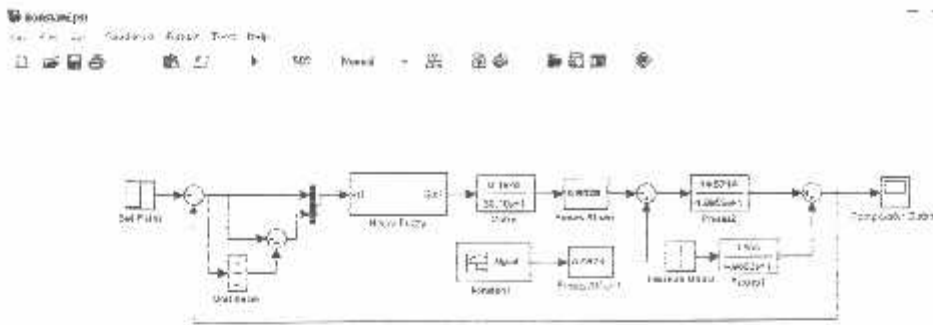
Gambar 4.2 Respon keluaran model *plant*

Sesuai dengan gambar 4.2, sistem akan mencapai keadaan mantap pada temperatur 99.42 °C dengan waktu naik / *rise time*,  $t_r$  sebesar 9,835 detik, waktu puncak / *peak time*  $t_p$  sebesar 20 detik, waktu menetap / *settling time*,  $t_s$  sebesar 106,61 detik, lonjakan maksimum / *maximum overshoot*,  $M_p$  sebesar 8,95 % dan kesalahan keadaan mantap / *error steady state*,  $e_{ss}$  sebesar -5,31%. Hal ini dikarenakan pendekatan linier dari fungsi alih tiap blok dalam sistem.

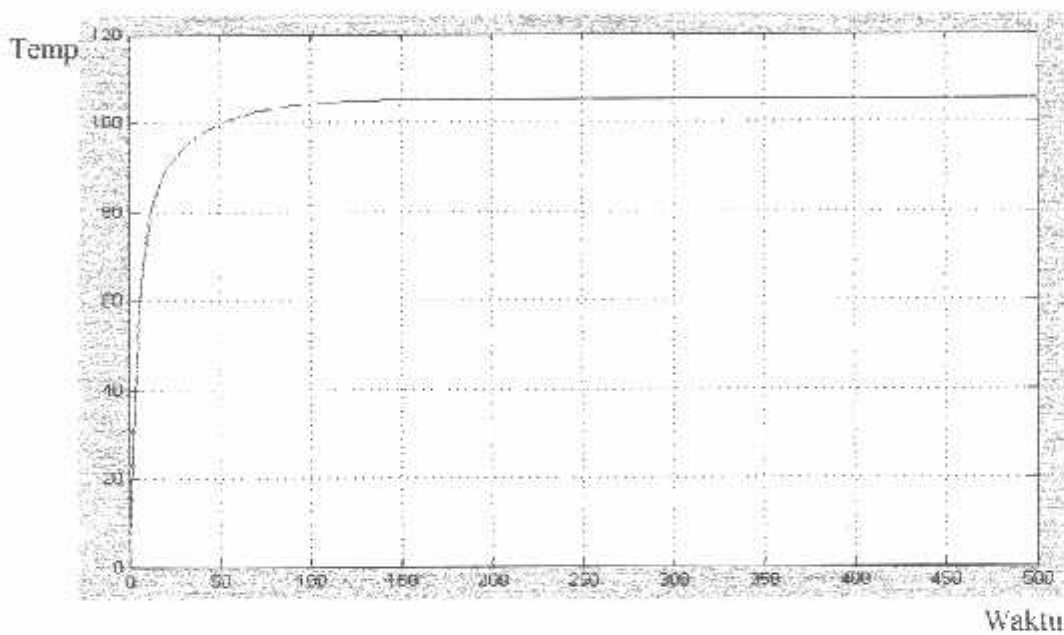
#### 4.2 Pengujian Dengan Menggunakan Kontroler ANFIS

Pengujian dengan menggunakan kontroler ini dilakukan untuk mengetahui performansi dari kontroler ANFIS dalam meminimalkan *error* akibat perubahan tekanan *steam* yang berbeda. Respon keluaran sistem untuk tekanan 1 psi dapat dilihat dalam gambar 4.4





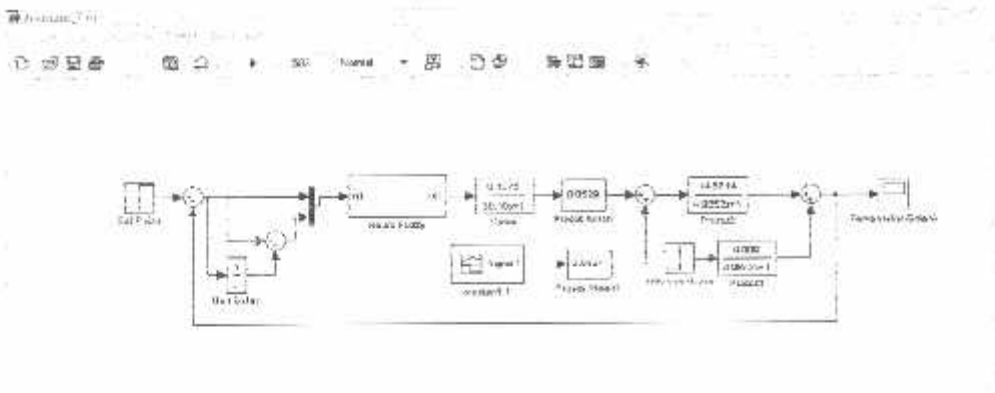
Gambar 4.3 Pengujian menggunakan kontroler ANFIS dengan tekanan 1 psi



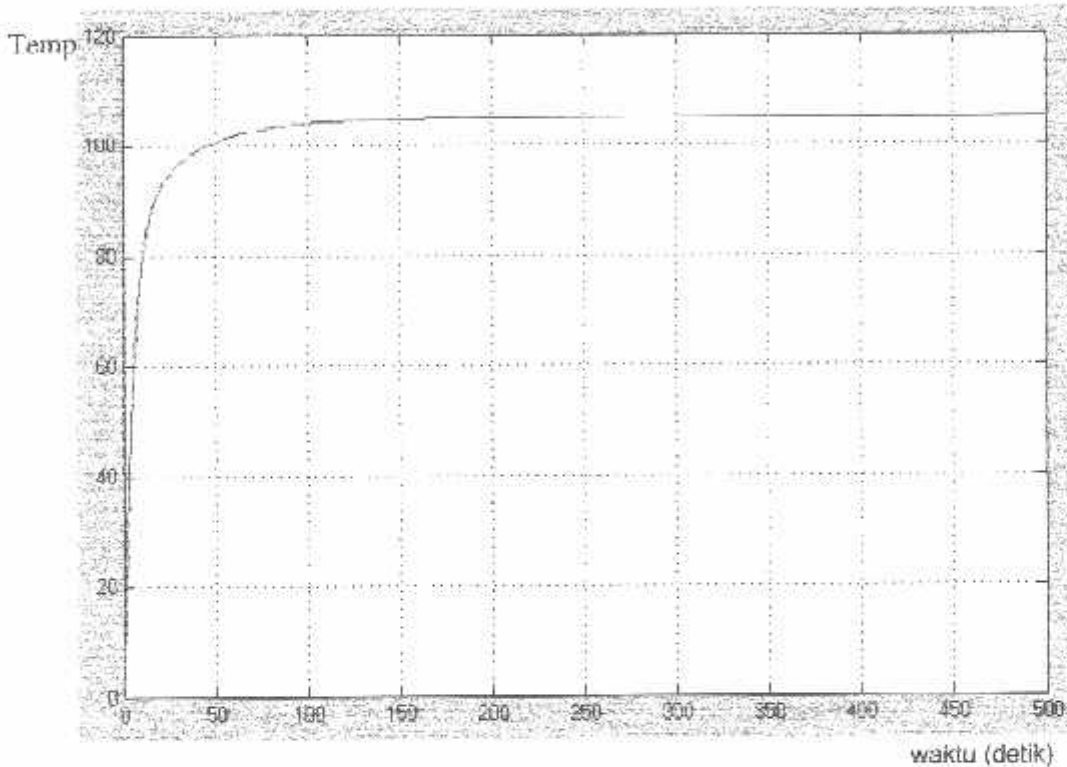
Gambar 4.4 Respon sistem menggunakan kontroler ANFIS untuk tekanan sebesar 1 psi

Dari respon sistem dengan tekanan konstan sebesar 1 psi (gambar 4.3) dapat disimpulkan performansi sistem sebagai berikut :

Waktu naik	: 35,322 detik
Waktu menetap / <i>settling time</i> , $t_s$ (dengan $e_{ss}$ 2%)	: 193,5 detik
Temperatur saat keadaan mantap / <i>steady state</i>	: 105,25°C
Kesalahan keadaan mantap / <i>error steady state</i> , $e_{ss}$	: 0,238 %



Gambar 4.5 Pengujian menggunakan kontroler ANFIS dengan tekanan 1,7 psi



Gambar 4.6 Respon sistem menggunakan kontroler ANFIS untuk tekanan sebesar 1,7 psi

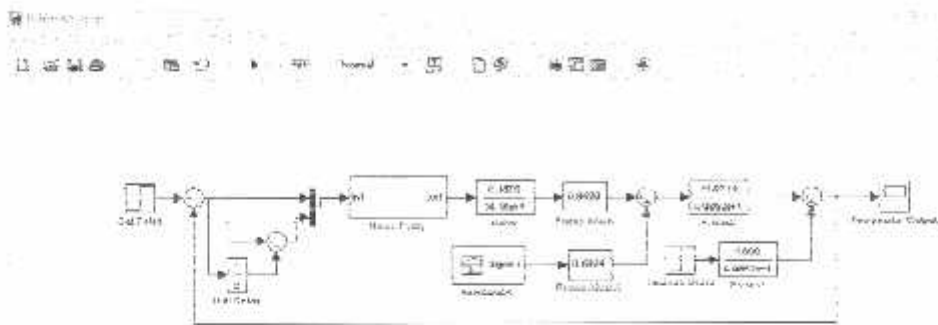
Untuk respon sistem dengan tekanan konstan sebesar 1,7 psi (gambar 4.6) dapat disimpulkan performansi sistem sebagai berikut :

Waktu naik : 22,433 detik

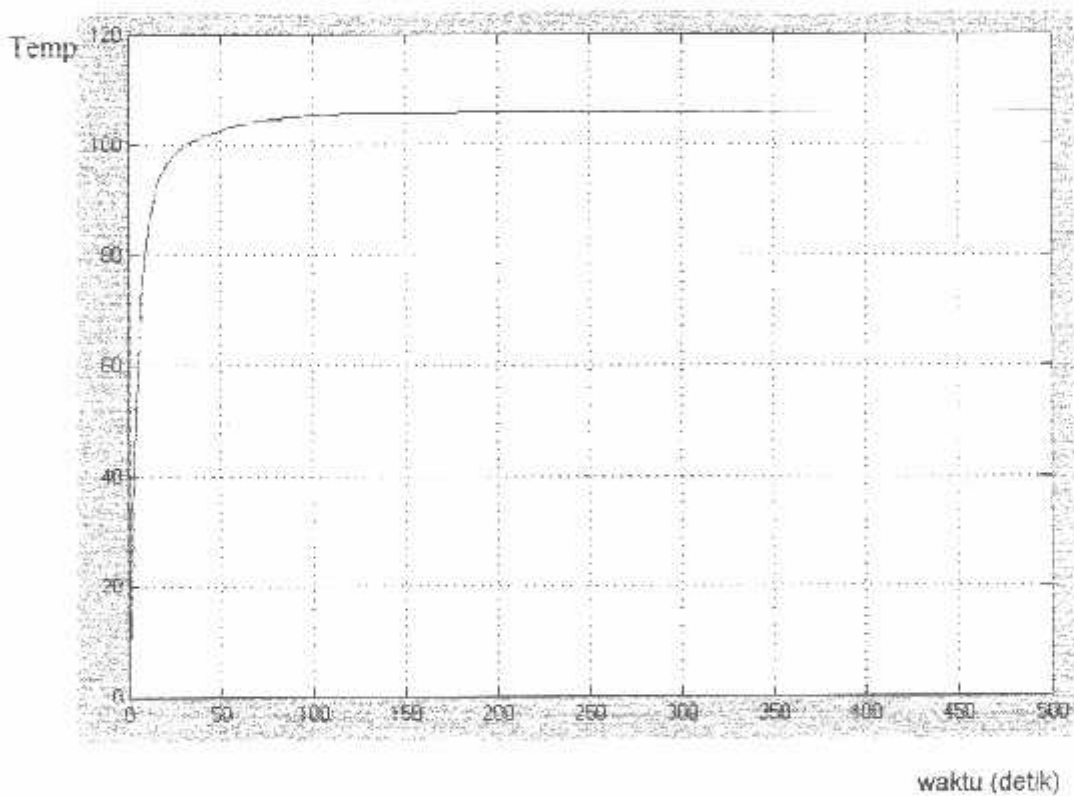
Waktu menetap / *settling time*,  $t_s$  (dengan  $e_{ss}$  2%) : 181,5 detik

