

# PENGENDALIAN TINGGI PERMUKAAN CAIRAN BERBASIS FUZZY

(Fuzzy Based Liquid Height Controlling)

Agus Margiantono, Andi Kurniawan Nugroho  
Fakultas Teknik Universitas Semarang

## Abstract

*Liquid height control is a controlling system which use in many kind of industry such as chemical factory, paper factory, water treatment center, and hydro powerplant. Fuzzy control is an alternative control which use the expert system (human logic) as the controller so the knowledge about system parameter is no longer be used. This technique is also have the light computational ability.*

*This research is focused on making a Fuzzy control dan directly monitoring the height level of the liquid in the reservoir and its respond is tranfered to the computer. the system is controlled by arrange the valve position on the reservoir.*

**Keywords :** Monitor, Fuzzy Logic Control (FLC), Valve Control, Liquid Height

## PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang semakin pesat telah membawa banyak pengaruh dalam berbagai aspek kehidupan terutama dibidang industri. Di dalam industri, sangat dibutuhkan sistem kendali yang baik untuk meningkatkan efisiensi dalam proses produksi. Masalah yang seringkali muncul adalah tidak diketahuinya tangki penampung cairan tersebut kosong atau sudah penuh. Kalau tangki tersebut sudah penuh seringkali cairan di dalamnya meluap karena valve (katup) pada pipa pengisian tidak ditutup sehingga akan mengisi tangki terus-menerus.

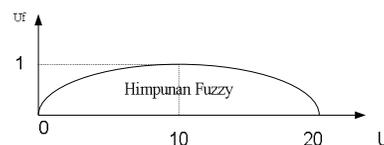
Sistem kendali Fuzzy merupakan salah satu alternatif sistem kendali yang sederhana, dimana pada sistem kendali Fuzzy tidak memerlukan pengetahuan tentang parameter-parameter dari sistem. Sinyal kontrol diperoleh dari *error* (kesalahan) yaitu perbedaan antara keluaran terharap dengan keluaran dari sistem, selain itu terdapat pula masukan yang berupa perubahan *error* sistem yang merupakan selisih antara *error* sekarang dengan *error* sebelumnya.

Dalam penelitian ini dirancang suatu sistem pengendalian tinggi muka cairan dengan memanfaatkan mikrokontroler ATmega8535 sebagai kontroler, dan logika Fuzzy sebagai metode pengendali. Keluaran dari kendali logika Fuzzy akan mengatur posisi membuka atau menutupnya valve, sehingga level cairan dalam tangki dapat dikendalikan.

## DASAR TEORI

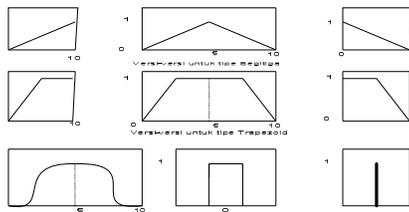
### Sistem Kendali Logika Fuzzy

Logika Fuzzy dikenalkan oleh L.A. Zadeh pada tahun 1965, dengan mengembangkan teori himpunan logika biner. Logika biner hanya mengenal dua macam kondisi yaitu "1" dan "0", sehingga terdapat batasan yang tegas. L.A. Zadeh kemudian memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinyu antara 0 sampai 1 atau ditulis  $[0, 1]$ , seperti tampak pada Gambar 1.



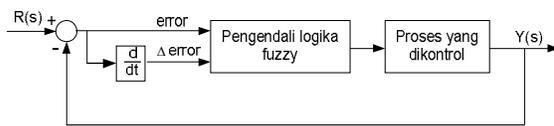
Gambar 1 Himpunan Fuzzy.

Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (atau sering disebut dengan derajat keanggotaan). Ada beberapa macam bentuk kurva yang sering digunakan untuk menyatakan derajat keanggotaan pada suatu sistem Fuzzy, antara lain bentuk kurva S (*Shape*), segitiga, trapesium, dan sebagainya. Bentuk-bentuk kurva yang sering digunakan untuk menunjukkan fungsi keanggotaan antara lain terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Berbagai tipe fungsi keanggotaan.

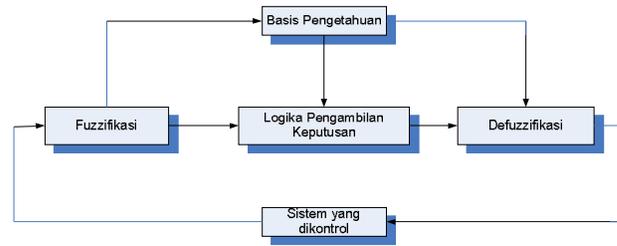
Pengendali Fuzzy merupakan suatu sistem kendali yang berdasar pada basis pengetahuan manusia, dimana masukan, keluaran, serta tanggapan sistem diperoleh berdasarkan sistem pakar yang berbasis pengetahuan manusia. Pengendali logika Fuzzy tidak memerlukan model matematis dari proses yang dikendalikan. Blok sistem loop tertutup dengan kendali logika Fuzzy ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem loop tertutup dengan kendali Fuzzy.

Gambar 3 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 ditunjukkan pada Gambar 4.



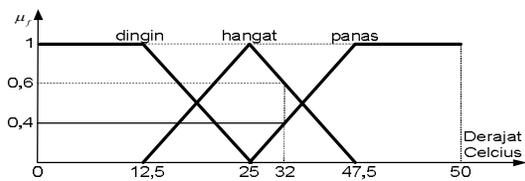
Gambar 4 Struktur dasar pengendali logika Fuzzy.

