

## MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

### PENGENDALIAN TINGGI MUKA CAIRAN PADA PLANT NONLINEAR MENGUNAKAN METODE KONTROL FUZZY

Doni Salami<sup>1</sup>, Iwan Setiawan<sup>2</sup>, Wahyudi<sup>2</sup>  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

*Abstrak* - Kendali level cairan merupakan sebuah sistem pengaturan yang banyak digunakan di industri. Masalah yang kemudian muncul adalah ada bagian tertentu dalam proses industri yang membutuhkan kontrol nonlinear sebagai contoh adalah proses pengisian atau pembuangan cairan dalam tangki yang berbentuk nonlinear, diperlukan metode yang tepat untuk menangani masalah ini. Fuzzy menawarkan metode yang tidak memerlukan pengetahuan tentang parameter sistem walaupun ada kerumitan dalam perancangan program.

Tugas Akhir ini bertujuan untuk mengendalikan tinggi level cairan pada plant limas terpancung (nonlinear plant) dengan menggunakan logika Fuzzy Sugeno serta selanjutnya mengamati respon yang dihasilkan. Pengendali Fuzzy Sugeno digunakan untuk mengatur besarnya bukaan valve sebagai reaksi dari referensi yang dimasukkan pada plant.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa kendali Fuzzy Sugeno mampu menghasilkan respon sistem yang cukup baik, hal ini ditandai dengan kemampuan plant mengikuti referensi yang diberikan dengan offset yang kecil. Batas kritis gangguan berupa bukaan keran beban yang masih dapat diikuti sistem dengan baik adalah  $1 \frac{5}{15}$  putar keran beban.

**Kata kunci** : Fuzzy Sugeno, kontrol valve, nonlinear, limas terpancung

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi mendorong manusia untuk senantiasa menciptakan inovasi guna mempermudah pekerjaan, salah satunya adalah bidang industri. Masalah yang kemudian timbul adalah ada bagian tertentu dalam proses industri yang membutuhkan kontrol *nonlinear*

Diperlukan metode yang tepat untuk menangani laju kerja *nonlinear* ini, salah satunya adalah logika Fuzzy Sugeno yang mampu bekerja baik pada sistem *nonlinear* dengan menawarkan metoda yang tidak memerlukan model matematis dari proses walaupun ada kerumitan dalam perancangan program.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mengendalikan tinggi level cairan pada *plant* limas terpancung dengan menggunakan logika Fuzzy Sugeno.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini penulis membatasi permasalahan:

1. *Plant* yang diuji adalah wadah penampung air yang berbentuk limas terpancung dengan ukuran wadah yang sudah ditentukan.
2. Teknik kendali yang digunakan adalah Fuzzy Sugeno.
3. Pengaturan ketinggian permukaan air dilakukan dengan mengatur bukaan *valve* masukan.
4. Sensor pengukuran ketinggian permukaan air yang digunakan adalah sensor ultrasonik.
5. Jarak ketinggian air yang dapat diatur untuk pengendalian sistem dibatasi dari jarak 10 cm – 50 cm.
6. Gangguan yang diberikan berupa pengurangan jumlah air dengan cara mengatur bukaan *valve* keluaran secara manual.
7. Program kendali Fuzzy Sugeno direalisasikan menggunakan mikrokontroler ATmega 8535 dan komunikasi dengan komputer menggunakan bahasa pemrograman Delphi 7 (tidak dibahas mendalam).
8. Perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler adalah Code Vision AVR.

1) Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

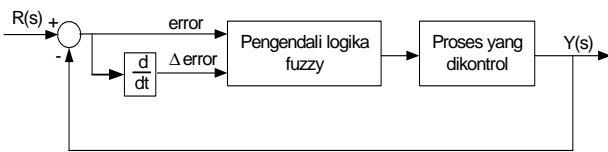
2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

9. Bahasa pemrograman pada mikrokontroler ATmega8535 menggunakan bahasa C standar ANSI.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 SISTEM KENDALI LOGIKA FUZZY

Logika *Fuzzy* dikenalkan oleh L.A.Zadeh pada tahun 1965, Zadeh mengembangkan teori himpunan logika biner. Zadeh kemudian memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinu antara 0 sampai 1 atau ditulis [0 1]. Mekanisme kendali logika *Fuzzy* kalang tertutup ditunjukkan pada Gambar 1.

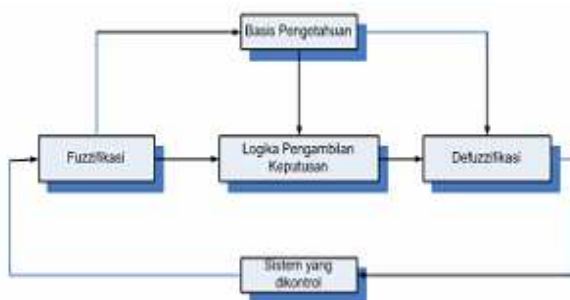


Gambar 1 Loop tertutup dengan pengendali *Fuzzy*.

Gambar 1 menunjukkan dua masukan crisp (tegas), yaitu masukan *error* dan perubahan *error* yang diperoleh dari nilai referensi, keluaran plant, dan *error* sebelumnya. Dua masukan tersebut akan diolah oleh pengendali logika *Fuzzy*.

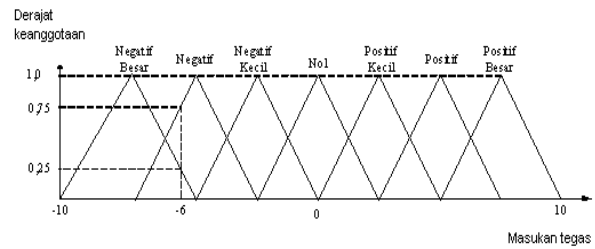
Struktur dasar pengendali logika *Fuzzy* meliputi empat bagian utama yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambilan keputusan, dan defuzzifikasi. Struktur dasar ditunjukkan Gambar 2.