Temperatur saat keadaan mantap / *steady state* : 104,73°C

Kesalahan keadaan mantap / *error steady state, e<sub>ss</sub>* : -0,257 %



Gambar 4.7 Pengujian menggunakan kontroler ANFIS dengan tekanan 2.4 psi



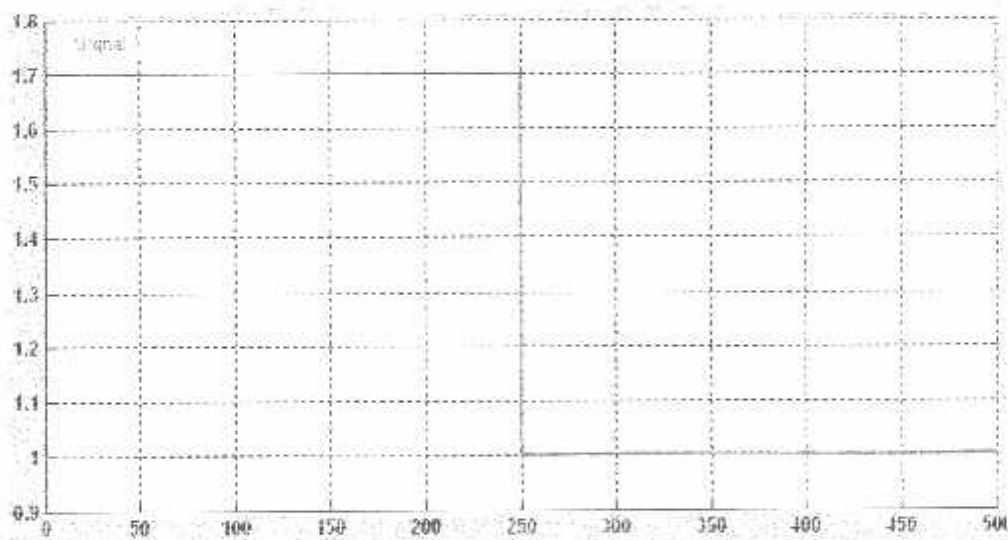
Gambar 4.8 Respon sistem menggunakan kontroler ANFIS untuk tekanan sebesar 2.4 psi

Sedangkan respon sistem dengan tekanan konstan sebesar 2,4 psi (gambar 4.8) dapat disimpulkan performansi sistem sebagai berikut :

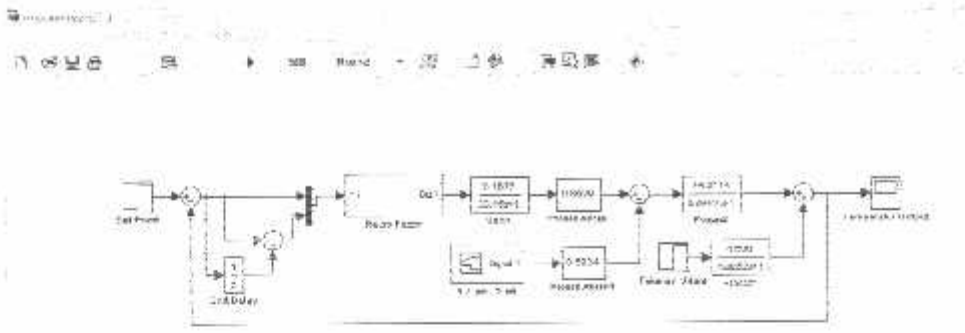
Waktu naik	: 18,346 detik
Waktu menetap / <i>settling time</i> , $t_s$ (dengan $e_{ss}$ 2%)	: 179,5 detik
Temperatur saat keadaan mantap / <i>steady state</i>	: 105,64°C
Kesalahan keadaan mantap / <i>error steady state</i> , $e_{ss}$	: 0,609 %

### 4.3 Pengujian Dengan Perubahan Beban

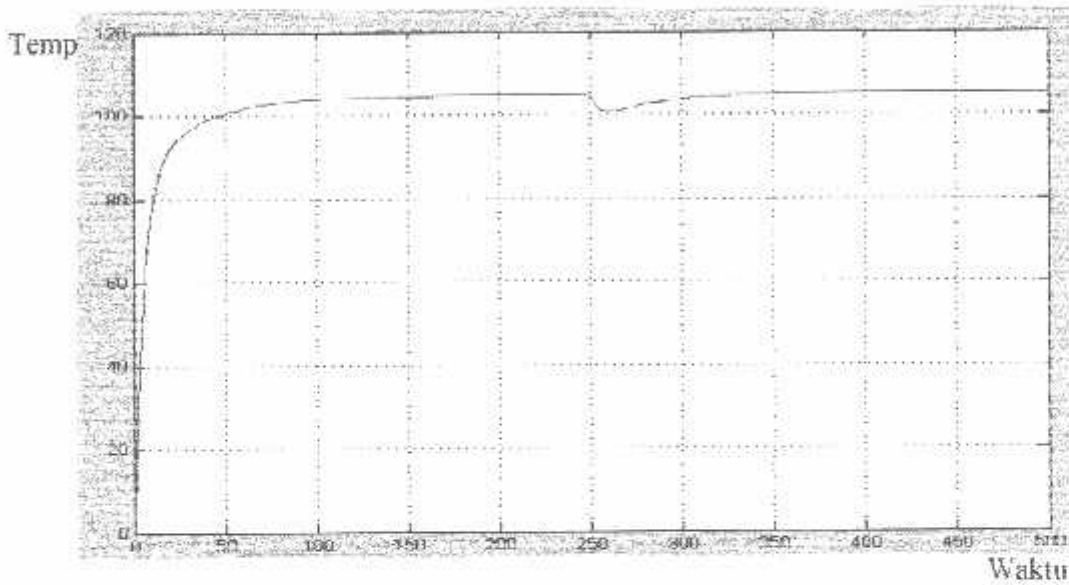
Pengujian pada tekanan 1,7 psi ke 1 psi terlihat pada gambar 4.9 dan 4.11. Gambar 4.9 merupakan grafik perubahan tekanan sedangkan gambar 4.11 adalah respon keluaran dari sistem secara keseluruhan



Gambar 4.9 Grafik perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 1 psi



Gambar 4.10 Pengujian dengan perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 1 psi

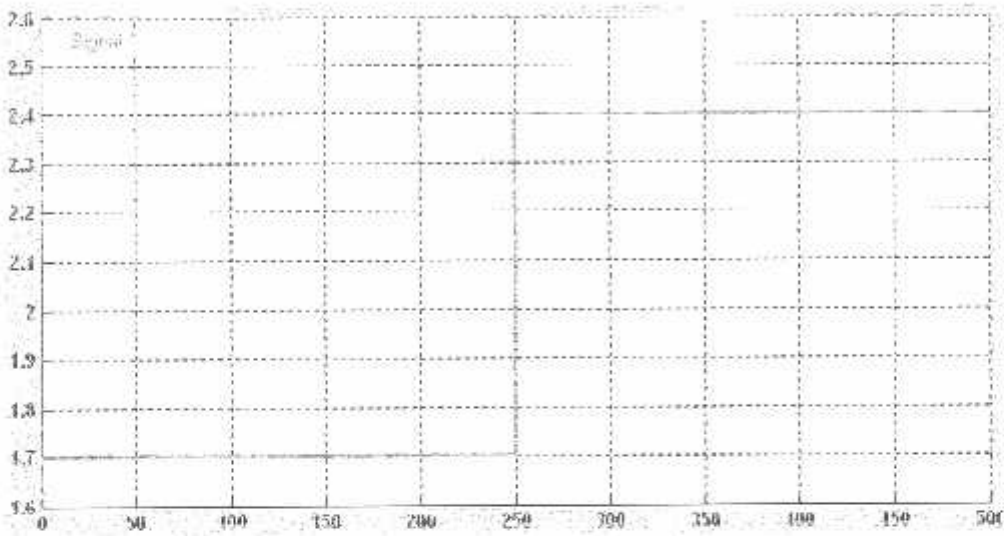


Gambar 4.11 Respon sistem menggunakan kontroler ANFIS untuk perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 1 psi

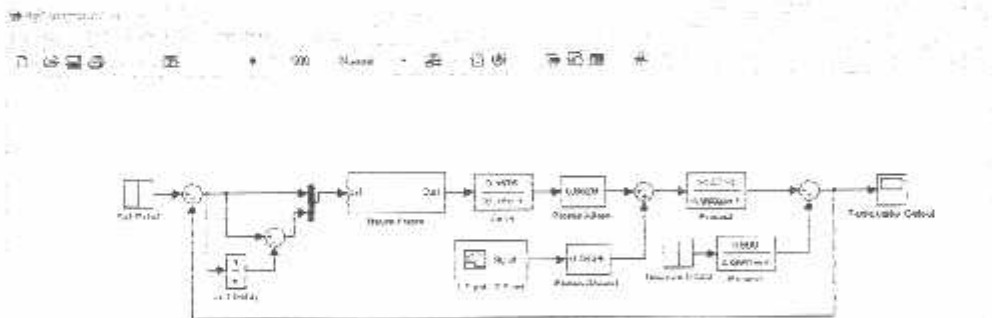
Untuk respon sistem dengan perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 1 psi (gambar 4.11) dapat disimpulkan performansi sistem sebagai berikut:

Lonjakan minimum	: -4,14 %
Waktu pemulihan	: 100 detik
Temperatur saat keadaan mantap / <i>steady state</i>	: 105,235°C
Kesalahan keadaan mantap / <i>error steady state, e<sub>ss</sub></i>	: 0,23%