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

### Fuzzifikasi

Fuzzifikasi diperlukan untuk mengubah masukan *crisp* yang bersifat bukan Fuzzy ke dalam himpunan Fuzzy. Data yang berbentuk tegas/nyata (*crisp*), dipetakan menjadi nilai linguistik pada semesta pembicaraan tertentu yang selanjutnya dinamakan masukan Fuzzy.

Proses fuzzifikasi dapat diperlihatkan pada contoh berikut ini, jika suhu air merupakan suatu variabel linguistik, dengan nilai linguistik  $T(\text{suhu}) = \{\text{dingin, hangat, panas}\}$ , dimana semesta pembicaraannya terletak antara suhu  $0^\circ\text{C}$  sampai dengan suhu  $50^\circ\text{C}$ , dengan distribusi fungsi keanggotaan segitiga diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Fuzzifikasi variabel masukan.

Jika masukan adalah suhu sebesar  $32^\circ\text{C}$ , maka fuzzifikasi menghasilkan nilai linguistik dingin dengan derajat keanggotaan 0, hangat dengan derajat keanggotaan 0,6, dan panas dengan derajat keanggotaan 0,4. Syarat

jangkauan masukan untuk fuzzifikasi adalah berada dalam semesta pembicaraan Fuzzy.

### Basis pengetahuan

Basis pengetahuan berisi pengetahuan sistem kendali sebagai pedoman evaluasi keadaan sistem untuk mendapatkan keluaran kendali sesuai yang diinginkan oleh perancang. Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan Fuzzy.

- Basis Data

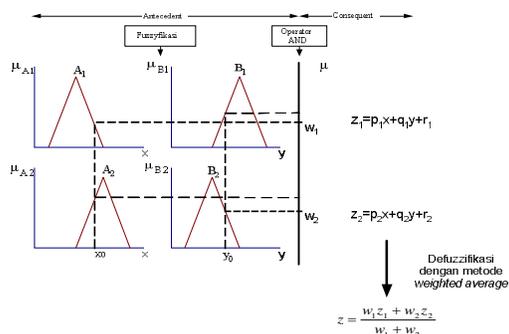
Basis data mencakup perancangan fungsi keanggotaan untuk variabel masukan dan keluaran, pendefinisian semesta pembicaraan dan penentuan variabel linguistik setiap variabel masukan dan keluaran.

- Basis Aturan

Basis aturan kendali Fuzzy digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Basis aturan Fuzzy merupakan kumpulan pernyataan aturan 'JIKA-MAKA' atau 'IF-THEN' yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variabel masukan sehingga menghasilkan variabel keluaran dalam bentuk himpunan Fuzzy.

### Mekanisme Pertimbangan Fuzzy

Proses pengambilan keputusan dengan metode Sugeno ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 6 Proses pengambilan keputusan metode Sugeno.

Pengambilan keputusan dengan metode Sugeno dilakukan setelah proses fuzzifikasi yang diolah berdasarkan basis aturan yang telah dibuat. Langkah selanjutnya, kedua masukan diproses dengan operator AND yang akan mengambil nilai paling minimal dari keduanya. Implikasi MIN akan memotong derajat keanggotaan variabel keluaran pada nilai keluaran setelah melalui operator AND. Setelah semua aturan Fuzzy dieksekusi, dilakukan proses agregasi dengan mengambil nilai maksimal dari masing-masing fungsi keanggotaan variabel keluaran.

### Defuzzifikasi

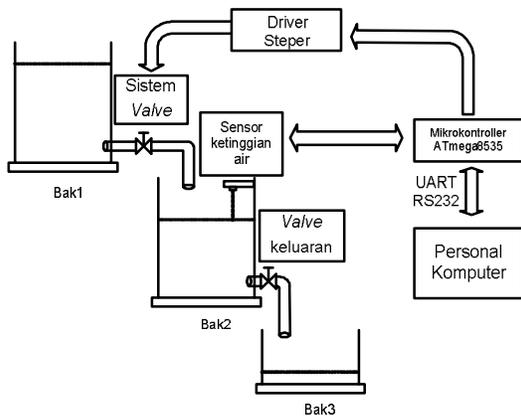
Defuzzifikasi adalah proses perubahan besaran Fuzzy yang disajikan dalam himpunan Fuzzy ke sinyal yang berbentuk *crisp*. Metode defuzzifikasi yang digunakan adalah metode rata-rata terbobot (*weighted average*). Pada metode rata-rata terbobot, nilai keluaran tegas diperoleh dari jumlah hasil kali keluaran Fuzzy untuk setiap himpunan Fuzzy keluaran dengan nilai parameter pada sumbu  $z$  dibagi dengan jumlah keluaran Fuzzy untuk setiap himpunan Fuzzy keluaran. Rumus metode defuzzifikasi rata-rata terbobot adalah sebagai berikut :

$$KeluaranCrisp = \frac{\sum_i (Keluaranfuzzy) \times (Nilai\ parameter\ pada\ sumbu\ z_i)}{\sum_i (Keluaranfuzzy)}$$

Keluaran pada proses defuzzifikasi merupakan hasil dari proses kendali fuzzy secara keseluruhan. Keluaran ini berupa himpunan *crisp* yang akan mengendalikan sistem yang dikontrol.

### Plant Pengendali Tinggi Muka Cairan

Perangkat keras yang digunakan yaitu sistem pengaturan tinggi muka cairan yang meliputi beberapa rangkaian, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 *Plant* dan perangkat keras kendali level cairan.