Gambar 2 Struktur dasar pengendali logika *Fuzzy*.



#### 2.1.1 Fuzzifikasi

Komponen fuzzifikasi berfungsi untuk memetakan masukan data tegas ke dalam himpunan *Fuzzy* menjadi nilai *Fuzzy* dari beberapa variabel linguistik masukan. Gambar 3 menunjukkan suatu contoh proses fuzzifikasi dimana nilai masukan tegas sebesar -6 dipetakan ke dalam fungsi keanggotaan segitiga.



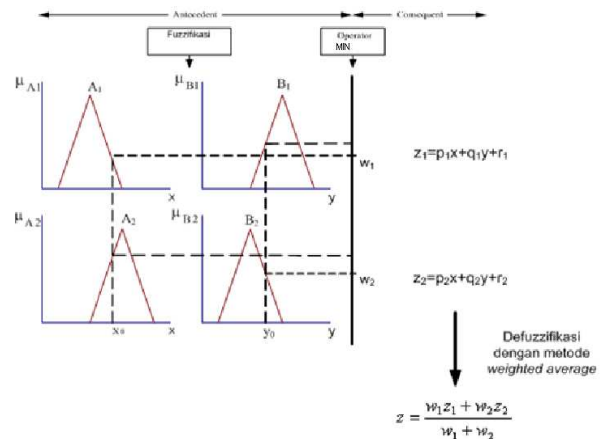
Gambar 3 Proses fuzzifikasi.

#### 2.1.2 Basis pengetahuan

Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan. Basis data mencakup perancangan fungsi keanggotaan untuk variabel masukan dan keluaran, pendefinisian semesta pembicaraan, dan penentuan variabel linguistik setiap variabel masukan dan keluaran. Basis aturan kendali *Fuzzy* adalah kumpulan aturan-aturan kendali *Fuzzy* yang dibuat berdasarkan pengetahuan manusia dalam pengendalian suatu sistem, aturan ini berbentuk 'JIKA – MAKA' (*IF – THEN*) yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variable masukan sehingga menghasilkan variabel keluaran dalam bentuk himpunan *Fuzzy*.

#### 2.1.3 Logika pengambilan Keputusan

Pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan basis aturan yang telah dibuat. Logika pengambilan keputusan ini akan menghubungkan masukan dari hasil fuzzifikasi dengan aturan yang telah dibuat sehingga diperoleh keluaran yang diharapkan. Proses pengambilan keputusan metode Sugeno ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4 Proses pengambilan keputusan metode Sugeno.

Implikasi dalam metode Sugeno merupakan suatu perkalian atau nilai minimum antara keluaran bagian *antecedent* dengan menggunakan operator MIN dikalikan dengan fungsi keanggotaan keluaran *singleton*.

**2.1.4 Defuzzifikasi**

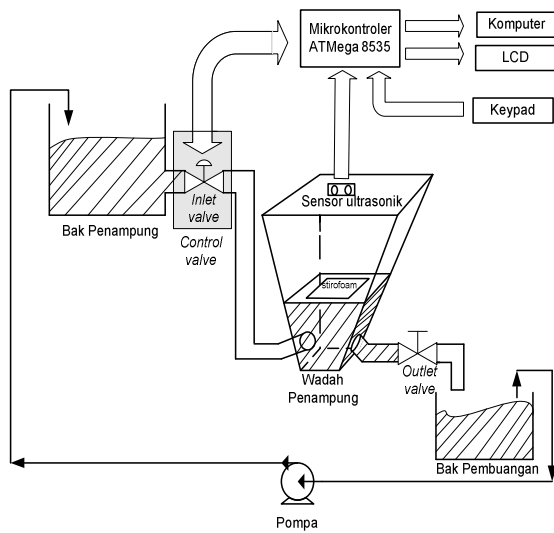
Defuzzifikasi adalah proses perubahan besaran *Fuzzy* yang disajikan dalam himpunan *Fuzzy* ke sinyal yang berbentuk *crisp*. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode rata-rata terbobot (*weighted average*). Keluaran ini berupa himpunan *crisp* yang akan mengendalikan sistem yang dikontrol.

$$Keluaran\ Crisp = \frac{\sum_i (Keluaran\ Fuzzy) \times (Nilai\ parameter\ pada\ sumbu\ z_i)}{\sum_i (Keluaran\ Fuzzy)}$$

**III. PERANCANGAN**

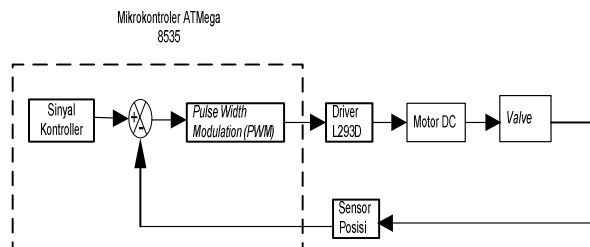
**3.1 Perancangan Perangkat Keras**

Secara umum perancangan perangkat keras sistem dalam Tugas Akhir ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 sistem pengendalian tinggi muka cairan.

sinyal kontroler yang akan digunakan untuk menggerakkan *actuator plant* berupa bukaan *valve*. Pada kontrol *valve* ini terjadi proses umpan balik sinyal dengan mikrokontroler. Gambar 6 menjelaskan alur kerja sistem kontrol *valve*.