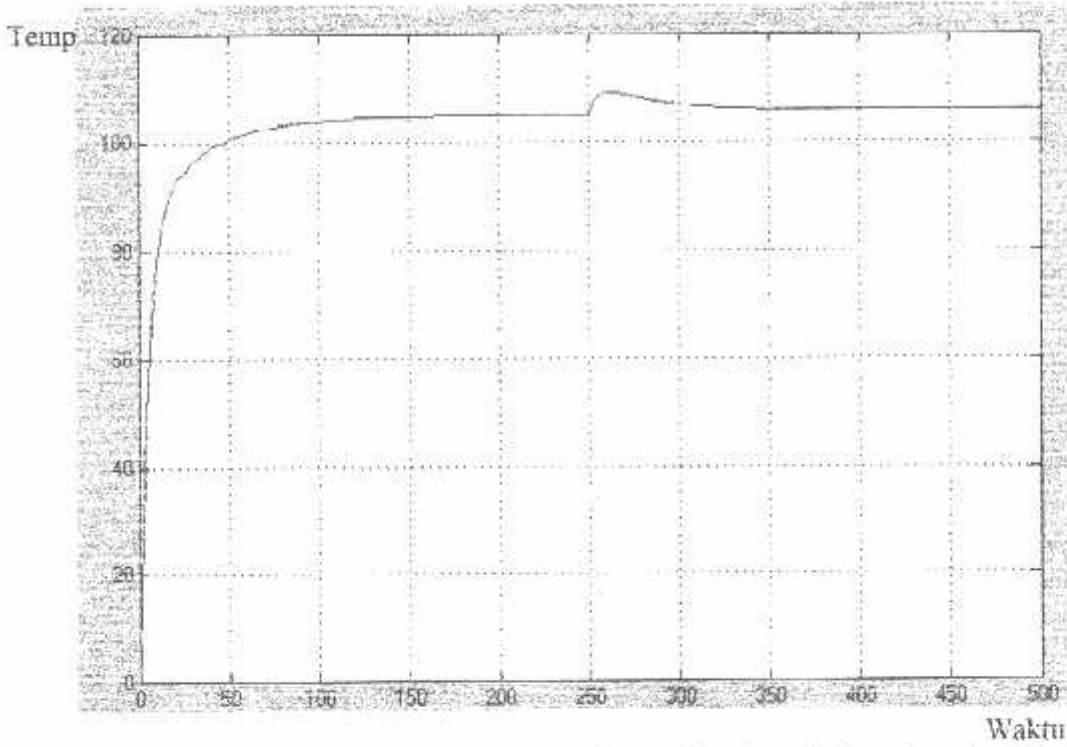
Pengujian pada tekanan 1,7 psi ke 2,4 psi terlihat pada gambar 4.12 dan 4.14. Gambar 4.12 merupakan grafik perubahan tekanan sedangkan gambar 4.14 adalah respon keluaran dari sistem secara keseluruhan



Gambar 4.12 Grafik perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 2,4 psi



Gambar 4.13 Pengujian dengan perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 2,4 psi



**Gambar 4.14** Respon sistem menggunakan kontroler ANFIS untuk perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 2,4 psi

Respon sistem dengan perubahan tekanan dari 1,7 psi ke 2,4 psi (gambar 4.14) dapat disimpulkan performansi sistem sebagai berikut:

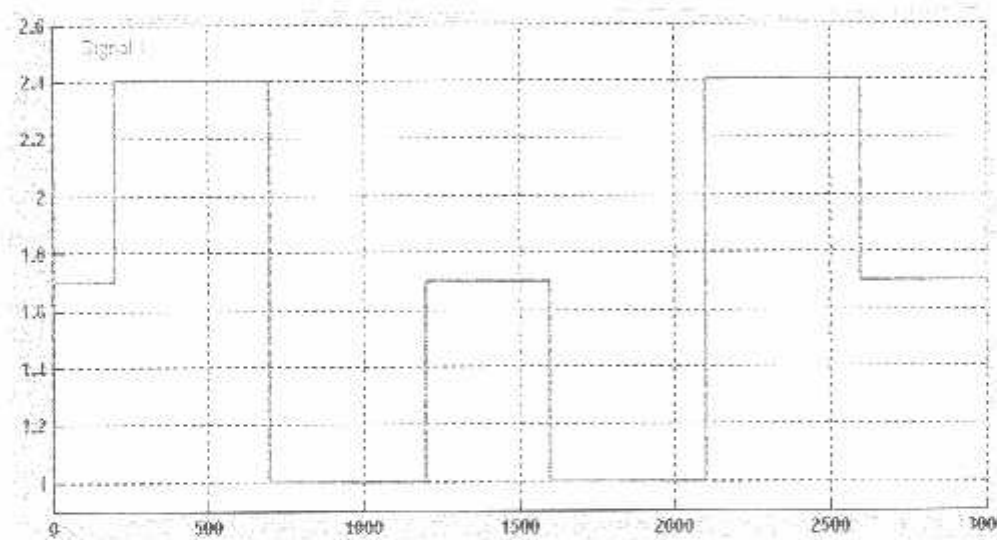
Lonjakan maksimum	: 3,86%
Waktu pemulihan	: 100 detik
Temperatur saat keadaan mantap / <i>steady state</i>	: 105,67°C
Kesalahan keadaan mantap/ <i>error steady state, <math>e_{ss}</math></i>	: 0,638 %

Untuk mengetahui respon sistem terhadap sinyal gangguan berupa perubahan tekanan, dilakukan simulasi sebagai berikut :

1. Sistem dengan tekanan normal berlangsung sampai keadaan mantap

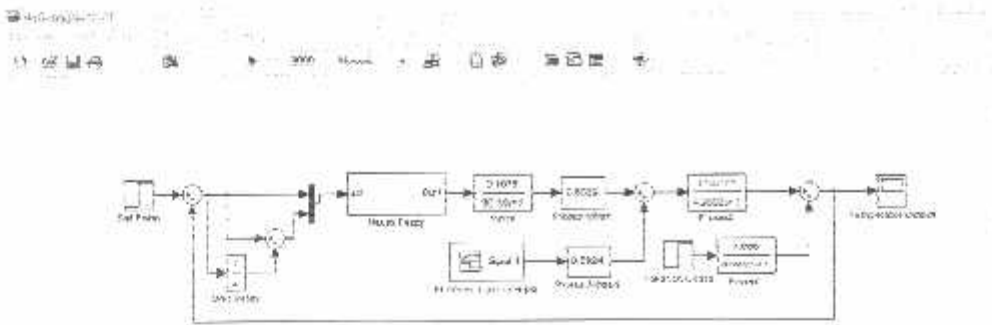
2. Setelah sistem mencapai keadaan mantap, tekanan diasumsikan naik sampai 2,4 psi
3. Setelah sistem kembali mencapai keadaan mantap, tekanan diasumsikan turun sampai 1 psi
4. Saat sistem mencapai keadaan mantap, tekanan diasumsikan kembali ke kondisi normal

Pengujian pada tekanan 1 psi ke 2,4 psi terlihat pada gambar 4.15 dan 4.17. Gambar 4.15 merupakan grafik perubahan tekanan sedangkan gambar 4.17 adalah respon keluaran dari sistem secara keseluruhan

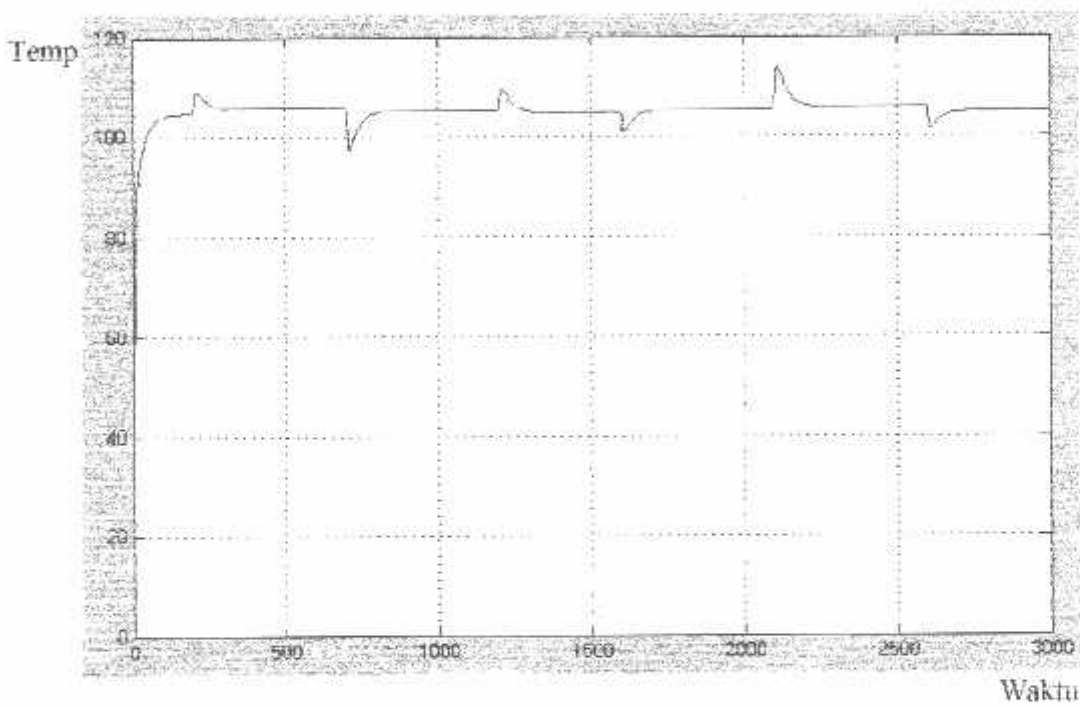


**Gambar 4.15** Grafik perubahan tekanan dari 1 psi ke 2,4 psi





Gambar 4.16 Pengujian dengan perubahan tekanan dari 1 psi ke 2,4 psi



Gambar 4.17 Respon sistem menggunakan kontroler ANFIS untuk perubahan tekanan dari 1 psi ke 2,4 psi

Respon sistem dengan perubahan tekanan dari 1 psi ke 2,4 psi (gambar 4.17) dapat disimpulkan performansi sistem sebagai berikut.

Lonjakan maksimum	: 3,85%
Waktu pemulihan	: 150 detik

Temperatur saat keadaan mantap / *steady state* : 105,65°C  
Kesalahan keadaan mantap/*error steady state, e<sub>ss</sub>* : 0,619 %

---

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan kontroler *neuro fuzzy* dalam hal ini ANFIS untuk pengendalian temperatur autoclave di PT Otsuka Indonesia dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Pada tekanan normal (1,7 psi), sistem di pabrik akan mencapai steady state dengan waktu 106,61 detik, dengan temperatur sebesar 99,42 °C dan memiliki  $e_{ss}$  sebesar -5,31 %. Setelah diberikan kontroler ANFIS, sistem mencapai waktu menotap 181,5 detik, dengan temperatur sebesar 104,73°C dan memiliki  $e_{ss}$  sebesar -0,257 % (perbaikan  $e_{ss}$  sebesar -5,053%).

Dari hasil analisa diatas dapat disimpulkan bahwa Kontroler ANFIS mampu memperbaiki keluaran temperatur autoclave mendekati Set point sebesar 105°C. Tetapi metode ANFIS tidak mampu mengurangi waktu steady state dibandingkan dengan model plant.

2. Pada tekanan yang berbeda, kontroler ANFIS mampu menjaga temperatur sesuai dengan set point 105°C dengan range sebesar  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Yaitu pada tekanan 1 psi temperatur sebesar 105,25 °C, pada tekanan 1,7 psi temperatur sebesar 104,73 °C, pada tekanan 2,4 psi temperatur sebesar 179,5 detik.
3. Dengan gangguan yang terjadi yaitu naik turunnya tekanan, kontroler ANFIS mampu untuk menjaga temperatur sesuai set point 105°C dengan range sebesar  $\pm 1^\circ\text{C}$ , yaitu pada gangguan dari 1,7 psi ke 1 psi temperatur sebesar

105,235°C, pada gangguan dari 1,7 psi ke 2,4 psi temperatur sebesar 105,67°C, pada gangguan dari 1 psi ke 2,4 psi temperatur sebesar 105,65°C.