Secara umum perangkat keras yang digunakan pada sistem pengaturan ketinggian air ini terdiri atas :

1. Inisialisasi semua port dan fungsi register khusus pada mikrokontroler.
2. Inisialisasi komunikasi serial USART 8 Data, 1 Stop bit, none Parity, 9600 Baudrate.
3. PING low (tidak aktif) stepper off.
4. Memutar stepper kekiri CCW untuk mengatur posisi keran hingga kondisi tertutup penuh atau hingga sensor limit switch (LS Tertutup Penuh) berubah logika.
5. Memori posisi stepper bernilai 0 (tertutup penuh);
6. Menunggu karakter perintah dari komputer jika karakter 'S' berarti :
  - Proses Fuzzy tidak dilakukan.
  - Motor Stepper / keran otomatis diputar hingga tertutup penuh.
  - Komputer akan memberikan data referensi ketinggian air yang diinginkan.
7. Karakter perintah dari komputer jika karakter 'R' berarti :
  - Mengaktifkan PING untuk proses pengukuran ketinggian air terukur / aktual.
  - Proses fuzzifikasi dari data tinggi terukur dan data tinggi referensi.

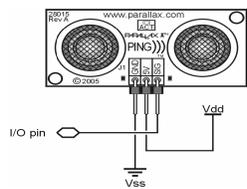
- Proses evaluasi aturan-aturan Fuzzy hingga data Crisp (nilai tegas output) diperoleh.
- Banyak langkah motor stepper (Step) = nilai Crisp - memori posisi stepper.
- Jika Step > 0 motor stepper berputar searah jarum jam (kekanan / CW) sehingga membuka keran.
- Jika Step < 0 motor stepper berputar berlawanan arah jarum jam (kekiri / CCW) sehingga menutup keran.
- Jika ( Step = Step - 1 ) <= 0 motor stepper berhenti karena referensi tercapai.
- Memperbaharui memori posisi stepper.
- Jika Motor stepper berputar kekanan dan menyentuh LS Buka Penuh, motor stepper otomatis berhenti dan nilai memori posisi stepper = 280.
- Jika Motor stepper berputar kekiri dan menyentuh LS Tutup Penuh, motor stepper otomatis berhenti dan nilai memori posisi stepper = 0.

Secara umum *plant* pengukuran ketinggian air sebagai berikut:

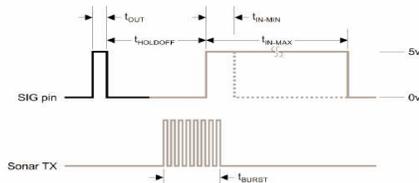
1. Ketinggian sensor dari dasar air adalah 70 cm.
2. Ketinggian air minimum yang dapat diukur adalah 10 cm
3. Ketinggian air maksimum yang dapat diukur adalah 70 cm, apabila lebih tinggi maka
4. Mikrokontroler mengukur jarak antara sensor dengan permukaan pelampung dan dikirim ke komputer.

#### Rangkaian Sensor Ketinggian Air

Sensor ini digunakan untuk mengukur jarak antara sensor dengan permukaan air. Gambar 8 menunjukkan sensor ultrasonik beserta diagram pewaktuannya.



(a) Sensor ping *Ultrasonic Range Finder*.



(b) Diagram pewaktuan sensor Ping. Gambar 8 Sensor Ping dan diagram pewaktuan.

Memulai pengukuran sensor perlu dipicu dengan sinyal *high* selama  $t_{OUT}$ , kemudian menunggu selama  $t_{HOLDOFF}$ , sensor memancarkan sinyal ultrasonik dan siap untuk menerima kembali sinyal pantulan. Waktu yang diperlukan gelombang ultrasonik mulai dari dipancarkan sampai diterima kembali menentukan besarnya jarak. Secara matematis besarnya jarak dapat dihitung sebagai berikut:

$$s = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2)$$

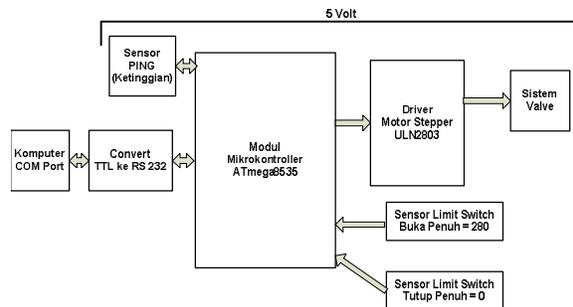
dimana :

- s = jarak ( meter )
- v = kecepatan suara ( 344 m/detik)
- t = waktu tempuh (detik)

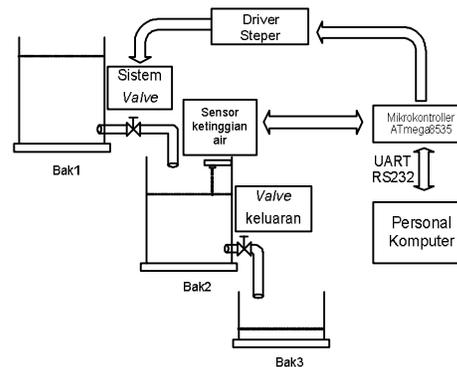
## PERANCANGAN SISTEM

### Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Diagram rangkaian ditunjukkan pada Gambar 11 dan rangkaian skematik kendali Fuzzy pada Gambar 12.



Gambar 11 Diagram blok kendali logika Fuzzy dan pengontrol *valve*.



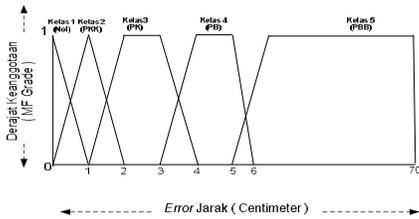
Gambar 12 Rangkaian skematik kendali logika Fuzzy.