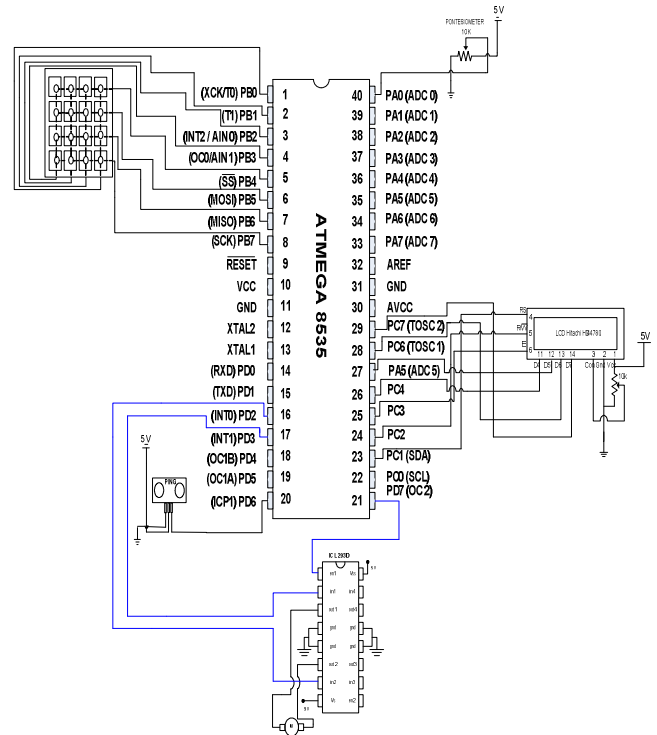
Gambar 6 Diagram blok sistem kontrol *valve*.

Pada diagram blok sistem kontrol *valve* tersebut nilai dari sinyal kontroler akan

dikurangkan dengan nilai dari sensor posisi, hasil dari proses pengurangan ini akan diperoleh nilai besaran *Pulse Width Modulation (PWM)*. Sinyal dari PWM ini akan masuk kedalam rangkaian *driver L293D* dan diperoleh sinyal kontrol analog yang akan menggerakkan motor DC. Motor DC ini berfungsi sebagai aktuator dengan *valve*. Nilai dari putaran *valve* akan dikirimkan kepada sensor posisi, sebagai indikator bukaan dan pembatas buka-tutup *valve*. Sensor posisi yang digunakan pada sistem kontrol *valve* ini adalah berupa komponen potensiometer, dengan memanfaatkan roda – roda gigi, putaran potensiometer dikopel dengan putaran motor DC.

**3.1.1 Sistem Mikrokontroler ATmega 8535**

Alokasi *port* dalam Tugas Akhir ini ditunjukkan dalam Gambar 7.



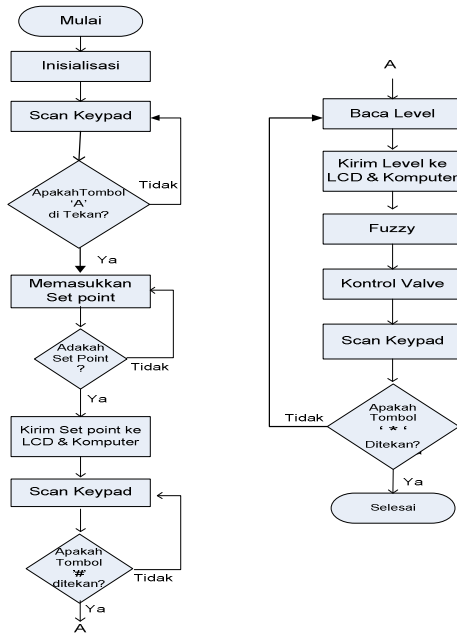
Gambar 7 Alokasi *port* pada ATmega 8535.

**3.2 Perancangan Perangkat Lunak**

Perancangan perangkat lunak terdiri dari perancangan program utama, pembacaan sensor Ping, kendali posisi valve, dan program kendali *Fuzzy*.

**3.2.1 Program Utama**

Pada perancangan perangkat lunak terdapat program utama. Gambar 8 menunjukkan diagram alir sistem kontrol pada program utama.



Gambar 8 Diagram alir sistem

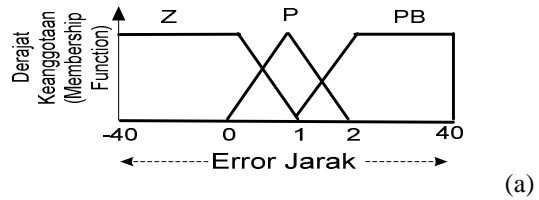
Program utama ini secara garis besar bertujuan untuk mengatur kerja sistem yang meliputi pembacaan masukan (*keypad*), pembacaan sensor ultrasonik, pembacaan posisi bukaan *valve* oleh potensiometer, menampilkan hasil pembacaan sensor, dan penerapan logika *Fuzzy* pada mikrokontroler ATmega8535.

Program utama berperan sebagai jantung perangkat lunak yang akan mengatur keseluruhan operasi yang melibatkan fungsi-fungsi pendukung. Fungsi-fungsi pendukung akan melakukan kerja khusus sesuai kebutuhan dari program utama. Program utama akan diawali dengan inisialisasi variabel-variabel yang digunakan dalam keseluruhan proses kendali, tahapan selanjutnya untuk mengatur ketinggian level air yang diinginkan dengan menekan tombol ‘A’, penekanan tombol ‘A’ mengakibatkan program memasuki tahapan penentuan *set point* yang diinginkan yaitu 10 cm - 50 cm. Jika *set point* yang dimasukkan dalam program lebih besar atau lebih kecil dari batas yang diperbolehkan maka ketika program dijalankan (dengan menekan tombol *Enter*) tidak akan berjalan dan akan tampil pesan peringatan batas penentuan level yang diperkenankan. Menjalankan program setelah *set point* dimasukkan dengan menekan tombol ‘*Enter*’, program kemudian mengirimkan data *set point* ke LCD dan komputer, sensor ultrasonik membaca level ketinggian air yang selanjutnya data ketinggian yang didapat dikirimkan ke LCD dan komputer. Program selanjutnya mengeksekusi program *Fuzzy* yang hasil dari pengolahan *Fuzzy* ini digunakan untuk mengendalikan bukaan *valve*. Program akan terus berjalan dan jika kita menekan

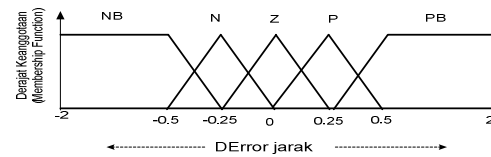
tombol ‘\*’ maka program akan berhenti dan kembali ke kondisi awal.