## 5.2 Saran

1. Untuk pengembangan lebih lanjut, dapat digunakan model pembelajaran *unsupervised learning* sehingga kontroler menjadi lebih handal dalam mengendalikan *plant-plant* yang nonlinier.
  2. Untuk mengetahui kinerja kontroler *neuro fuzzy* dalam hal ini ANFIS, dapat dilakukan penggunaan *membership function* yang berbeda, studi lebih lanjut tentang pemetaan masukan dan keluaran serta penerapannya pada *plant-plant* yang lain.
  3. Untuk pengaplikasiannya di lapangan, perlu dilakukan model pembelajaran ANFIS secara *on line*. Hal ini dikarenakan pada skripsi ini model pembelajaran yang dilakukan adalah *off-line* dan model pembelajaran *off-line* untuk ANFIS berbeda dengan model pembelajaran secara *on-line*.
-

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Benedict, Robert P., " **Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurement**", Second Edition, John Wiley & Son, Inc, USA, 1977.
- [2] Chen, C. H., " **Fuzzy Logic and Neural Network Handbook**" Mc Graw-Hill, Inc. 1996.
- [3] Fauzi, Angga U dan Bagoes, Dimas, " **Analisa Sistem Kontrol Produksi**" Laporan PKN D3 Elektro ITS Surabaya.
- [4] Gunterus, Frans, " **Falsafah Dasar : Sistem Pengendalian Proses**", Salatiga, 1977.
- [5] Hendramiko, Dimas, " **Peramalan Beban Jangka Pendek Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System** " Skripsi ITN , Oktober 2004.
- [6] Kusumadewi, Sri, " **Analisis dan Desain Sistem Fuzzy**" Graha Ilmu, 2002.
- [7] Ogata, Katsuhiko, " **Teknik Kontrol Automatik Jilid 2**", University Of Minnesota, Edisi Kedua, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1997.
- [8] Wahyunggoro, Oyas dan Gideon Charles, " **Simulasi Aplikasi ANFIS ( Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) Tiruan PID pada Pengendalian Tinggi Permukaan Air** ", Jurnal Teknik Elektro, UGM, Yogyakarta.
- [9] \_\_\_\_ Applying Fuzzy Logic to Neural Modeling  
<http://www.er.uqam.ca/nobel/d143054/papers/ICCM2004.pdf>
- [10] \_\_\_\_ **Infus, Layanan Kesehatan Dasar yang tak tergantikan.**  
<http://www.otsuka.co.id/oiweb.nsf/History?OpenPage>
- [11] \_\_\_\_ **Sistem Neuro Fuzzy (ANFIS)**  
<http://www.geocities.com/gigih67/document/ANFIS.pdf#search=%22backpropagation%20diagram%20anfis%22>
-

# LAMPIRAN

---



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : ANDHIKA BAGUS  
2. NIM : 01.12.040  
3. Jurusan : Teknik Elektro S-1  
4. Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
5. Judul Skripsi : SIMULASI PENGENDALI  
TEMPERATUR AUTOCLAVE  
MENGUNAKAN METODE ANFIS  
DI PT OTSUKA INDONESIA  
6. Tanggal Mengajukan Skripsi : 16 Juni 2006  
7. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 21 September 2006  
8. Dosen Pembimbing : Ir. Widodo Pudji M, MT.  
9. Telah Dievaluasikan Dengan Nilai : 80 (A)

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro S-1

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT  
NIP. Y. 1039500274

Diperiksa dan Disetujui,  
Dosen Pembimbing

Ir. Widodo Pudji M, MT  
NIP.P. 1028700171

---



---

**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

Nama Mahasiswa : ANDHIKA BAGUS  
N.I.M. : 01.12.040  
Jurusan : Teknik Elektro S-1  
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik  
Judul Skripsi : SIMULASI PENGENDALI TEMPERATUR  
AUTOCLAVE MENGGUNAKAN METODE  
ANFIS DI PT OTSUKA INDONESIA

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1)

Hari : Kamis  
Tanggal : 21 September 2006  
Dengan Nilai : 76.29, (B+)



(Ir. Mochtar Asroni, MSME)  
Ketua

Panitia Ujian

(Ir. F Yudi Limpraptomo, MT)  
Sekretaris

Anggota Penguji

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)  
Penguji Pertama

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)  
Penguji Kedua

---





## PERSETUJUAN PERBAIKAN SKRIPSI

Dari hasil ujian skripsi jurusan teknik elektro jenjang strata satu (S-1)  
yang diselenggarakan pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 21 September 2006

Telah dilakukan perbaikan skripsi oleh:

Nama Mahasiswa : ANDHIKA BAGUS

N.I.M. : 01.12.040

Jurusan : Teknik Elektro S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik

Judul Skripsi : SIMULASI PENGENDALI TEMPERATUR  
AUTOCLAVE MENGGUNAKAN METODE  
ANFIS DI PT OTSUKA INDONESIA

Perbaikan meliputi:

No.	Materi Perbaikan	Ket
1.	Kata Pengantar	
2.	Analisa	
3.	Kesimpulan	

(Ir. M. Abdul Hamid, MT)  
Penguji Pertama

Dosen Penguji

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)  
Penguji Kedua

Dosen Pembimbing

Ir. Widodo Pudji M, MT



### FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Andhika Bagus  
N i m : 01.12.040  
Masa bimbingan : 16 Juni 2006 s/d 16 November 2006  
Judul Skripsi : Simulasi Pengendali Temperatur Autoclave Menggunakan Metode ANFIS di PT Otsuka Indonesia

No	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1	26 Juli 06	Bimbingan Bab I.1.IV	
2	27 Juli 06	Revisi bab I. II	
3	1 Agustus	Revisi bab II	
4	3 Agustus	Revisi bab IV	
5	11 Agustus	Acc Makalah Seminar Hasil	
6	13 September	Acc Kompro.	
7			
8			
9			
10			

Malang,  
Dosen Pembimbing

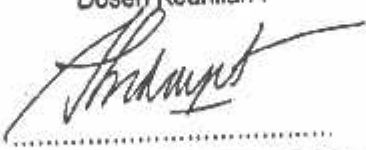


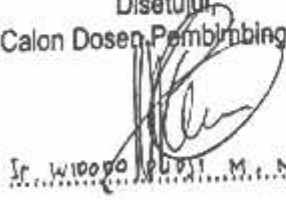
Ir. Widodo Padji M. MT  
NIP.P 1028700171

Form.S-4b



## BERITA ACARA SEMINAR PROPOSAL SKRIPSI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1

Konsentrasi : Teknik Energi Listrik/Teknik Elektronika\*)

1.	Nama Mahasiswa: <b>ANDHIKA BAGUS</b>	Nim: <b>01.12.040</b>	
2.	Keterangan	Tanggal	Waktu
	Pelaksanaan	<b>16 JUNI 2006</b>	Ruang.
3.	Spesifikasi Judul (berilah tanda silang)**)		
	a. Sistem Tenaga Elektrik	e. Elektronika & Komponen	
	b. Energi & Konversi Energi	f. Elektronika Digital & Komputer	
	c. Tegangan Tinggi & Pengukuran	g. Elektronika Komunikasi	
	<input checked="" type="checkbox"/> d. Sistem Kendali Industri	h. lainnya .....	
4.	Judul Proposal yang diseminarkan Mahasiswa	..... SIMULASI PENGENDALIAN TEMPERATUR AUTOCLAVE MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC DI PT. OTSUKA INDONESIA LAWANG .....	
5.	Perubahan Judul yang diusulkan oleh Kelompok Dosen Keahlian	..... ..... .....	
6.	Catatan: .....		
	..... ..... .....		
7.	Persetujuan Judul Skripsi		
	Disetujui, Dosen Keahlian I	Disetujui, Dosen Keahlian II	
			
	Mengetahui, Ketua Jurusan	Disetujui, Calon Dosen Pembimbing ybs	
			
<b>Ir. F. Yudi Limpraptono, MT</b> NIP. P. 1039500274		<b>Ir. Widojo, S.Pd., M.T., M.Ts.</b>	

Perhatian:

1. Keterangan: \*) Coret yang tidak perlu  
\*\*) dilingkari a, b, c, ..... atau g sesuai bidang keahlian

Form S-3c



FACTORY AND OFFICE : Jl. Sumber Waras No. 25 Lawang, Malang 65216, East Java INDONESIA  
PO Box 103 Malang, Phone : 0341 - 426.244 (Hunting), Fax : 0341 - 426 644

JAKARTA HEAD OFFICE : Perkantoran Hijau Arkadia Lt. 3-4, Jl. Letjen T.B. Simatupang Kav. 88, Jakarta 12520, Indonesia  
Tel. (021) - 7827660 (Hunting) Facs. : (021) - 7827663, 7827664

**SURAT - KETERANGAN**  
**241/153/HRD/V/2006**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

N a m a : M.MUNIR, SH  
Jabatan : HRD Ass. Manager  
Alamat : Jl. Sumber Waras No. 25 Lawang

Menerangkan dengan sebenarnya bahwa :

Nama / Nim : Andhika Bagus / 01.12.040  
Fakultas / Jurusan : Teknologi Industri / Teknik Elektro  
Institut Teknologi Nasional  
M a l a n g

Telah melaksanakan Survey untuk mendapatkan data-data guna penysunan skripsi di PT Otsuka Indonesia divisi pabrik Lawang .  
Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan seperlunya .

Lawang, 15 Mei 2006  
PT Otsuka Indonesia  
Departemen HRD



*M. Munir, SH*  
M. Munir, SH  
Ass. Manager HRD

## TEKANAN 1,7 PSI

System]

Name='Tek1.7Psi'

Type='sugeno'

Version=2.0

NumInputs=2

NumOutputs=1

NumRules=25

AndMethod='prod'

OrMethod='probor'

ImpMethod='min'

AggMethod='max'

DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]

Name='input1'

Range=[-1.7052 105]

NumMFs=5

MF1='NB':'gaussmf',[11.3283815705116 -1.7052]

MF2='NS':'gaussmf',[11.33 24.6888116402116]

MF3='Z':'gaussmf',[11.3283815705116 51.6474]

MF4='PS':'gaussmf',[11.33 78.0414116402116]

MF5='PB':'gaussmf',[11.33 105]

[Input2]

Name='input2'

Range=[-16.303 105]

NumMFs=5

MF1='NB':'gaussmf',[12.8781602925422 -16.303]

MF2='NS':'gaussmf',[12.8781602925422 14.02275]

MF3='Z':'gaussmf',[12.8781602925422 44.3485]

MF4='PS':'gaussmf',[12.8781602925422 74.67425]

MF5='PB':'gaussmf',[12.8781602925422 105]

[Output1]

Name='output'

Range=[1.978 1.978]

NumMFs=25

MF1='out1mf1':'linear',[0.00301635085305921 -0.019212779078043 1.67491134064606]

MF2='out1mf2':'linear',[-0.00239651772151751 -0.0281214922130968 2.23633367319704]

MF3='out1mf3':'linear',[0.153288603422597 -0.0257370943170805 0.00843691943777655]

MF4='out1mf4':'linear',[6.02776159619459e-006 -8.5968297094995e-007 3.26792095197526e-008]

MF5='out1mf5':'linear',[6.35684863225375e-013 -7.60442114014623e-014 -1.05260353973111e-014]

MF6='out1mf6':'linear',[0.00442565637232678 -0.00895529753713474 1.66938934557077]

MF7='out1mf7':'linear',[-0.00395108959474383 -0.0430305552234016 2.21567079334008]

MF8='out1mf8':'linear',[0.0694846151483892 -0.00199545236940052 0.0101919739906727]

MF9='out1mf9':'linear',[1.59753125383743e-006 1.09184913140585e-007 1.97611591161577e-007]

MF10='out1mf10':'linear',[2.82789641636415e-013 1.69721880379456e-013 1.82690118891891e-014]

MF11='out1mf11':'linear',[0.0222779075152152 0.0707137023738618 0.135384573577596]

MF12='out1mf12':'linear',[0.111714631743913 -0.451500190889529 0.172919717267259]

MF13='out1mf13':'linear',[0.00726319021810435 -0.00217862216937129 0.000362712075729721]

MF14='out1mf14':'linear',[6.8338273472578e-008 -4.36952520584795e-009 2.04301388168267e-009]