Rangkaian utama pada pengendali tinggi muka cairan terdiri dari rangkaian kendali logika Fuzzy menggunakan komputer sebagai perangkat monitoring, rangkaian pengontrol bukaan *valve* menggunakan ATmega8535.

### Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

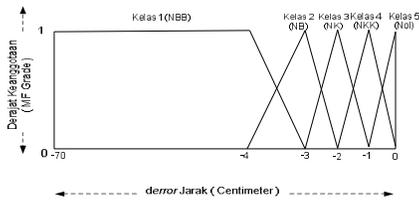
Perancangan perangkat lunak pada pengaturan tinggi muka cairan ini meliputi program komunikasi serial, perancangan program pengukuran tinggi air dan perancangan program algoritma kendali Fuzzy. Perancangan program algoritma kendali Fuzzy dan program monitoring menggunakan bahasa Pemrograman Delphi 7.0 yang disimpan di dalam komputer, komunikasi serial dan pengaktifan sensor menggunakan bahasa C yang disimpan di dalam mikrokontroler ATmega8535. Kendali Fuzzy dirancang dengan dua masukan yaitu *error* dan perubahan *error*,

serta satu keluaran seperti diperlihatkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.



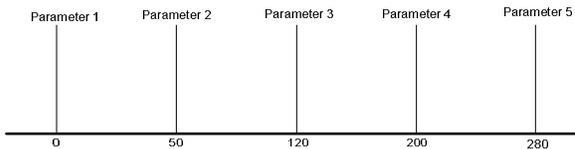
(a) Perancangan fungsi keanggotaan

error



(b) Perancangan fungsi keanggotaan perubahan error

Gambar 13 Perancangan fungsi keanggotaan masukan.



Gambar 14 Nilai konstanta yang mewakili tingkat bukaan valve.

Masukan tersebut diolah melalui proses mulai dari fuzzifikasi hingga defuzzifikasi sehingga menghasilkan sinyal kendali untuk mengendalikan *plant*. Proses kendali Fuzzy tersebut membutuhkan dua parameter utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*).

Kendali Fuzzy pada penelitian ini juga dirancang dengan menggunakan 25 aturan seperti pada Gambar 15.

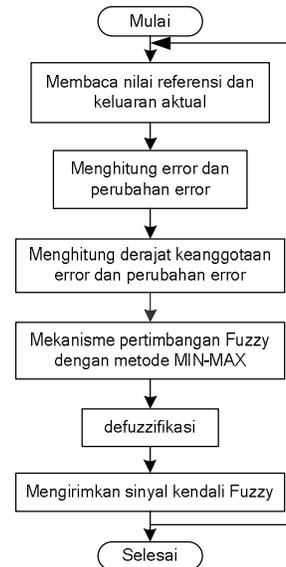
		error					Keterangan :		
e	de	N	PKK	PK	PB	PBB	N	K	
N	N	N	K	S	B	M	N	: Nol ( parameter 1)	K : Kecil (parameter 2)
NKK	N	N	K	S	B	M	NKK	: Negatif Kecil Kecil	S : Sedang (parameter 3)
NK	N	N	K	S	B	M	NK	: Negatif Kecil	B : Besar (parameter 4)
NK	N	N	K	S	B	M	NB	: Negatif Besar	M : Maksimal (parameter 5)
NB	N	N	K	S	B	M	NBB	: Negatif Besar Besar	
NB	K	S	B	M	M		PKK	: Positif Kecil Kecil	
NB	K	S	B	M	M		PK	: Positif Kecil	
NB	K	S	B	M	M		PB	: Positif Besar	
NB	K	S	B	M	M		PBB	: Positif Besar Besar	

Gambar 15 Aturan Fuzzy.

Eksekusi aturan diproses menggunakan fungsi implikasi MIN yang akan mengambil nilai paling minimal dari kedua masukan. Setelah semua aturan Fuzzy dieksekusi, dilakukan proses agregasi dengan mengambil nilai maksimal dari masing-masing derajat keanggotaan variabel keluaran, sehingga didapatkan nilai keluaran yang masih berupa himpunan Fuzzy.

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 (*weighted average*).

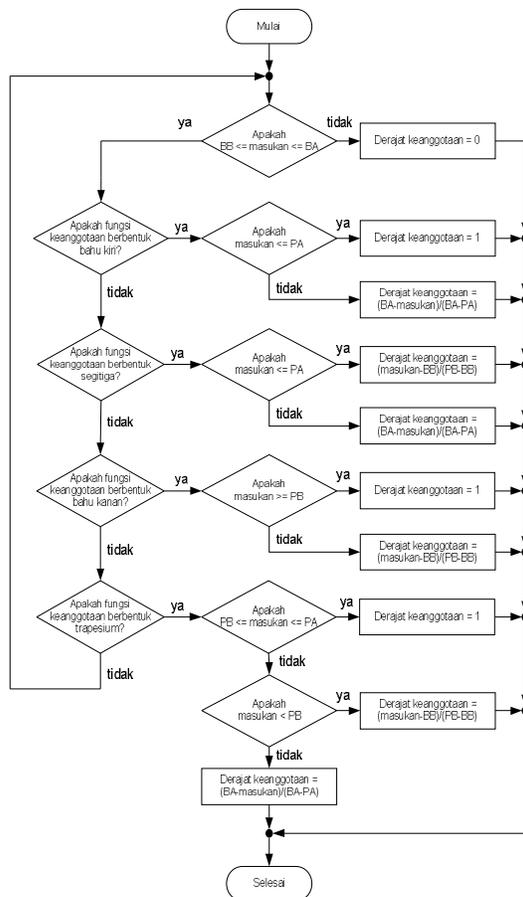
Diagram alir program utama teknik kendali Fuzzy terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Diagram alir program utama teknik kendali Fuzzy.