### 3.2.2 Program Kendali Fuzzy

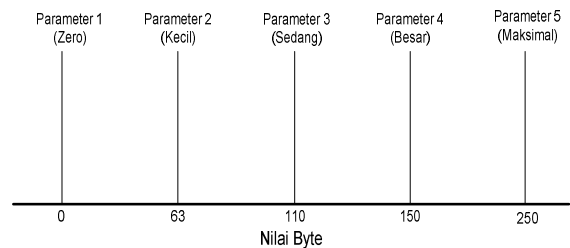
Kendali *Fuzzy* dirancang dengan dua masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, serta satu keluaran seperti diperlihatkan pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Perancangan fungsi keanggotaan *error*.



(b) Perancangan fungsi keanggotaan perubahan *error*.  
Gambar 9 Perancangan fungsi keanggotaan masukan.



Gambar 10 Bentuk dan batasan himpunan *Fuzzy* keluaran.

Proses kendali *Fuzzy* tersebut membutuhkan dua hal utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*). Kendali *Fuzzy* pada tugas akhir ini juga dirancang dengan menggunakan 25 aturan seperti pada Tabel 1.

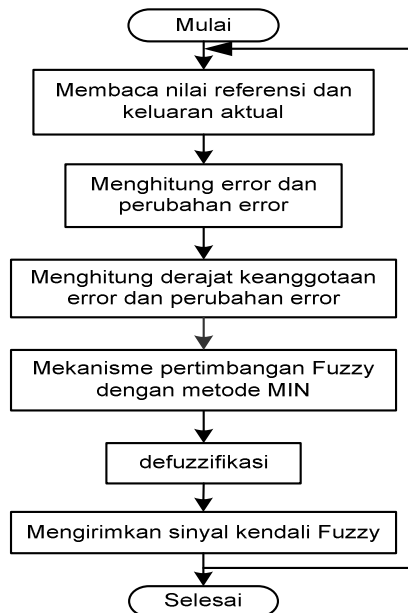
Tabel 1 Aturan *Fuzzy*

| Error        | Z  | P | PB | Keterangan :<br>NB : Negatif Besar<br>N : Negatif<br>Z : Zero<br>P : Positif<br>PB : Positif Besar<br><br>Ze : Zero<br>K : Kecil<br>S : Sedang<br>B : Besar<br>M : Maksimal |
|--------------|----|---|----|---|
| D_Error / NB | Ze | K | S  |   |
| N            | Ze | B | M  |   |
| Z            | Ze | S | M  |   |
| P            | Ze | K | M  |   |
| PB           | Ze | M | M  |   |

Pengambilan keputusan diproses menggunakan fungsi implikasi MIN yang akan mengambil nilai

paling minimal dari kedua masukan. Proses selanjutnya adalah defuzzifikasi, yaitu mengubah nilai keluaran berupa himpunan *Fuzzy* menjadi nilai keluaran yang berupa data crisp. Proses defuzzifikasi dirancang dengan menggunakan metode rata-rata terbobot.

Blok diagram perancangan program kendali *Fuzzy* diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Diagram blok utama sistem kendali *Fuzzy*.

Program akan membaca nilai referensi yang dimasukkan oleh operator dan nilai keluaran actual ketinggian air, kemudian menghitung *error* dan perubahan *error* sebagai masukan *Fuzzy*. Langkah selanjutnya, menghitung derajat keanggotaan *error* dan perubahan *error* tersebut. Nilai derajat keanggotaan tersebut akan menghasilkan suatu nilai keluaran setelah melalui logika pengambilan keputusan *Fuzzy* hingga didapatkan nilai keluaran yang masih berbentuk himpunan *Fuzzy*, maka dilakukan proses defuzzifikasi untuk menghasilkan keluaran berbentuk himpunan tegas. Selanjutnya, mengirimkan sinyal kendali *Fuzzy* yang telah diperoleh ke aktuator.

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pemrograman kendali logika *Fuzzy*, pengujian nilai referensi, dan pengujian volume cairan.

##### 4.1 Pengujian Pemrograman Logika *Fuzzy*

Kendali logika *Fuzzy* yang diolah, nilai derajat keanggotaannya dapat ditampilkan pada PC. Tampilan pada PC melalui program CodeVision AVR dengan mengatur *tools terminal*.

###### 4.1.1 Pengujian Pemrograman Fuzzifikasi

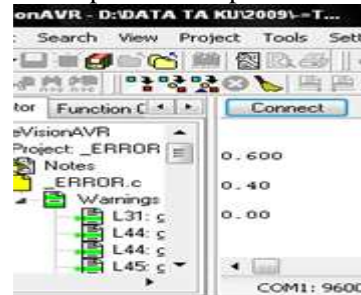
Sebagai contoh akan dicari derajat keanggotaan dari suatu masukan yaitu  $error = 0,4$ . Derajat keanggotaan perhitungan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$error Z = (1 - error) / 1 = 0,6 / 1 = 0,6$$

$$error P = (error - 2) / 1 = 0,4 / 1 = 0,4$$

$$error PB = 0$$

Hasil keluaran  $error P$  dan  $error PB$  menggunakan *tools terminal* diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Fuzzifikasi untuk  $error = 0,4$ .

Hasil eksekusi program didapat nilai yang sama dengan hasil fuzzifikasi secara perhitungan.

Untuk  $d\_error$  (delta  $error$ ) =  $-0,4$ . Derajat keanggotaan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$d\_error NB = (-0,25 - d\_err) / (0,25) = 0,6$$

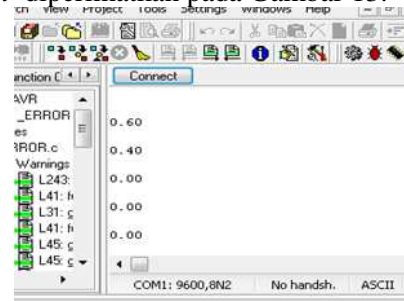
$$d\_error N = (d\_err - (-0,5)) / (0,25) = 0,4$$

$$d\_error Z = 0$$

$$d\_error P = 0$$

$$d\_error PB = 0$$

Hasil keluaran  $d\_error NB$  dan  $d\_error N$  *tools terminal* diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Fuzzifikasi untuk  $d\_error = -0,4$ .