MF15='out1mf15':'linear',[1.60986844639043e-007 1.60986843292848e-007 1.53321233663767e-009]

MF16='out1mf16':'linear',[0.00556790237674333 -0.0284321440576694 0.0149578412945682]

MF17='out1mf17':'linear',[0.189292454340924 -0.0575086083877165 0.00898636914540876]

MF18='out1mf18':'linear',[0.00039067275537659 -9.26297887460076e-005 1.00982338233932e-005]

MF19='out1mf19':'linear',[4.12140081892849e-005 4.1212188463728e-005 3.92529116666173e-007]

MF20='out1mf20':'linear',[0.000659400249665166 0.000659400249665147 6.27999392571397e-006]

MF21='out1mf21':'linear',[0.0209056153829849 -0.0104213696238715 0.00175783017970475]

MF22='out1mf22':'linear',[0.0199679953713545 -0.0041745895346605 0.000340383253734466]

MF23='out1mf23':'linear',[1.05320229529929e-005 -1.8849854057916e-006 1.49740940401572e-007]

MF24='out1mf24':'linear',[0.000659402128662771 0.000659402109980458 6.28000868710242e-006]

MF25='out1mf25':'linear',[0.0105504338078787 0.0105504338078787 0.00010047992493772]

[Rules]

1 1, 1 (1) : 1  
1 2, 2 (1) : 1  
1 3, 3 (1) : 1  
1 4, 4 (1) : 1  
1 5, 5 (1) : 1  
2 1, 6 (1) : 1  
2 2, 7 (1) : 1  
2 3, 8 (1) : 1  
2 4, 9 (1) : 1  
2 5, 10 (1) : 1  
3 1, 11 (1) : 1  
3 2, 12 (1) : 1  
3 3, 13 (1) : 1  
3 4, 14 (1) : 1  
3 5, 15 (1) : 1  
4 1, 16 (1) : 1  
4 2, 17 (1) : 1  
4 3, 18 (1) : 1  
4 4, 19 (1) : 1  
4 5, 20 (1) : 1  
5 1, 21 (1) : 1  
5 2, 22 (1) : 1  
5 3, 23 (1) : 1  
5 4, 24 (1) : 1  
5 5, 25 (1) : 1

**TEKANAN 1 PSI**

[System]

Name='Tek1Psi'  
Type='sugeno'  
Version=2.0  
NumInputs=2  
NumOutputs=1  
NumRules=25  
AndMethod='prod'  
OrMethod='probor'  
ImpMethod='min'  
AggMethod='max'  
DefuzzMethod='wtaver'

[Input1]

Name='input1'  
Range=[1,3805 105]  
NumMFs=5  
MF1='NB':gaussmf,[11.001110040727 1.38095334746126]  
MF2='NS':gaussmf,[11.0012184705047 27.2877073058719]  
MF3='Z':gaussmf,[11.0038939637068 53.1904211590491]  
MF4='PS':gaussmf,[11.78.8195375021417]  
MF5='PB':gaussmf,[11.0007079242947 105.000040280355]

[Input2]

Name='input2'  
Range=[-15,226 105]  
NumMFs=5  
MF1='NB':gaussmf,[12.759623951893 -15.2288044529807]  
MF2='NS':gaussmf,[12.76 14.5137778294653]  
MF3='Z':gaussmf,[12.76 44.5680858137316]  
MF4='PS':gaussmf,[12.76 74.624123280205]  
MF5='PB':gaussmf,[12.76 105]

---

[Output1]

Name='output'

Range=[3.072 3.072]

NumMFs=25

MF1='out1mf1':linear,[0.00504918560147257 0.000130393055234092 2.8692956036034]  
MF2='out1mf2':linear,[-0.00406271280264149 -0.0314658236537787 3.27907791162166]  
MF3='out1mf3':linear,[0.225152097273818 -0.0431480373083903 0.00950757049028886]  
MF4='out1mf4':linear,[7.60799411106918e-006 -1.36205292182497e-006 -4.11376131634998e-008]  
MF5='out1mf5':linear,[6.9704990202852e-013 -1.16483963847392e-013 -2.12958644297512e-014]  
MF6='out1mf6':linear,[0.0119266276155901 0.0337112867261999 2.88433253729546]  
MF7='out1mf7':linear,[-0.0161218514870864 -0.0885237309314894 3.24603837154955]  
MF8='out1mf8':linear,[0.0979040180594856 -0.00405992076752352 0.0123878921983567]  
MF9='out1mf9':linear,[1.89921859431764e-006 1.00574924575419e-007 1.9696619950271e-007]  
MF10='out1mf10':linear,[3.70917845423405e-013 2.54476787373533e-013 1.66047313285332e-014]  
MF11='out1mf11':linear,[0.107688902712511 0.577468123882719 0.267549849390612]  
MF12='out1mf12':linear,[0.281737008551823 -0.676427239755757 0.353263296101835]  
MF13='out1mf13':linear,[0.0148237603847975 -0.00377559780188994 0.000695062510021252]  
MF14='out1mf14':linear,[1.24589759772889e-007 -8.38049916034393e-009 3.50072527021577e-009]  
MF15='out1mf15':linear,[2.51568888244416e-007 2.51568885901616e-007 2.39589075604112e-009]  
MF16='out1mf16':linear,[0.0217242968892899 0.0286999023976582 0.0231836424256362]  
MF17='out1mf17':linear,[0.295653266397685 -0.0940795627342985 0.0208873304946435]  
MF18='out1mf18':linear,[0.000941460846219696 -0.000203590714596441 2.54347258900809e-005]  
MF19='out1mf19':linear,[6.37648363634343e-005 6.37603516422473e-005 6.07322264229429e-007]  
MF20='out1mf20':linear,[0.00102178579591189 0.00102178579591184 9.73127139809437e-006]  
MF21='out1mf21':linear,[0.024341933999016 -0.0326134854371766 0.00798500008930279]  
MF22='out1mf22':linear,[0.0939915113570477 -0.0180790303125087 0.0016185078087957]  
MF23='out1mf23':linear,[4.99938573806035e-005 -8.77889036190796e-006 7.11599180068526e-007]  
MF24='out1mf24':linear,[0.00102730695331422 0.00102230686522647 9.73624975881922e-006]  
MF25='out1mf25':linear,[0.0163827002049355 0.0163827002049355 0.000156026327227359]

[Rules]

1 1, 1 (1): 1  
1 2, 2 (1): 1  
1 3, 3 (1): 1  
1 4, 4 (1): 1  
1 5, 5 (1): 1  
2 1, 6 (1): 1  
2 2, 7 (1): 1  
2 3, 8 (1): 1  
2 4, 9 (1): 1  
2 5, 10 (1): 1  
3 1, 11 (1): 1  
3 2, 12 (1): 1  
3 3, 13 (1): 1  
3 4, 14 (1): 1  
3 5, 15 (1): 1  
4 1, 16 (1): 1  
4 2, 17 (1): 1  
4 3, 18 (1): 1  
4 4, 19 (1): 1  
4 5, 20 (1): 1  
5 1, 21 (1): 1  
5 2, 22 (1): 1  
5 3, 23 (1): 1  
5 4, 24 (1): 1  
5 5, 25 (1): 1

## TEKANAN 2.,4 PSI

```
{System}
Name='Tek24Psi'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=25
AndMethod='prod'
OrMethod='pobor'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='wtaver'
```

```
{Input1}
Name='input1'
Range=[-4.9227 105]
NumMFs=5
MF1='NB':'gaussmf',[11.6706393848126 -4.92217956108161]
MF2='NS':'gaussmf',[11.6705235685519 22.5585809947292]
MF3='Z':'gaussmf',[11.749.7480745061425]
MF4='PS':'gaussmf',[11.67 77.2286705108846]
MF5='PB':'gaussmf',[11.7 104.99979405349]
```

```
{Input2}
Name='input2'
Range=[-17.38 105]
NumMFs=5
MF1='NB':'gaussmf',[12.9883054204205 -17.3828400904332]
MF2='NS':'gaussmf',[13 12.8870603723669]
MF3='Z':'gaussmf',[12.9920952423623 43.8100999157327]
MF4='PS':'gaussmf',[12.99 74.0814952525619]
MF5='PB':'gaussmf',[12.992500239906 105]
```

```
{Output1}
Name='output'
Range=[1.459 1.459]
NumMFs=25
MF1='out1mf1':'linear',[0.00318861441064687 -0.0260205868255416 1.10364712200779]
MF2='out1mf2':'linear',[-0.00187082613715807 -0.0264688729678246 1.71916437058352]
MF3='out1mf3':'linear',[0.113317343403946 -0.0156264141112944 0.00829530887203097]
MF4='out1mf4':'linear',[4.98488532894256e-006 -4.85504277158086e-007 1.05347869713514e-007]
MF5='out1mf5':'linear',[5.75103545642283e-013 -3.37633424907604e-014 2.0218541323378e-015]
MF6='out1mf6':'linear',[-7.78804272033018e-005 -0.0282880982491139 1.08079530183091]
MF7='out1mf7':'linear',[0.0031389821221253 -0.0240830443448167 1.68115659623342]
MF8='out1mf8':'linear',[0.0516298063813139 -0.000948926281445605 0.0092652293778353]
MF9='out1mf9':'linear',[1.39340679545581e-006 1.08954643285354e-007 2.14370765444777e-007]
MF10='out1mf10':'linear',[2.44073898006245e-013 1.30494979955398e-013 2.21789957973063e-014]
MF11='out1mf11':'linear',[-0.00313307541774212 -0.0573210586006907 0.0714390676158653]
MF12='out1mf12':'linear',[0.0572040554358572 -0.296052314364577 0.0885791249720413]
MF13='out1mf13':'linear',[0.00365258427384074 -0.00127955356556972 0.000199094748542427]
MF14='out1mf14':'linear',[3.92764635892121e-008 -1.16743957875958e-009 1.35244453092798e-009]
MF15='out1mf15':'linear',[1.18941025418193e-007 1.18941024612604e-007 1.13276524629565e-009]
MF16='out1mf16':'linear',[-0.000872600256848054 -0.0415727517203738 0.0112030052220749]
MF17='out1mf17':'linear',[0.14430822989686 -0.0423092457829586 0.00489014914019199]
MF18='out1mf18':'linear',[0.000199447212026491 -5.05354866038916e-005 4.74097858488293e-006]
MF19='out1mf19':'linear',[3.04202313755882e-005 3.04193859258778e-005 2.89725997587235e-007]
MF20='out1mf20':'linear',[0.000486572625093298 0.00048657076244814 4.6340200117155e-006]
MF21='out1mf21':'linear',[0.0178158446924242 -0.00463750449293424 0.000471550512695525]
MF22='out1mf22':'linear',[0.00382887805424202 -0.000842431489904608 5.98454174404293e-005]
MF23='out1mf23':'linear',[1.82264839270624e-006 -2.40458776861209e-007 2.45714016932615e-008]
MF24='out1mf24':'linear',[0.00048654905432619 0.000486549051471499 4.6337748851802e-006]
MF25='out1mf25':'linear',[0.00778241594597801 0.00778241594597801 7.41188406581186e-005]
```



[Rules]

1.1, 1 (1): 1  
1.2, 2 (1): 1  
1.3, 3 (1): 1  
1.4, 4 (1): 1  
1.5, 5 (1): 1  
2.1, 6 (1): 1  
2.2, 7 (1): 1  
2.3, 8 (1): 1  
2.4, 9 (1): 1  
2.5, 10 (1): 1  
3.1, 11 (1): 1  
3.2, 12 (1): 1  
3.3, 13 (1): 1  
3.4, 14 (1): 1  
3.5, 15 (1): 1  
4.1, 16 (1): 1  
4.2, 17 (1): 1  
4.3, 18 (1): 1  
4.4, 19 (1): 1  
4.5, 20 (1): 1  
5.1, 21 (1): 1  
5.2, 22 (1): 1  
5.3, 23 (1): 1  
5.4, 24 (1): 1  
5.5, 25 (1): 1