Program akan membaca nilai referensi yang dimasukkan oleh *operator* dan nilai keluaran aktual 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.

Fungsi keanggotaan *error* dan perubahan *error* yang telah dimasukkan selanjutnya dihitung nilai derajat keanggotaannya. Diagram alir dari program penghitung derajat keanggotaan ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17 Diagram alir program penghitung derajat keanggotaan.

Tahap selanjutnya setelah didapatkan nilai keluaran Fuzzy, yaitu mengubah nilai keluaran yang masih berbentuk himpunan fuzzy menjadi nilai keluaran *crisp*, dikenal dengan defuzzifikasi. Metode yang digunakan untuk defuzzifikasi adalah metode rata-rata terbobot (*weighted average*).

## HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui hasil perancangan yang telah dibuat. Analisis dimaksudkan untuk menguji kelayakan sistem yang dibuat dengan teori yang ada.

### 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*.

### Pengujian Pemrograman Fuzzifikasi

Sebagai contoh akan dicari derajat keanggotaan dari suatu masukan yaitu *error* = 0,2.

Maka derajat keanggotaan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{error NOL} = 0$$

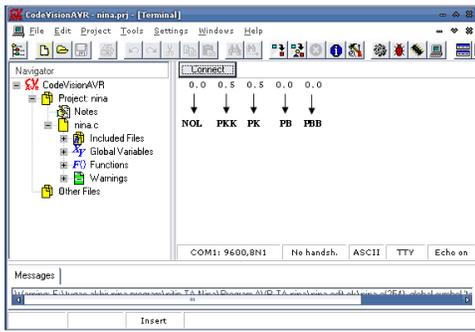
$$\text{error PKK} = (0.3 - \text{error}) / 0.2 = 0,1/0,2 = 0,5$$

$$\text{error PK} = (\text{error} - 0.1) / 0.2 = 0,1/0,2 = 0,5$$

$$\text{error PB} = 0$$

$$\text{error PBB} = 0$$

Hasil keluaran *error* PKK dan *error* PK menggunakan *tools terminal* diperlihatkan pada Gambar 18.



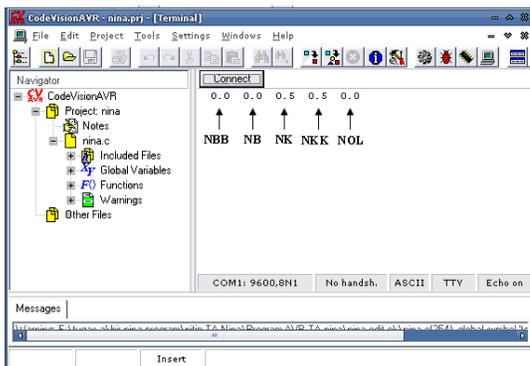
Gambar 18 Pengujian program fuzzifikasi untuk  $error = 0,2$ .

Untuk delta  $error$  sebagai contoh akan dicari derajat keanggotaan dari  $derror$  ( $\Delta error$ ) = -0,2.

Maka derajat keanggotaan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 derror\ NBB &= 0 \\
 derror\ NB &= 0 \\
 derror\ NK &= (-0.1-derror)/0.2 = 0,1/0,2 = 0,5 \\
 derror\ NKK &= (derror+0.3)/0.2= 0,1/0,2 = 0,5 \\
 derror\ NOL &= 0
 \end{aligned}$$

Hasil keluaran  $derror\ NK$  dan  $derror\ NKK$  menggunakan *tools terminal* diperlihatkan pada Gambar 19.



Gambar 19 Pengujian program fuzzifikasi untuk  $derror = -0,2$ .

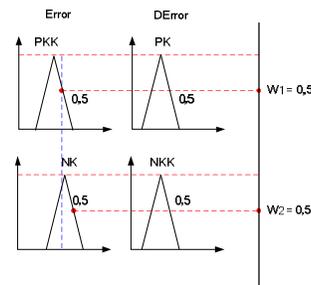
Dari hasil eksekusi program didapatkan nilai yang sama dengan hasil fuzzifikasi secara perhitungan.

### Pengujian Pemrograman Evaluasi Aturan

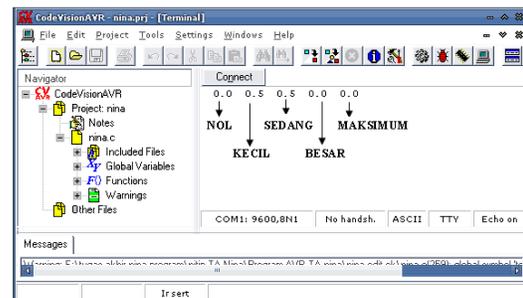
Sebagai contoh akan dicari derajat keanggotaan dari suatu masukan yaitu  $error = 0,2$  dan  $derror = -0,2$ . Derajat keanggotaan dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 error\ PKK &= (0.3 - error) / 0.2 = 0,1/0,2 = 0,5 \\
 error\ PK &= (error-0.1) / 0.2 = 0,1/0,2 = 0,5 \\
 derror\ NK &= (-0.1-derror)/0.2 = 0,1/0,2 = 0,5 \\
 derror\ NKK &= (derror + 0.3)/0.2= 0,1/0,2 = 0,5
 \end{aligned}$$

Gambar 20 menunjukkan evaluasi aturan dengan menggunakan metode Max-Min, sedangkan Gambar 21 menunjukkan hasil keluaran NUM pada *tools terminal*.



Gambar 20 Pengujian evaluasi aturan.