Hasil eksekusi program didapat nilai yang sama dengan hasil fuzzifikasi secara perhitungan.

##### 4.1.2 Pengujian Mekanisme Pengambilan Keputusan

Basis aturan yang digunakan sebagai contoh untuk mekanisme pengambilan keputusan adalah basis aturan ke-7 pada perancangan basis aturan, yaitu:

**“Jika  $Error P$  dan  $D\_Error N$  maka Motor Keluaran B”**

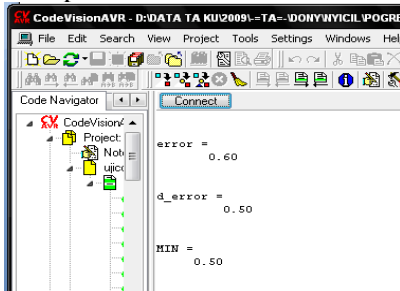
Sebagai contoh masukan  $error = 0,4$  dan  $d\_error = -0,4$  seperti contoh pengujian fuzzifikasi. Hasil

perhitungan dari sample  $error = 0,4$  dan  $d\_error = -0,4$  adalah :

$$W1 = \text{MIN}(0,6;0,5)$$

$$W1 = 0,5$$

Hasil keluaran MIN pada *tools terminal* diperlihatkan pada Gambar 14.



Gambar 14 Tampilan hasil MIN pada komputer.

Hasil eksekusi program didapatkan nilai yang sama dengan perhitungan.

### 4.1.3 Pengujian Pemrograman Defuzzifikasi

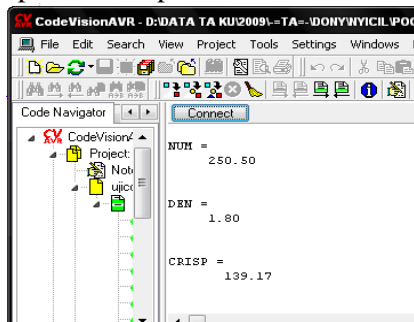
pengujian Defuzzifikasi ini diambil contoh pada  $error = 2,4$  dan  $d\_error = -0,4$ .

Nilai  $error = 2,4$  dan  $d\_error = -0,4$  memotong *membership function*

$$\begin{aligned} error\ P &= 0,6 \\ error\ PB &= 0,4 \\ d\_error\ NB &= 0,5 \\ d\_error\ N &= 0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} crisp &= \frac{MIN(0,6;0,5) * 63 + MIN(0,6;0,5) * 150 + MIN(0,4;0,5) * 110 + MIN(0,4;0,5) * 250}{MIN(0,6;0,5) + MIN(0,6;0,5) + MIN(0,4;0,5) + MIN(0,4;0,5)} \\ &= 139,17 \end{aligned}$$

Hasil defuzzifikasi pada program di komputer, seperti diperlihatkan pada Gambar 15.



Gambar 15 Tampilan hasil defuzzifikasi pada komputer.

Hasil eksekusi program didapatkan *output crisp* bernilai 139.17, nilai yang sama dengan hasil defuzzifikasi secara perhitungan.

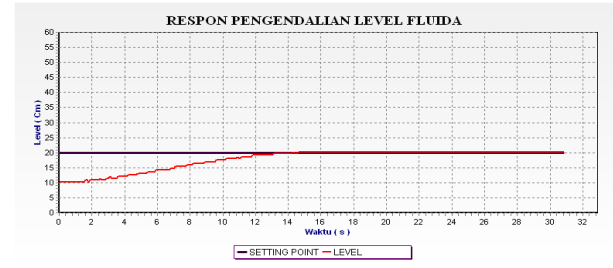
## 4.2 Pengujian Nilai Referensi

Pada tahap ini pengujian dilakukan secara pengamatan sistem kontrol *valve* dalam mengisi air, untuk membandingkan jarak referensi dengan jarak aktual tinggi air.

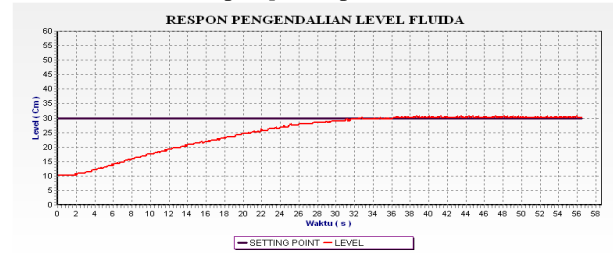
### 4.2.1 Pengujian Nilai Referensi Tetap

Pengujian dilakukan dengan tiga variasi yaitu 20 cm, 30 cm, 35 cm, dan 40 cm.

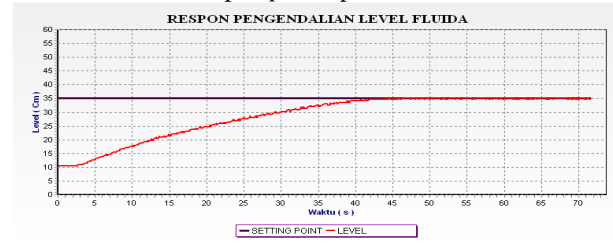
Respon tiap pengujian ditunjukkan pada Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19..



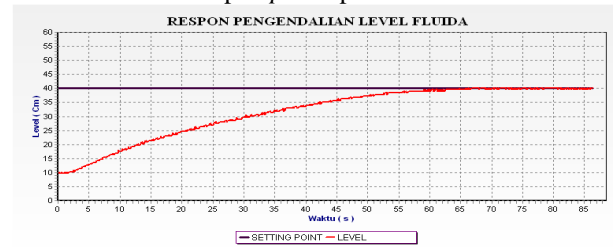
Gambar 16 Respon *plant* pada referensi 20 cm.