---

## DATA TRAINING

Tekanan 1 Psi

Time	Error	D_Error	Target
0	105	105	10.6
1	89.774	-15.226	10.6
2	76.297	-13.478	10.6
3	64.432	-11.864	10.6
4	54.048	-10.384	10.6
5	45.013	-9.0351	10.6
6	37.201	-7.8122	10.6
7	30.491	-6.7101	10.6
8	24.769	-5.7221	10.6
9	19.927	-4.8414	10.6
10	15.867	-4.0606	10.6
11	12.494	-3.3722	10.6
12	9.7258	-2.7686	10.6
13	7.4833	-2.2425	10.6
14	5.6965	-1.7868	10.6
15	4.3018	-1.3946	10.6
16	3.2423	-1.0595	10.6
17	2.467	-0.77529	10.6
18	1.9308	-0.53628	10.6
19	1.5935	-0.33721	10.6
20	1.4203	-0.1732	10.6
21	1.3805	-0.03981	10.6
22	1.4476	0.087017	10.6
23	1.5985	0.15094	10.6
24	1.8137	0.21524	10.6
25	2.0766	0.28287	10.6
26	2.373	0.29644	10.6
27	2.6913	0.31827	10.6
28	3.0217	0.33039	10.6
29	3.3563	0.33459	10.6
30	3.6887	0.33242	10.6
31	4.0139	0.3252	10.6
32	4.328	0.31409	10.6
33	4.6281	0.30007	10.6
34	4.912	0.28396	10.6
35	5.1785	0.26645	10.6
36	5.4266	0.24813	10.6
37	5.6561	0.22944	10.6
38	5.8668	0.21079	10.6
39	6.0593	0.19247	10.6
40	6.234	0.17471	10.6
41	6.3917	0.15769	10.6
42	6.5333	0.14154	10.6
43	6.6596	0.12636	10.6
44	6.7718	0.11219	10.6
45	6.8709	0.099059	10.6
46	6.9578	0.086976	10.6
47	7.0338	0.075923	10.6

48	7.0996	0.065874	10.6
49	7.1564	0.056789	10.6
50	7.205	0.048622	10.6
51	7.2464	0.041319	10.6
52	7.2812	0.034825	10.6
53	7.3103	0.029082	10.6
54	7.3343	0.024031	10.6
55	7.3539	0.019614	10.6
56	7.3697	0.015776	10.6
57	7.3822	0.01246	10.6
58	7.3918	0.009616	10.6
59	7.399	0.007194	10.6
60	7.4041	0.005147	10.6
61	7.4075	0.003433	10.6
62	7.4096	0.002012	10.6
63	7.4104	0.000848	10.6
64	7.4103	-9.24E-05	10.6
65	7.4095	-0.00084	10.6
66	7.4081	-0.00142	10.6
67	7.4062	-0.00186	10.6
68	7.404	-0.00218	10.6
69	7.4016	-0.0024	10.6
70	7.3991	-0.00253	10.6
71	7.3965	-0.00259	10.6
72	7.3939	-0.0026	10.6
73	7.3913	-0.00257	10.6
74	7.3888	-0.0025	10.6
75	7.3864	-0.0024	10.6
76	7.3842	-0.00228	10.6
77	7.382	-0.00215	10.6
78	7.38	-0.00201	10.6
79	7.3781	-0.00187	10.6
80	7.3764	-0.00172	10.6
81	7.3748	-0.00158	10.6
82	7.3734	-0.00143	10.6
83	7.3721	-0.0013	10.6
84	7.3709	-0.00117	10.6
85	7.3699	-0.00105	10.6
86	7.369	-0.00093	10.6
87	7.3681	-0.00083	10.6
88	7.3674	-0.00073	10.6
89	7.3668	-0.00064	10.6
90	7.3662	-0.00055	10.6
91	7.3657	-0.00048	10.6
92	7.3653	-0.00041	10.6
93	7.365	-0.00035	10.6
94	7.3647	-0.0003	10.6
95	7.3644	-0.00025	10.6
96	7.3642	-0.00021	10.6
97	7.364	-0.00017	10.6
98	7.3639	-0.00014	10.6
99	7.3638	-0.00011	10.6
100	7.3637	-8.65E-05	10.6

101	7.3636	-6.59E-05	10.6
102	7.3636	-4.84E-05	10.6
103	7.3636	-3.37E-05	10.6
104	7.3635	-2.14E-05	10.6
105	7.3635	-1.13E-05	10.6
106	7.3635	-3.07E-06	10.6
107	7.3635	3.54E-06	10.6
108	7.3635	8.74E-06	10.6
109	7.3635	1.27E-05	10.6
110	7.3636	1.57E-05	10.6
111	7.3636	1.78E-05	10.6
112	7.3636	1.92E-05	10.6
113	7.3636	2.00E-05	10.6
114	7.3636	2.03E-05	10.6
115	7.3637	2.02E-05	10.6
116	7.3637	1.98E-05	10.6
117	7.3637	1.91E-05	10.6
118	7.3637	1.83E-05	10.6
119	7.3637	1.73E-05	10.6
120	7.3637	1.62E-05	10.6
121	7.3638	1.51E-05	10.6
122	7.3638	1.40E-05	10.6
123	7.3638	1.29E-05	10.6
124	7.3638	1.18E-05	10.6
125	7.3638	1.07E-05	10.6
126	7.3638	9.64E-06	10.6
127	7.3638	8.66E-06	10.6
128	7.3638	7.74E-06	10.6
129	7.3638	6.87E-06	10.6
130	7.3639	6.07E-06	10.6
131	7.3639	5.33E-06	10.6
132	7.3639	4.66E-06	10.6
133	7.3639	4.04E-06	10.6
134	7.3639	3.49E-06	10.6
135	7.3639	2.99E-06	10.6
136	7.3639	2.54E-06	10.6
137	7.3639	2.14E-06	10.6
138	7.3639	1.79E-06	10.6
139	7.3639	1.48E-06	10.6
140	7.3639	1.21E-06	10.6
141	7.3639	9.75E-07	10.6
142	7.3639	7.72E-07	10.6
143	7.3639	5.97E-07	10.6
144	7.3639	4.48E-07	10.6
145	7.3639	3.22E-07	10.6
146	7.3639	2.17E-07	10.6
147	7.3639	1.29E-07	10.6
148	7.3639	5.71E-08	10.6
149	7.3639	-9.86E-10	10.6
150	7.3639	-4.72E-08	10.6
151	7.3639	-8.32E-08	10.6
152	7.3639	-1.11E-07	10.6
153	7.3639	-1.30E-07	10.6

154	7.3639	-1.44E-07	10.6
155	7.3639	-1.53E-07	10.6
156	7.3639	-1.57E-07	10.6
157	7.3639	-1.58E-07	10.6
158	7.3639	-1.56E-07	10.6
159	7.3639	-1.52E-07	10.6
160	7.3639	-1.46E-07	10.6
161	7.3639	-1.39E-07	10.6
162	7.3639	-1.31E-07	10.6
163	7.3639	-1.23E-07	10.6
164	7.3639	-1.14E-07	10.6
165	7.3639	-1.05E-07	10.6
166	7.3639	-9.62E-08	10.6
167	7.3639	-8.77E-08	10.6
168	7.3639	-7.94E-08	10.6
169	7.3639	-7.15E-08	10.6
170	7.3639	-6.41E-08	10.6
171	7.3639	-5.71E-08	10.6
172	7.3639	-5.06E-08	10.6
173	7.3639	-4.46E-08	10.6
174	7.3639	-3.91E-08	10.6
175	7.3639	-3.40E-08	10.6
176	7.3639	-2.94E-08	10.6
177	7.3639	-2.53E-08	10.6
178	7.3639	-2.16E-08	10.6
179	7.3639	-1.83E-08	10.6
180	7.3639	-1.54E-08	10.6
181	7.3639	-1.28E-08	10.6
182	7.3639	-1.05E-08	10.6
183	7.3639	-8.56E-09	10.6
184	7.3639	-6.84E-09	10.6
185	7.3639	-5.36E-09	10.6
186	7.3639	-4.10E-09	10.6
187	7.3639	-3.02E-09	10.6
188	7.3639	-2.11E-09	10.6
189	7.3639	-1.36E-09	10.6
190	7.3639	-7.35E-10	10.6
191	7.3639	-2.26E-10	10.6
192	7.3639	1.82E-10	10.6
193	7.3639	5.04E-10	10.6
194	7.3639	7.52E-10	10.6
195	7.3639	9.37E-10	10.6
196	7.3639	1.07E-09	10.6
197	7.3639	1.16E-09	10.6
198	7.3639	1.21E-09	10.6
199	7.3639	1.23E-09	10.6
200	7.3639	1.22E-09	10.6
201	7.3639	1.20E-09	10.6
202	7.3639	1.16E-09	10.6
203	7.3639	1.11E-09	10.6
204	7.3639	1.05E-09	10.6
205	7.3639	9.90E-10	10.6
206	7.3639	9.23E-10	10.6

207	7.3639	8.54E-10	10.6
208	7.3639	7.86E-10	10.6
209	7.3639	7.18E-10	10.6
210	7.3639	6.53E-10	10.6
211	7.3639	5.90E-10	10.6
212	7.3639	5.30E-10	10.6
213	7.3639	4.74E-10	10.6
214	7.3639	4.21E-10	10.6
215	7.3639	3.72E-10	10.6
216	7.3639	3.27E-10	10.6
217	7.3639	2.86E-10	10.6
218	7.3639	2.48E-10	10.6
219	7.3639	2.14E-10	10.6
220	7.3639	1.84E-10	10.6
221	7.3639	1.56E-10	10.6
222	7.3639	1.32E-10	10.6
223	7.3639	1.10E-10	10.6
224	7.3639	9.14E-11	10.6
225	7.3639	7.47E-11	10.6
226	7.3639	6.03E-11	10.6
227	7.3639	4.78E-11	10.6
228	7.3639	3.70E-11	10.6
229	7.3639	2.79E-11	10.6
230	7.3639	2.02E-11	10.6
231	7.3639	1.36E-11	10.6
232	7.3639	8.24E-12	10.6
233	7.3639	3.82E-12	10.6
234	7.3639	2.27E-13	10.6
235	7.3639	-2.64E-12	10.6
236	7.3639	-4.87E-12	10.6
237	7.3639	-6.57E-12	10.6
238	7.3639	-7.82E-12	10.6
239	7.3639	-8.67E-12	10.6
240	7.3639	-9.21E-12	10.6
241	7.3639	-9.49E-12	10.6
242	7.3639	-9.55E-12	10.6
243	7.3639	-9.46E-12	10.6
244	7.3639	-9.21E-12	10.6
245	7.3639	-8.87E-12	10.6
246	7.3639	-8.46E-12	10.6
247	7.3639	-7.97E-12	10.6
248	7.3639	-7.47E-12	10.6
249	7.3639	-6.93E-12	10.6
250	7.3639	-6.41E-12	10.6
251	7.3639	-5.88E-12	10.6
252	7.3639	-5.36E-12	10.6
253	7.3639	-4.85E-12	10.6
254	7.3639	-4.38E-12	10.6
255	7.3639	-3.92E-12	10.6
256	7.3639	-3.50E-12	10.6
257	7.3639	-3.10E-12	10.6
258	7.3639	-2.73E-12	10.6
259	7.3639	-2.40E-12	10.6