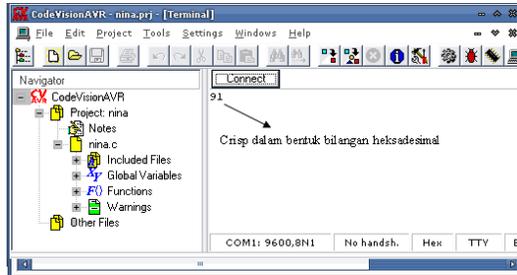


Gambar 21 Tampilan hasil Num pada komputer.

Dari hasil eksekusi program didapatkan nilai yang sama dengan hasil evaluasi aturan secara perhitungan.

## Pengujian Pemrograman Defuzzifikasi

Hasil keluaran *crisp* pada *tools terminal* diperlihatkan pada Gambar 22



Gambar 22 Tampilan hasil defuzzifikasi pada komputer.

$$\begin{aligned} \text{Keluaran Crisp} &= \sum_i (\text{Keluaran Fuzzy}) \times (\text{Nilai parameter pada sumbu } z_i) \\ &= \frac{\sum_i (\text{Keluaran Fuzzy } i)}{0,5 + 0,5} \\ &= \frac{(0,5 \times 100) + (0,5 \times 192)}{0,5 + 0,5} = 145 \end{aligned}$$

Dari hasil eksekusi program didapatkan *output crisp* bernilai 91 H atau 145 desimal, nilai yang sama dengan hasil defuzzifikasi secara perhitungan.

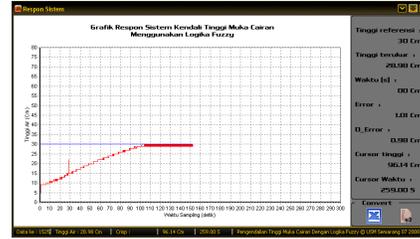
## Pengujian Sistem Kontrol Dalam Pengisian Air

### Pengujian Sistem Pada Berbagai Referensi

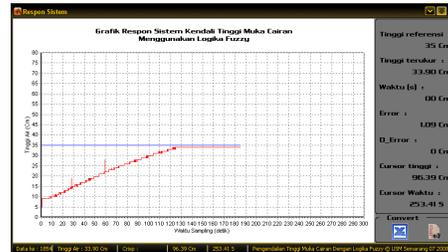
Pengujian sistem pada variasi nilai referensi dilakukan dari 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm dan yang terakhir 40 cm dengan ketinggian awal 15 cm. Respon tiap-tiap ditunjukkan pada Gambar 23, Gambar 24, Gambar 25, Gambar 26, dan Gambar 27.



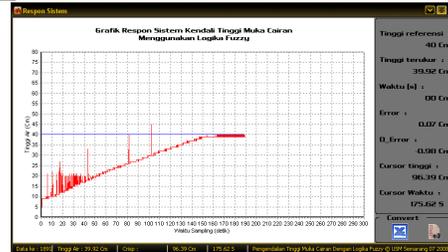
Gambar 24 Respon *plant* pada referensi 25 cm.



Gambar 25 Respon *plant* pada referensi 30 cm.



Gambar 26 Respon *plant* pada referensi 35 cm.



Gambar 27 Respon *plant* pada referensi 40 cm.

Data pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik respon sistem pada beberapa referensi.

Masukan		Waktu Naik/ $t_r$	Waktu Penetapan/ $t_s$	Ketinggian Akhir (cm)	Selisih tunak (cm)
Referensi (cm)	Ketinggian Awal (cm)	(detik)	(detik)		
20	10	49,9	52,4	19,9	0,1
25	10	81,3	84,2	24,93	0,07
30	10	103,9	106,5	29,96	0,04
35	10	120,5	123,2	34,94	0,06
40	10	161,2	163,4	39,92	0,08

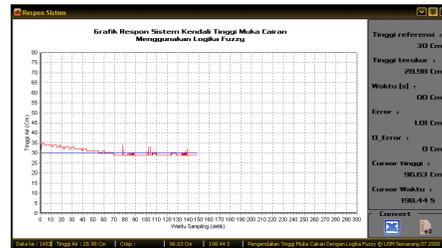
Tabel 4.1 menunjukkan bahwa pada semua nilai referensi memiliki ketinggian akhir yang sama baik. Perbedaan terlihat pada lamanya waktu naik, maupun waktu penetapan. Pada referensi 20 cm memiliki waktu naik dan waktu penetapan yang paling cepat yaitu 49,9 detik dan 52,4 detik, tetapi memiliki selisih tunak cukup besar yaitu 0,4 cm (ketinggian air stabil pada 19,9 cm atau 0,1 cm di bawah referensi). Saat referensi 25 cm, waktu naik 81,3 detik, waktu penetapan 84,2 detik dan memiliki selisih tunak yaitu sebesar 0,07 cm (ketinggian air stabil pada 24,93 cm atau 0,07 cm dibawah referensi). Saat referensi 30 cm memiliki waktu naik 103,9 detik dan waktu penetapan 106,5 detik, dan memiliki selisih tunak sebesar 0,04 cm (ketinggian air stabil pada 29,96 cm atau 0,04 cm di bawah referensi). Pada saat referensi 35 cm memiliki waktu naik 120,5 detik, waktu penetapan 123,2 detik, dan selisih tunak yaitu sebesar 0,06 cm (ketinggian air stabil pada 34,94 cm atau 0,06 cm di bawah referensi). Pada referensi 40 cm, waktu naik 161,2 detik, waktu penetapan 163,4 detik, dan memiliki selisih tunak yang paling besar yaitu 0,08 cm (ketinggian air stabil pada 39,92 cm atau 0,08 cm di bawah referensi).