Gambar 17 Respon *plant* pada referensi 30 cm.



Gambar 18 Respon *plant* pada referensi 35 cm.



Gambar 19 Respon *plant* pada referensi 40 cm.

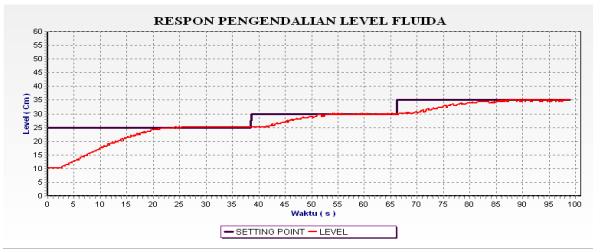
Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Respon sistem pada referensi tetap.

| Ref (cm) | tinggi awal (cm) | Waktu Naik (0 - 100%) / $t_r$ (detik) | Waktu Penetapan / $t_s$ (detik) | tinggi akhir (cm) | Offset (%) |
|----------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------|
| 20       | 10.3             | 9,6                                   | 10,2                            | 20,3              | 1,5        |
| 30       | 10.3             | 28                                    | 28,2                            | 30,2              | 0,67       |
| 35       | 10.3             | 39,2                                  | 41                              | 35,2              | 0,57       |
| 40       | 10.3             | 55                                    | 58                              | 40,1              | 0,25       |

### 4.2.2 Pengujian Nilai Referensi Naik

Pengujian dilakukan dengan 3 referensi kenaikan pada ketinggian nilai awal yang sama. Respon pengujian terhadap kenaikan nilai referensi ditunjukkan pada Gambar 20.



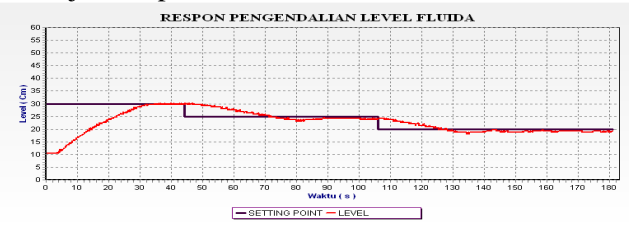
Gambar 20 Respon *plant* pada referensi naik.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.  
Tabel 3 Respon sistem pada referensi naik.

| Ref (cm) | Tinggi awal (cm) | Waktu Naik (0 - 100%) / $t_r$ (detik) | Waktu Penetapan / $t_s$ (detik) | Tinggi akhir (cm) | Offset (%) |
|----------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------|
| 25       | 10,3             | 18                                    | 20                              | 25,3              | 1,2        |
| 30       | 25,3             | 10                                    | 11                              | 30,2              | 0,67       |
| 35       | 30,2             | 13                                    | 16                              | 35,2              | 0,57       |

#### 4.2.3 Pengujian Nilai Referensi Turun

Pengujian dilakukan dengan memberikan 3 referensi penurunan yaitu dengan cara membuka keran beban. Respon pengujian ditunjukkan pada Gambar 21.



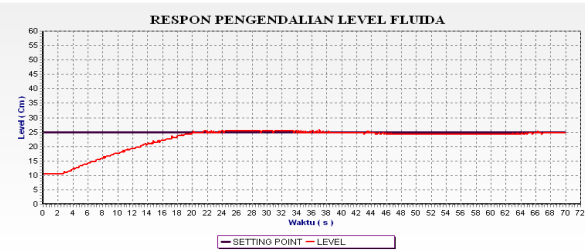
Gambar 21 Respon *plant* pada referensi turun.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.  
Tabel 4 Respon sistem pada referensi turun.

| Ref (cm) | tinggi awal (cm) | Waktu Naik (0 - 100%) / $t_r$ (detik) | Waktu Penetapan / $t_s$ (detik) | Ketinggian akhir (cm) | Offset (%) |
|----------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------|
| 30       | 10,3             | 27                                    | 28                              | 30,2                  | 0,67       |
| 25       | 30,2             | 24,5                                  | 45                              | 24,2                  | 3,2        |
| 20       | 24,1             | 20                                    | 50                              | 19,2                  | 4          |

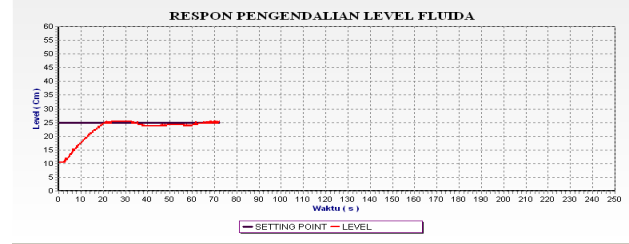
#### 4.2.4 Pengujian *Exogenous Variable*(EV) Tipe 1

Pengujian EV tipe 1 dilakukan dengan membuka keran beban selama 30 detik. Respon pengujian ditunjukkan pada Gambar 22, Gambar 23, dan Gambar 24.

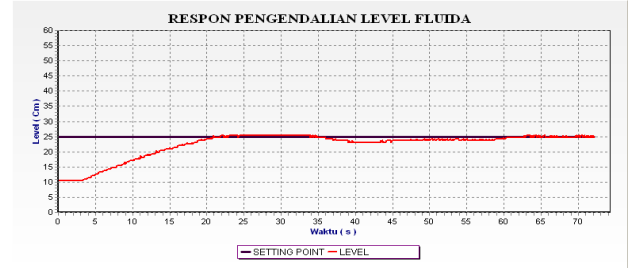


Gambar 22 Respon *plant* pada pengujian EV tipe 1,

beban 0,5 putaran keran beban.



Gambar 23 Respon *plant* pada pengujian EV tipe 1, beban 1 putaran keran beban.