260	7.3639	-2.07E-12	10.6
261	7.3639	-1.82E-12	10.6
262	7.3639	-1.55E-12	10.6
263	7.3639	-1.34E-12	10.6
264	7.3639	-1.12E-12	10.6
265	7.3639	-9.52E-13	10.6
266	7.3639	-7.82E-13	10.6
267	7.3639	-6.54E-13	10.6
268	7.3639	-5.26E-13	10.6
269	7.3639	-4.26E-13	10.6
270	7.3639	-3.27E-13	10.6
271	7.3639	-2.56E-13	10.6
272	7.3639	-1.99E-13	10.6
273	7.3639	-1.28E-13	10.6
274	7.3639	-8.53E-14	10.6
275	7.3639	-4.26E-14	10.6
276	7.3639	-1.42E-14	10.6
277	7.3639	1.42E-14	10.6
278	7.3639	1.42E-14	10.6
279	7.3639	4.26E-14	10.6
280	7.3639	5.68E-14	10.6
281	7.3639	7.11E-14	10.6
282	7.3639	7.11E-14	10.6
283	7.3639	7.11E-14	10.6
284	7.3639	7.11E-14	10.6
285	7.3639	7.11E-14	10.6
286	7.3639	7.11E-14	10.6
287	7.3639	7.11E-14	10.6
288	7.3639	7.11E-14	10.6
289	7.3639	5.68E-14	10.6
290	7.3639	7.11E-14	10.6
291	7.3639	5.68E-14	10.6
292	7.3639	4.26E-14	10.6
293	7.3639	5.68E-14	10.6
294	7.3639	4.26E-14	10.6
295	7.3639	4.26E-14	10.6
296	7.3639	2.84E-14	10.6
297	7.3639	2.84E-14	10.6
298	7.3639	2.84E-14	10.6
299	7.3639	2.84E-14	10.6
300	7.3639	2.84E-14	10.6

## DATA TRAINING

Tekanan 1.7 Psi

Time	Error	D_Error	Target
0	105	105	7.86
1	88.697	-16.303	7.86
2	74.35	-14.347	7.86
3	61.797	-12.553	7.86
4	50.878	-10.919	7.86
5	41.441	-9.4376	7.86
6	33.338	-8.1031	7.86
7	26.43	-6.9072	7.86
8	20.589	-5.8415	7.86
9	15.692	-4.8969	7.86
10	11.628	-4.0643	7.86
11	8.293	-3.3346	7.86
12	5.5942	-2.6988	7.86
13	3.4459	-2.1483	7.86
14	1.7713	-1.6746	7.86
15	0.50128	-1.27	7.86
16	-0.42577	-0.92705	7.86
17	-1.0645	-0.63878	7.86
18	-1.4633	-0.3988	7.86
19	-1.6646	-0.20122	7.86
20	-1.7052	-0.04065	7.86
21	-1.6174	0.087829	7.86
22	-1.4287	0.18864	7.86
23	-1.163	0.26576	7.86
24	-0.84024	0.32275	7.86
25	-0.47744	0.3628	7.86
26	-0.08676	0.38868	7.86
27	0.31411	0.40287	7.86
28	0.72163	0.40752	7.86
29	1.1261	0.4045	7.86
30	1.5215	0.39542	7.86
31	1.9032	0.38167	7.86
32	2.2676	0.36443	7.86
33	2.6123	0.3447	7.86
34	2.9358	0.32331	7.86
35	3.2366	0.30095	7.86
36	3.5148	0.27819	7.86
37	3.7703	0.25548	7.86
38	4.0035	0.2332	7.86
39	4.2151	0.21162	7.86
40	4.406	0.19095	7.86
41	4.5774	0.17134	7.86
42	4.7303	0.15292	7.86
43	4.866	0.13573	7.86
44	4.9858	0.11981	7.86
45	5.091	0.10516	7.86
46	5.1828	0.091768	7.86
47	5.2623	0.079595	7.86



48	5.3309	0.068593	7.86
49	5.3896	0.058705	7.86
50	5.4395	0.049866	7.86
51	5.4815	0.042009	7.86
52	5.5166	0.035062	7.86
53	5.5455	0.028955	7.86
54	5.5692	0.023616	7.86
55	5.5881	0.018978	7.86
56	5.6031	0.014973	7.86
57	5.6148	0.011538	7.86
58	5.6233	0.008614	7.86
59	5.6294	0.006145	7.86
60	5.6335	0.004078	7.86
61	5.6358	0.002366	7.86
62	5.6368	0.000964	7.86
63	5.6366	-0.00017	7.86
64	5.6356	-0.00107	7.86
65	5.6338	-0.00176	7.86
66	5.6315	-0.00229	7.86
67	5.6289	-0.00267	7.86
68	5.6259	-0.00293	7.86
69	5.6228	-0.00309	7.86
70	5.6197	-0.00316	7.86
71	5.6165	-0.00317	7.86
72	5.6134	-0.00312	7.86
73	5.6104	-0.00303	7.86
74	5.6075	-0.00291	7.86
75	5.6047	-0.00277	7.86
76	5.6021	-0.00261	7.86
77	5.5996	-0.00244	7.86
78	5.5974	-0.00226	7.86
79	5.5953	-0.00208	7.86
80	5.5934	-0.00191	7.86
81	5.5916	-0.00174	7.86
82	5.5901	-0.00157	7.86
83	5.5887	-0.00142	7.86
84	5.5874	-0.00127	7.86
85	5.5863	-0.00113	7.86
86	5.5853	-0.001	7.86
87	5.5844	-0.00088	7.86
88	5.5836	-0.00077	7.86
89	5.5829	-0.00067	7.86
90	5.5824	-0.00058	7.86
91	5.5819	-0.0005	7.86
92	5.5814	-0.00042	7.86
93	5.5811	-0.00036	7.86
94	5.5808	-0.0003	7.86
95	5.5805	-0.00025	7.86
96	5.5803	-0.00021	7.86
97	5.5802	-0.00017	7.86
98	5.58	-0.00013	7.86
99	5.5799	-0.0001	7.86
100	5.5798	-7.90E-05	7.86

101	5.5798	-5.79E-05	7.86
102	5.5797	-4.01E-05	7.86
103	5.5797	-2.54E-05	7.86
104	5.5797	-1.32E-05	7.86
105	5.5797	-3.25E-06	7.86
106	5.5797	4.69E-06	7.86
107	5.5797	1.09E-05	7.86
108	5.5797	1.57E-05	7.86
109	5.5797	1.93E-05	7.86
110	5.5798	2.18E-05	7.86
111	5.5798	2.34E-05	7.86
112	5.5798	2.44E-05	7.86
113	5.5798	2.47E-05	7.86
114	5.5799	2.45E-05	7.86
115	5.5799	2.40E-05	7.86
116	5.5799	2.32E-05	7.86
117	5.5799	2.22E-05	7.86
118	5.58	2.10E-05	7.86
119	5.58	1.97E-05	7.86
120	5.58	1.84E-05	7.86
121	5.58	1.70E-05	7.86
122	5.58	1.56E-05	7.86
123	5.58	1.42E-05	7.86
124	5.5801	1.29E-05	7.86
125	5.5801	1.17E-05	7.86
126	5.5801	1.05E-05	7.86
127	5.5801	9.36E-06	7.86
128	5.5801	8.31E-06	7.86
129	5.5801	7.34E-06	7.86
130	5.5801	6.45E-06	7.86
131	5.5801	5.63E-06	7.86
132	5.5801	4.89E-06	7.86
133	5.5801	4.21E-06	7.86
134	5.5801	3.61E-06	7.86
135	5.5801	3.07E-06	7.86
136	5.5801	2.59E-06	7.86
137	5.5801	2.16E-06	7.86
138	5.5801	1.79E-06	7.86
139	5.5801	1.46E-06	7.86
140	5.5801	1.17E-06	7.86
141	5.5801	9.27E-07	7.86
142	5.5801	7.16E-07	7.86
143	5.5801	5.37E-07	7.86
144	5.5801	3.85E-07	7.86
145	5.5801	2.57E-07	7.86
146	5.5801	1.52E-07	7.86
147	5.5801	6.53E-08	7.86
148	5.5801	-4.60E-09	7.86
149	5.5801	-6.02E-08	7.86
150	5.5801	-1.03E-07	7.86
151	5.5801	-1.36E-07	7.86
152	5.5801	-1.60E-07	7.86
153	5.5801	-1.76E-07	7.86

207	5.5801	9.53E-10	7.86
208	5.5801	8.70E-10	7.86
209	5.5801	7.91E-10	7.86
210	5.5801	7.14E-10	7.86
211	5.5801	6.42E-10	7.86
212	5.5801	5.73E-10	7.86
213	5.5801	5.09E-10	7.86
214	5.5801	4.50E-10	7.86
215	5.5801	3.95E-10	7.86
216	5.5801	3.45E-10	7.86
217	5.5801	3.00E-10	7.86
218	5.5801	2.59E-10	7.86
219	5.5801	2.22E-10	7.86
220	5.5801	1.89E-10	7.86
221	5.5801	1.59E-10	7.86
222	5.5801	1.33E-10	7.86
223	5.5801	1.10E-10	7.86
224	5.5801	9.00E-11	7.86
225	5.5801	7.25E-11	7.86
226	5.5801	5.74E-11	7.86
227	5.5801	4.45E-11	7.86
228	5.5801	3.34E-11	7.86
229	5.5801	2.41E-11	7.86
230	5.5801	1.62E-11	7.86
231	5.5801	9.72E-12	7.86
232	5.5801	4.39E-12	7.86
233	5.5801	7.11E-14	7.86
234	5.5801	-3.38E-12	7.86
235	5.5801	-6.05E-12	7.86
236	5.5801	-8.10E-12	7.86
237	5.5801	-9.58E-12	7.86
238	5.5801	-1.06E-11	7.86
239	5.5801	-1.13E-11	7.86
240	5.5801	-1.16E-11	7.86
241	5.5801	-1.16E-11	7.86
242	5.5801	-1.15E-11	7.86
243	5.5801	-1.12E-11	7.86
244	5.5801	-1.08E-11	7.86
245	5.5801	-1.03E-11	7.86
246	5.5801	-9.68E-12	7.86
247	5.5801	-9.07E-12	7.86
248	5.5801	-8.41E-12	7.86
249	5.5801	-7.76E-12	7.86
250	5.5801	-7.13E-12	7.86
251	5.5801	-6.48E-12	7.86
252	5.5801	-5.86E-12	7.86
253	5.5801	-5.30E-12	7.86
254	5.5801	-4.75E-12	7.86
255	5.5801	-4.23E-12	7.86
256	5.5801	-3.74E-12	7.86
257	5.5801	-3.31E-12	7.86
258	5.5801	-2.90E-12	7.86
259	5.5801	-2.52E-12	7.86

260	5.5801	-2.19E-12	7.86
261	5.5801	-1.88E-12	7.86
262	5.5801	-1.61E-12	7.86
263	5.5801	1.36E-12	7.86
264	5.5801	-1.14E-12	7.86
265	5.5801	-9.52E-13	7.86
266	5.5801	-7.82E-13	7.86
267	5.5801	-6.39E-13	7.86
268	5.5801	-5.12E-13	7.86
269	5.5801	-3.98E-13	7.86
270	5.5801	-3.13E-13	7.86
271	5.5801	-2.27E-13	7.86
272	5.5801	-1.42E-13	7.86
273	5.5801	-1.14E-13	7.86
274	5.5801	-5.68E-14	7.86
275	5.5801	-1.42E-14	7.86
276	5.5801	1.42E-14	7.86
277	5.5801	2.84E-14	7.86
278	5.5801	5.68E-14	7.86
279	5.5801	7.11E-14	7.86
280	5.5801	8.53E-14	7.86
281	5.5801	7.11E-14	7.86
282	5.5801	9.95E-14	7.86
283	5.5801	8.53E-14	7.86
284	5.5801	9.95E-14	7.86
285	5.5801	8.53E-14	7.86
286	5.5801	8.53E-14	7.86
287	5.5801	8.53E-14	7.86
288	5.5801	8.53E-14	7.86
289	5.5801	7.11E-14	7.86
290	5.5801	7.11E-14	7.86
291	5.5801	5.68E-14	7.86
292	5.5801	5.68E-14	7.86
293	5.5801	5.68E-14	7.86
294	5.5801	4.26E-14	7.86
295	5.5801	4.26E-14	7.86
296	5.5801	4.26E-14	7.86
297	5.5801	2.84E-14	7.86
298	5.5801	4.26E-14	7.86
299	5.5801	1.42E-14	7.86
300	5.5801	2.84E-14	7.86