Dari kelima hasil pengujian pada beberapa referensi dapat disimpulkan bahwa kendali Fuzzy bekerja secara optimal adalah pada saat referensi pada ketinggian 25 cm sampai dengan 40 cm. Hal ini dikarenakan respon pada referensi 25 cm – 40 cm memiliki waktu naik dan waktu penetapan cukup kecil daripada respon pada referensi lainnya, dan memiliki selisih tunak yang kecil. Kendali Fuzzy bekerja paling optimal pada saat referensi 40 cm karena memiliki waktu naik, waktu penetapan dan selisih tunak yang paling kecil diantara kelima referensi yang di uji.

### Pengujian Nilai Referensi Turun

Penurunan nilai referensi dilakukan tiap 5 cm, yaitu dari ketinggian awal 35 cm dengan nilai referensi 30 cm, lalu ketinggian awal 30 cm dengan nilai referensi 25 cm, dan yang terakhir ketinggian awal 25 cm dengan

nilai referensi 20 cm. Penurunan nilai referensi berarti pengurangan jumlah air pada bak penampungan yang dilakukan dengan cara membuka keran pada bak 2, sebesar 1/4 bukaan penuh. Sebagai contoh pada Gambar 28 memperlihatkan ketinggian awal 35 cm dengan nilai referensi 30 cm.



Gambar 28 Respon *plant* pada ketinggian awal 35 cm turun menjadi 30 cm.

Data pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik respon sistem pada referensi turun.

Masukan		Waktu Naik/ $t_r$ (detik)	Waktu Penetapan/ $t_s$ (detik)	Ketinggian Akhir (cm)	Selisih Tunak (cm)
Referensi (cm)	Ketinggian Awal (cm)				
30	35	42,4	43,4	30,07	0,07
25	30	47,2	48,6	25,02	0,02
20	25	56,1	58,7	19,96	0,04

Tabel 2 menunjukkan bahwa pada semua nilai referensi memiliki ketinggian akhir yang sama baik. Perbedaan terlihat pada lamanya waktu naik, maupun waktu penetapan. Pada referensi 30 cm dengan ketinggian awal 35 cm memiliki waktu naik 42,4 detik, waktu penetapan 43,4 detik, dan selisih tunak 0,07 cm. Saat referensi 25 cm dengan ketinggian awal 30 cm, waktu naik 47,2 detik,

waktu penetapan 48,6 detik, dan selisih tunak 0,02 cm. Saat referensi 20 cm dengan ketinggian awal 25 cm memiliki waktu naik 56,1 detik, waktu penetapan 58,7 detik, dan selisih tunak 0,04 cm. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan Kendali logika Fuzzy, tidak berpengaruh secara signifikan pada respon sistem dengan referensi turun.

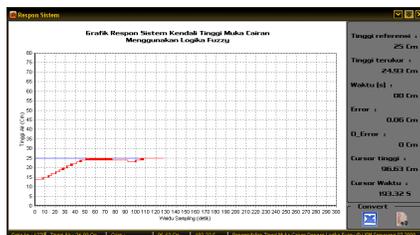
Kendali Fuzzy akan memberikan sinyal kontrol sesuai dengan besarnya masukan yaitu *error* dan perubahan *error* yang telah diolah pada kendali logika Fuzzy. Pada saat selisih antara referensi dan ketinggian air tinggi, keran pada bak 2 akan dibuka secara manual seperempat bukaan penuh dan kondisi *valve* yang dikontrol menutup. Jika ketinggian air telah mendekati referensi maka *valve* akan membuka secara linier sebanding dengan besarnya *error*, sehingga ketinggian air dalam keadaan stabil pada referensi yang diberikan.

#### Pengujian Sistem dengan Gangguan

Gangguan dilakukan dengan membuka keran pada bak 2, sebesar setengah bukaan penuh dan sepertiga bukaan penuh. Gangguan yang diberikan berupa gangguan sesaat dan gangguan terus menerus.

##### ◆ Gangguan Sesaat

Gangguan sesaat dilakukan dengan membuka keran pada bak 2 sebesar ½ bukaan penuh selama 35 detik sampai 45 detik. Grafik respon pengujian gangguan sesaat ditunjukkan pada Gambar 29.



Gambar 29 Respon *plant* pengaruh pemberian gangguan sesaat pada referensi 25 cm.

Data pengujian selengkapnya pada Tabel 3.

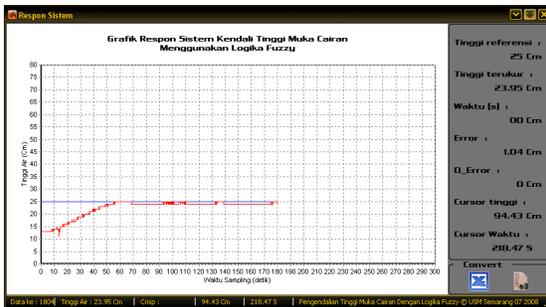
Tabel 3 Karakteristik respon sistem pada pemberian gangguan sesaat.