Gambar 24 Respon *plant* pada pengujian EV tipe 1, beban 1,5 putaran keran beban.

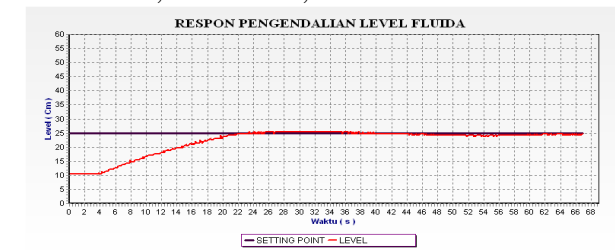
Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Respon sistem pada pengujian EV tipe 1.

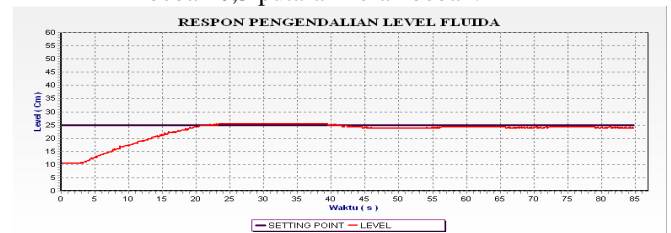
| Ref (cm) | Tinggi Awal (cm) | Gangguan (Putaran) | Penurunan Ketinggian (cm) | Tinggi Akhir (cm) | Offset (%) |
|----------|------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|------------|
| 25       | 10,3             | 0,5                | 0,8                       | 24,7              | 1,2        |
| 25       | 12,1             | 1                  | 1,4                       | 25,3              | 1,2        |
| 25       | 10,3             | 1,5                | 1,9                       | 25,3              | 1,2        |

#### 4.2.5 Pengujian *Exogenous Variable*(EV) Tipe 2

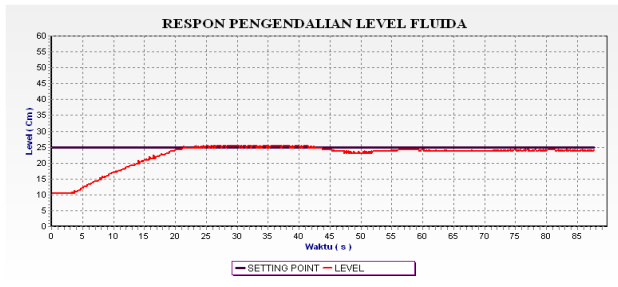
Pengujian EV tipe 2 dilakukan dengan membuka keran beban secara terus menerus. Respon pengujian ditunjukkan pada Gambar 25, Gambar 26, Gambar 27, dan Gambar 28.



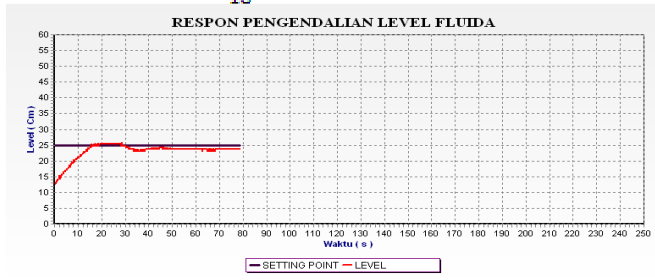
Gambar 25 Respon *plant* pada pengujian EV tipe 2, beban 0,5 putaran keran beban.



Gambar 26 Respon *plant* pada pengujian EV tipe 2, beban 1 putaran keran beban.



Gambar 27 Respon *plant* pada pengujian EV tipe 2, beban  $1 \frac{5}{16}$  putaran keran beban.



Gambar 28 Respon *plant* pada pengujian EV tipe 2, beban  $1 \frac{3}{8}$  putaran keran beban.

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Respon sistem pada pengujian EV tipe 2.

| Ref (cm) | tinggi Awal (cm) | Gangguan (Putaran) | Penurunan Ketinggian (cm) | tinggi Akhir (cm) | Offset (%) |
|----------|------------------|--------------------|---------------------------|-------------------|------------|
| 25       | 10,3             | 0,5                | 0,8                       | 24,7              | 1,2        |
| 25       | 10,3             | 1                  | 1,4                       | 24,2              | 3,2        |
| 25       | 10,3             | $1 \frac{5}{16}$   | 1,9                       | 24,2              | 3,2        |
| 25       | 10,3             | $1 \frac{3}{8}$    | 1,9                       | 23,6              | 5,6        |

### 4.3 Pengujian Volume Cairan

Untuk memperoleh besarnya volume cairan diperlukan nilai tinggi muka cairan ( $H_2$ ) dan lebar sisi atas cairan pada saat terukur ( $S_3$ ). Berdasarkan *plant* yang ada diketahui tinggi objek ( $H$ ) 60 cm, tebal *styrofoam* ( $H_3$ ) 1,5 cm, dan tinggi jarak terukur (antara sensor PING dan *styrofoam*) ( $H_4$ ).

$$\text{Tinggi cairan } (H_2) = 58,5 - H_4$$

Kemudian untuk mengetahui lebar sisi atas cairan pada saat terukur dibutuhkan data tinggi total objek limas ( $H_t$ ) yang didapat dari persamaan 3.2, dengan data panjang sisi atas wadah penampung 50 cm, panjang sisi bawah wadah penampung 15 cm.

$$H_t = \frac{50 \times 60}{50 - 15} = 85,71$$

Lebar sisi atas cairan ( $S_3$ ) dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.3.

$$S_3 = \frac{(85,71 - 60 + H_2) \times 50}{85,71}$$

Volume cairan dapat diketahui berdasarkan persamaan 3.4.

$$V = \frac{1}{3} H_2 ((15)^2 + (15 \times S_3) + S_3^2)$$

Hasil perbandingan volume perhitungan dan volume aktual ditunjukkan Tabel 7.