## DATA TRAINING

Tekanan 2.4 Psi

Time	Error	D_Error	Target
0	105	105	5.7
1	87.62	-17.38	5.7
2	72.404	-15.216	5.7
3	59.161	-13.242	5.7
4	47.708	-11.453	5.7
5	37.868	-9.84	5.7
6	29.474	-8.3939	5.7
7	22.37	-7.1044	5.7
8	16.409	-5.9609	5.7
9	11.457	-4.9524	5.7
10	7.3887	-4.068	5.7
11	4.0916	-3.2971	5.7
12	1.4626	-2.6291	5.7
13	-0.59143	-2.054	5.7
14	-2.1539	-1.5624	5.7
15	-3.2993	-1.1454	5.7
16	-4.0939	-0.79459	5.7
17	-4.5961	-0.50227	5.7
18	-4.8574	-0.26132	5.7
19	-4.9227	-0.06523	5.7
20	-4.8308	0.09191	5.7
21	-4.6153	0.21547	5.7
22	-4.305	0.31025	5.7
23	-3.9245	0.38058	5.7
24	-3.4942	0.43027	5.7
25	-3.0315	0.46272	5.7
26	-2.5506	0.48092	5.7
27	-2.0631	0.48747	5.7
28	-1.5784	0.48464	5.7
29	-1.104	0.4744	5.7
30	-0.64563	0.45842	5.7
31	-0.20749	0.43814	5.7
32	0.20728	0.41477	5.7
33	0.5966	0.38933	5.7
34	0.95926	0.36265	5.7
35	1.2947	0.33544	5.7
36	1.603	0.30825	5.7
37	1.8845	0.28152	5.7
38	2.1401	0.25561	5.7
39	2.3709	0.23076	5.7
40	2.578	0.20718	5.7
41	2.763	0.185	5.7
42	2.9273	0.16429	5.7
43	3.0724	0.1451	5.7
44	3.1998	0.12743	5.7
45	3.3111	0.11126	5.7
46	3.4077	0.09656	5.7
47	3.4909	0.083266	5.7

48	3.5622	0.071311	5.7
49	3.6229	0.06062	5.7
50	3.674	0.051111	5.7
51	3.7167	0.042699	5.7
52	3.752	0.0353	5.7
53	3.7808	0.028828	5.7
54	3.804	0.023202	5.7
55	3.8224	0.018341	5.7
56	3.8385	0.01417	5.7
57	3.8471	0.010616	5.7
58	3.8547	0.007613	5.7
59	3.8598	0.005096	5.7
60	3.8629	0.00301	5.7
61	3.8642	0.001299	5.7
62	3.8641	-8.39E-05	5.7
63	3.8629	-0.00118	5.7
64	3.8608	-0.00204	5.7
65	3.8582	-0.00269	5.7
66	3.855	-0.00316	5.7
67	3.8515	-0.00348	5.7
68	3.8478	-0.00368	5.7
69	3.8441	-0.00378	5.7
70	3.8403	-0.00379	5.7
71	3.8365	-0.00374	5.7
72	3.8329	-0.00364	5.7
73	3.8294	-0.0035	5.7
74	3.8261	-0.00333	5.7
75	3.8229	-0.00314	5.7
76	3.82	-0.00294	5.7
77	3.8173	-0.00273	5.7
78	3.8147	-0.00251	5.7
79	3.8124	-0.0023	5.7
80	3.8103	-0.0021	5.7
81	3.8084	-0.0019	5.7
82	3.8067	-0.00171	5.7
83	3.8052	-0.00153	5.7
84	3.8038	-0.00137	5.7
85	3.8026	-0.00121	5.7
86	3.8016	-0.00107	5.7
87	3.8006	-0.00093	5.7
88	3.7998	-0.00081	5.7
89	3.7991	-0.0007	5.7
90	3.7985	-0.0006	5.7
91	3.798	-0.00052	5.7
92	3.7976	-0.00044	5.7
93	3.7972	-0.00037	5.7
94	3.7969	-0.00031	5.7
95	3.7966	-0.00025	5.7
96	3.7964	-0.0002	5.7
97	3.7963	-0.00016	5.7
98	3.7961	-0.00013	5.7
99	3.796	-9.71E-05	5.7
100	3.796	-7.15E-05	5.7

101	3.7959	-4.99E-05	5.7
102	3.7959	-3.19E-05	5.7
103	3.7959	-1.70E-05	5.7
104	3.7959	-4.92E-06	5.7
105	3.7959	4.80E-06	5.7
106	3.7959	1.25E-05	5.7
107	3.7959	1.83E-05	5.7
108	3.7959	2.27E-05	5.7
109	3.796	2.58E-05	5.7
110	3.796	2.79E-05	5.7
111	3.796	2.91E-05	5.7
112	3.796	2.95E-05	5.7
113	3.7961	2.94E-05	5.7
114	3.7961	2.88E-05	5.7
115	3.7961	2.79E-05	5.7
116	3.7962	2.67E-05	5.7
117	3.7962	2.53E-05	5.7
118	3.7962	2.37E-05	5.7
119	3.7962	2.21E-05	5.7
120	3.7962	2.05E-05	5.7
121	3.7963	1.88E-05	5.7
122	3.7963	1.72E-05	5.7
123	3.7963	1.56E-05	5.7
124	3.7963	1.41E-05	5.7
125	3.7963	1.27E-05	5.7
126	3.7963	1.13E-05	5.7
127	3.7963	1.01E-05	5.7
128	3.7964	8.89E-06	5.7
129	3.7964	7.81E-06	5.7
130	3.7964	6.82E-06	5.7
131	3.7964	5.93E-06	5.7
132	3.7964	5.11E-06	5.7
133	3.7964	4.38E-06	5.7
134	3.7964	3.73E-06	5.7
135	3.7964	3.15E-06	5.7
136	3.7964	2.63E-06	5.7
137	3.7964	2.18E-06	5.7
138	3.7964	1.78E-06	5.7
139	3.7964	1.43E-06	5.7
140	3.7964	1.14E-06	5.7
141	3.7964	8.80E-07	5.7
142	3.7964	6.61E-07	5.7
143	3.7964	4.76E-07	5.7
144	3.7964	3.21E-07	5.7
145	3.7964	1.93E-07	5.7
146	3.7964	8.72E-08	5.7
147	3.7964	1.70E-09	5.7
148	3.7964	-6.63E-08	5.7
149	3.7964	-1.19E-07	5.7
150	3.7964	-1.60E-07	5.7
151	3.7964	-1.89E-07	5.7
152	3.7964	-2.09E-07	5.7
153	3.7964	-2.22E-07	5.7

154	3.7964	-2.28E-07	5.7
155	3.7964	-2.30E-07	5.7
156	3.7964	-2.27E-07	5.7
157	3.7964	-2.21E-07	5.7
158	3.7964	-2.13E-07	5.7
159	3.7964	-2.03E-07	5.7
160	3.7964	-1.91E-07	5.7
161	3.7964	-1.79E-07	5.7
162	3.7964	-1.66E-07	5.7
163	3.7964	-1.53E-07	5.7
164	3.7964	-1.41E-07	5.7
165	3.7964	-1.28E-07	5.7
166	3.7964	-1.16E-07	5.7
167	3.7964	-1.05E-07	5.7
168	3.7964	-9.38E-08	5.7
169	3.7964	-8.36E-08	5.7
170	3.7964	-7.41E-08	5.7
171	3.7964	-6.53E-08	5.7
172	3.7964	-5.72E-08	5.7
173	3.7964	-4.99E-08	5.7
174	3.7964	-4.32E-08	5.7
175	3.7964	-3.71E-08	5.7
176	3.7964	-3.17E-08	5.7
177	3.7964	-2.69E-08	5.7
178	3.7964	-2.26E-08	5.7
179	3.7964	-1.88E-08	5.7
180	3.7964	-1.55E-08	5.7
181	3.7964	1.26E-08	5.7
182	3.7964	-1.01E-08	5.7
183	3.7964	-7.89E-09	5.7
184	3.7964	-6.04E-09	5.7
185	3.7964	-4.46E-09	5.7
186	3.7964	-3.13E-09	5.7
187	3.7964	-2.02E-09	5.7
188	3.7964	-1.11E-09	5.7
189	3.7964	-3.58E-10	5.7
190	3.7964	2.43E-10	5.7
191	3.7964	7.18E-10	5.7
192	3.7964	1.08E-09	5.7
193	3.7964	1.36E-09	5.7
194	3.7964	1.55E-09	5.7
195	3.7964	1.68E-09	5.7
196	3.7964	1.76E-09	5.7
197	3.7964	1.79E-09	5.7
198	3.7964	1.78E-09	5.7
199	3.7964	1.75E-09	5.7
200	3.7964	1.69E-09	5.7
201	3.7964	1.62E-09	5.7
202	3.7964	1.54E-09	5.7
203	3.7964	1.45E-09	5.7
204	3.7964	1.35E-09	5.7
205	3.7964	1.25E-09	5.7
206	3.7964	1.15E-09	5.7



207	3.7964	1.05E-09	5.7
208	3.7964	9.55E-10	5.7
209	3.7964	8.63E-10	5.7
210	3.7964	7.76E-10	5.7
211	3.7964	6.93E-10	5.7
212	3.7964	6.16E-10	5.7
213	3.7964	5.45E-10	5.7
214	3.7964	4.79E-10	5.7
215	3.7964	4.19E-10	5.7
216	3.7964	3.64E-10	5.7
217	3.7964	3.14E-10	5.7
218	3.7964	2.69E-10	5.7
219	3.7964	2.29E-10	5.7
220	3.7964	1.94E-10	5.7
221	3.7964	1.62E-10	5.7
222	3.7964	1.34E-10	5.7
223	3.7964	1.10E-10	5.7
224	3.7964	8.86E-11	5.7
225	3.7964	7.03E-11	5.7
226	3.7964	5.46E-11	5.7
227	3.7964	4.12E-11	5.7
228	3.7964	2.98E-11	5.7
229	3.7964	2.02E-11	5.7
230	3.7964	1.23E-11	5.7
231	3.7964	5.80E-12	5.7
232	3.7964	5.26E-13	5.7
233	3.7964	-3.69E-12	5.7
234	3.7964	-6.96E-12	5.7
235	3.7964	-9.49E-12	5.7
236	3.7964	-1.13E-11	5.7
237	3.7964	-1.26E-11	5.7
238	3.7964	-1.34E-11	5.7
239	3.7964	-1.38E-11	5.7
240	3.7964	-1.39E-11	5.7
241	3.7964	-1.38E-11	5.7
242	3.7964	-1.34E-11	5.7
243	3.7964	-1.29E-11	5.7
244	3.7964	-1.23E-11	5.7
245	3.7964	-1.17E-11	5.7
246	3.7964	-1.09E-11	5.7
247	3.7964	-1.01E-11	5.7
248	3.7964	-9.37E-12	5.7
249	3.7964	-8.60E-12	5.7
250	3.7964	-7.83E-12	5.7
251	3.7964	-7.11E-12	5.7
252	3.7964	-6.41E-12	5.7
253	3.7964	-5.74E-12	5.7
254	3.7964	-5.12E-12	5.7
255	3.7964	-4.53E-12	5.7
256	3.7964	-4.01E-12	5.7
257	3.7964	-3.51E-12	5.7
258	3.7964	-3.06E-12	5.7
259	3.7964	-2.66E-12	5.7