Masukan		Penurunan Ketinggian (cm)	Waktu Pemulihan (detik)	Ketinggian Akhir (cm)	Selisih tunak (cm)
Referensi (cm)	Ketinggian Awal (cm)				
20	25	0,96	8,7	24,21	0,79
30	35	1,08	9	29,95	0,05
35	45	1,57	9,69	34,53	0,47

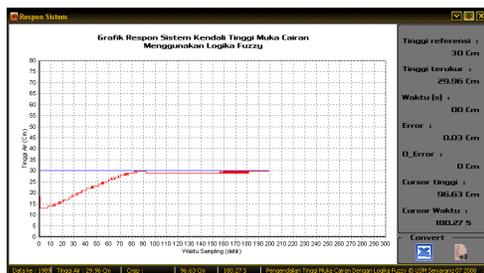
Pengujian gangguan sesaat dilakukan dengan 4 variasi masukan referensi, yaitu referensi 20 cm, 25 cm, 30 cm dan 35 cm. Saat referensi 20 cm terjadi penurunan ketinggian 0,48 cm, waktu pemulihan menuju referensi semula sebesar 8,4 detik dengan besarnya selisih tunak 0,52 cm. Saat referensi 25 cm terjadi penurunan ketinggian 0,96 cm, waktu pemulihan menuju referensi semula sebesar 9,9 detik dengan besarnya selisih tunak 0,79 cm. Saat referensi 30 cm terjadi penurunan ketinggian 1,08 cm, waktu pemulihan menuju referensi semula sebesar 9 detik dengan besarnya selisih tunak 0,05 cm. Saat referensi 35 cm terjadi penurunan ketinggian 1,57 cm, waktu pemulihan menuju referensi semula sebesar 9,69 detik dengan besarnya selisih tunak 0,47. Bisa diambil kesimpulan bahwa semakin tinggi referensi maka akan semakin besar pula penurunan ketinggian. Hal ini disebabkan, semakin tinggi air maka akan semakin besar pula tekanan yang dihasilkan, sehingga air yang keluar akan semakin banyak. Karena penurunan ketinggian semakin besar, maka waktu pemulihan juga akan semakin lama.

##### ◆ Gangguan Kontinyu

Gangguan kontinyu dilakukan dengan membuka keran pada bak 2 secara terus-menerus. Respon gangguan kontinyu ditunjukkan pada Gambar 30.



(a) Respon pada referensi 25cm.



(b) Respon pada referensi 30 cm.

Gambar 30 Respon gangguan kontinyu dengan 1/3 bukaan penuh.

Gambar 30 menunjukkan respon sistem dengan gangguan 1/3 bukaan penuh secara kontinyu. Pengujian dilakukan dengan 2 variasi referensi, yaitu pada referensi 20 cm dan 25 cm. Saat referensi 20 cm, terjadi penurunan ketinggian sebesar 0,36 cm dengan waktu pemulihan 8,9 detik, dan selisih tunak 0,88 cm. Saat referensi 25 cm, terjadi penurunan ketinggian sebesar 0,36 cm dengan waktu pemulihan 22,99 detik, dan ketinggian akhir pada kondisi stabil 24,05 cm, sehingga besarnya selisih tunak 0,95 cm. Setelah dilakukan pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi air (referensi), maka gangguan akan semakin besar dan sistem akan sulit mencapai kondisi stabil.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa yang dilakukan didapatkan hal-hal penting sebagai berikut:

1. Pada pengujian dengan nilai referensi naik, mampu menghasilkan respon yang baik dibanding saat sistem diberi gangguan, hal ini didukung dengan nilai selisih tunak yang dihasilkan yaitu 0,1 cm untuk referensi 20 cm, 0,07 cm untuk referensi 25 cm, 0,04 cm untuk referensi 30 cm, dan 0,08 untuk referensi 40 cm dari ketinggian awal 10 cm.
2. Pada pengujian pada referensi turun menunjukkan bahwa sistem akan mempertahankan ketinggian sesuai dengan nilai referensi yang diberikan meskipun ketinggian air mengalami penurunan, hal ini didukung dengan nilai selisih tunak yang dihasilkan yaitu 0,07 cm untuk referensi 30 cm dari ketinggian awal 35 cm, 0,02 cm untuk referensi 25 cm dari ketinggian awal 30 cm, dan 0,04 cm untuk referensi 20 cm dari ketinggian awal 25 cm.
3. Pada pengujian dengan gangguan sesaat, semakin tinggi nilai referensi maka penurunan ketinggian akan semakin besar dan waktu pemulihan akan semakin lama, hal ini dikarenakan semakin tinggi air maka akan semakin besar pula tekanan yang dihasilkan, sehingga air yang keluar akan semakin banyak.
4. Pada pengujian dengan gangguan kontinyu, besarnya ketinggian air (referensi) sangat berpengaruh pada nilai akhir ketinggian air, dimana ketinggian akhir tidak dapat mencapai nilai referensi.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blocher, Richard, *Dasar Elektronika*, PENERBIT ANDI Yogyakarta, 2004.
- [2] Hartono J, *Konsep Dasar Pemrograman Bahasa C*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2000.

- [3] Kusumadewi, S., *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy*, GRAHA ILMU Yogyakarta, 2002.
- [4] Kusumadewi, S., Hari, P., *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*, GRAHA ILMU Yogyakarta, 2004.
- [5] Magori, Valentin, *Ultrasonic Sensor in Air*, Corporate Research and Development, Siemens AG, Munich, Germany, 1994.
- [6] M. Agus J., *Belajar Sendiri Borland Delphi 6.0*, Elex Media Komputindo, Bandung, 2001.
- [7] Ogatha, K., *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [8] Ogata, K., *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [9] Wardhana L., *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2006.
- [10] Widodo S Thomas, *Sistem Neuro Fuzzy*, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta, 2005.
- [11] -----, *ATmega8535 Data Sheet*, <http://www.atmel.com/avr/8535>, Desember 2003.
- [12] -----, Materi tentang sensor ultrasonik secara umum ([www.paralax.com](http://www.paralax.com)).
- [13] -----, *Dual Stepper Motor Controller*, <http://www.alldatasheet.com>
- [14] -----, *ICL232*, Desember 1993
- l. -----, *Octal High Voltage, High Current Darlington Transistor Array*, Motorola Tokyo, Japan.