Tabel 7 Perbandingan volume cairan terukur dengan perhitungan matematis.

| Referensi (cm) | Volume terukur (liter) | Volume (liter) |
|----------------|------------------------|----------------|
| 15             | 5,9                    | 5,7            |
| 20             | 9,1                    | 8,9            |
| 25             | 13                     | 12,9           |
| 30             | 17,8                   | 17,7           |
| 35             | 23,6                   | 23,5           |
| 40             | 30,3                   | 30,3           |

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Pada pengujian nilai referensi tetap, pada referensi 20 cm mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) terkecil sebesar 9,6 detik dan waktu penetapan ( $t_s$ ) sebesar 10,2 detik, pada referensi 40 cm mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) terbesar sebesar 55 detik dan waktu penetapan ( $t_s$ ) sebesar 58 detik. Hal ini disebabkan bertambah besarnya luasan cairan berkurang.
2. Pengujian pada referensi naik, pada referensi 25 cm mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) terbesar yaitu sebesar 18 detik dan waktu penetapan ( $t_s$ ) sebesar 20 detik, dan pada referensi 30 cm mempunyai waktu naik ( $t_r$ ) terkecil yaitu sebesar 10 detik dan waktu penetapan ( $t_s$ ) sebesar 11 detik. Perbedaan  $t_r$  dan  $t_s$  ini disebabkan perbedaan luasan yang dimiliki *plant* pada setiap rentang ketinggian dan perbedaan tekanan cairan pada bak pengisian *plant*.
3. Pengujian pada referensi turun sistem akan mempertahankan ketinggian air sesuai



referensi yang diberikan dengan nilai *offset* yang semakin membesar yaitu dari 0,67% pada referensi 30 cm, *offset* 3,2% pada referensi 25 cm, dan 4% pada referensi 20 cm.

4. Pengujian pada referensi naik-turun pada saat diberikan referensi menaik memiliki *offset* antara 0,67% sampai 1,5%. Pada saat referensi diturunkan *offset* yang dihasilkan 3,2% sampai 4%.
5. Pada pengujian *Exogenous Variable(EV)* tipe 1 tidak berpengaruh besar pada hasil akhir ketinggian level cairan, hal ini bisa ditunjukkan dengan kecilnya *offset* yang dihasilkan yaitu 1,2%.
6. Pada pengujian *Exogenous Variable(EV)* tipe 2, pada pemberian putar keran beban sebesar 0,5 putar keran beban *offset* yang dihasilkan 1,2% dan pada pemberian keran beban semakin membesar *offset* membesar sampai 5,6%.
7. Nilai kritis yang didapatkan pada pengujian *Exogenous Variable(EV)* tipe 2 adalah  $1 \frac{5}{16}$  putar keran beban.

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem lebih lanjut, maka ada beberapa saran yang dapat dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Dapat ditambahkan sistem kontrol *valve* pada *outlet valve* untuk pengembangan lebih lanjut.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut menggunakan variasi *valve* yang berbeda ukuran dalam pengendalian ketinggian level air ini dan dengan bentuk wadah penampung nonlinear lainnya.
3. Dapat ditambahkan analisis tentang hubungan laju aliran fluida dan pengendalian sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Christianto,p., *Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Adaptive Fuzzy Logic Controller Metode Tuning Output*, Skripsi-S1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [2] Heryanto,M.A.,W.Adi.,*Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATMEGA8535*, C.V Andi, Yogyakarta, 2008.
- [3] Iswanto, *Antarmuka Port Paralel dan Port Serial dengan Delphi 6*, Gava Media, Yogyakarta, 2008.
- [4] Jang,J-S.R., C-T.Sun, E. Mizutani, *Neuro Fuzzy and Soft Computing*, Prentice-Hall International, Inc, 1997.
- [5] Joni,I.M.,B.Raharjo.,*Pemrograman C dan Implementasinya*, Informatika, Bandung, 2006.
- [6] Kusumadewi,S.,*Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*,Graha Ilmu, Yogyakarta, 2003.
- [7] Nainggolan,M.F., *Pengendalian Tinggi Muka Cairan Menggunakan Logika Fuzzy dengan Mikrokontroler AVR*, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.
- [8] Ogata, K., *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Diterjemahkan Oleh Ir. Edi Leksono, Erlangga, Jakarta, 1994.
- [9] Setiawan, I., *Kontrol PID untuk Proses Industri*, Elex Media Komputindo, Jakarta, 2008.
- [10] Triwibowo,H.,*Rancang Bangun Simulator Pengendalian Posisi Cannon pada Tank Militer dengan Pengendali PD(Propositional-Derivative)*,Skripsi-S1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [11] Wibowo,W., *Aplikasi Teknik Gain Scheduling pada Sistem Kontrol Valve untuk Pengendalian Tinggi Muka Cairan Pada Limas Terpancung*, Skripsi-S1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [12] Widodo,R.B., J.D.Irawan, *Interfacing Paralel & Serial Menggunakan Delphi*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2007.
- [13] Zulaikah, *Aplikasi Kendali Fuzzy pada Pengendalian Level Cairan*, Skripsi-S1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2007.
- [14] -----, LCD Module User Manual, <http://www.delta-electronic.com>.
- [15] -----, L293D Data Sheet, <http://www.ti.com>.
- [16] -----, PING)))™ Ultrasonic Distance Sensor Data Sheet, <http://www.parallax.com>.
- [17] -----, ATmega 8535 Data Sheet, [www.atmel.com/avr/atmega8535.pdf](http://www.atmel.com/avr/atmega8535.pdf)



Doni Salami (L2F 004 471)  
Lahir di Brebes, 12 Mei 1985.

Mahasiswa Teknik Elektro  
Reguler 2004, Konsentrasi  
Kontrol dan Automatik,  
Universitas Diponegoro.

Email : donysalam@yahoo.com

“ *Ganbatte Ne!!* “

Menyetujui dan Mengesahkan

Pembimbing I

Pembimbing II

Iwan Setiawan,ST,MT

NIP.

197309262000121001

Tanggal.....

Wahyudi,ST,MT

NIP.

196906121994031001

Tanggal.....