

## MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR

### APLIKASI TEKNIK KENDALI FUZZY PADA PENGENDALIAN LEVEL CAIRAN

Zulaikah<sup>1</sup>, Wahyudi, ST, MT<sup>2</sup>, Trias Andromeda, ST, MT<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 dipakai di industri-industri kimia, seperti pabrik pembuatan kertas dan pabrik pembuatan obat. Sistem kendali pada umumnya menggunakan metode kontrol PID (proporsional, integral, diferensial), dimana parameter-parameter pengendali (Kp, Ki, Kd) harus diketahui terlebih dahulu. *Fuzzy Logic Controller* (FLC) merupakan salah satu alternatif pengendali yang menggunakan sistem pakar (logika manusia) sebagai pengendali, sehingga tidak memerlukan pengetahuan tentang parameter-parameter dari sistem. Selain itu, FLC juga mempunyai kemampuan komputasi yang ringan.

Tujuan Tugas Akhir ini yaitu membuat sebuah pengendali Fuzzy untuk mengatur ketinggian air pada tangki penampung serta mengamati respon yang dihasilkan. Pengendali Fuzzy akan mengatur besarnya bukaan *valve* sebagai reaksi dari referensi yang dimasukkan terhadap ketinggian awal.

Berdasarkan Pengujian yang dilakukan dapat diketahui bahwa kendali Fuzzy mampu menghasilkan respon sistem yang cukup baik. Hal ini ditandai dengan kecilnya waktu untuk mencapai set point serta kecilnya *offset* yang dihasilkan.

**Kata kunci** : *Fuzzy Logic Controller* (FLC), kontrol *valve*, tinggi muka cairan.

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi yang semakin pesat mendorong manusia untuk senantiasa menciptakan inovasi-inovasi guna mempermudah pekerjaan. Salah satu inovasi yang terus menerus dikembangkan adalah otomatisasi di segala aspek kehidupan. Sebagai contoh, otomatisasi dalam bidang industri yaitu proses pengisian atau pembuangan cairan dalam tangki. Proses pengisian maupun pembuangan cairan dalam tangki yang tertutup, seringkali membuat kita tidak mengetahui apakah cairan dalam tangki tersebut melebihi atau kurang dari batas yang diinginkan, sehingga sering terjadi kesalahan seperti meluapnya cairan dalam tangki atau kosongnya cairan dalam tangki. Sistem otomatisasi sangat diperlukan untuk mengendalikan

level cairan agar senantiasa berada pada level yang dibutuhkan.

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 perbedaan antara keluaran terharap dengan keluaran sebenarnya (*error*) dari sistem, selain itu terdapat pula masukan yang berupa perubahan *error* sistem yang merupakan selisih antara kesalahan (*error*) sekarang dengan kesalahan (*error*) sebelumnya.

Tugas Akhir ini menitikberatkan pada pengujian unjuk kerja sistem kendali Fuzzy untuk mengendalikan ketinggian air, yaitu dengan cara mengatur bukaan *valve* sesuai dengan basis aturan (*rule base*) yang digunakan. Pengujian dilakukan melalui variasi basis aturan, pengujian terhadap pemberian gangguan dan pengujian referensi naik.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah mengaplikasikan teknik kendali Fuzzy untuk mengatur ketinggian air pada tangki penampung. Ketinggian air diharapkan dapat menyesuaikan terhadap referensi yang diberikan.

### 1.3 Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada Tugas Akhir ini yaitu sebagai berikut :

1. *Plant* yang diuji adalah bak penampung air yang merupakan hasil Tugas Akhir dari Saudara Wisnu Isworo Hadi dan Andri Ponco Prabowo.
2. Pengaturan ketinggian dilakukan dengan mengatur bukaan dari *valve*.
3. Jangkauan ketinggian air dalam bak yang dapat terdeteksi oleh sensor mulai dari 14,3 cm- 45 cm.
4. Gangguan yang diberikan berupa pengurangan jumlah air.
5. Pengendalian dilakukan dengan sistem pengendali Fuzzy metode Sugeno, dimana fungsi keanggotaan masukan himpunan Fuzzy adalah segitiga dan trapesium,

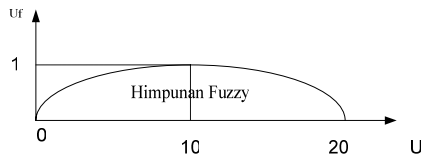
metode pengambilan keputusan menggunakan fungsi implikasi MIN dengan fungsi agregator MAX, fungsi keanggotaan keluaran himpunan Fuzzy yang digunakan adalah singleton, dan defuzzifikasi menggunakan rata-rata terbobot (*weighted average*).

6. Pembuatan program bantu menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi 6.0.

## II. DASAR TEORI

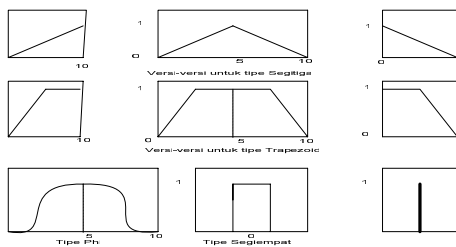
### 2.1 Logika Fuzzy

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 kontinu antara 0 sampai 1 atau ditulis [0 1], seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1 Himpunan Fuzzy.

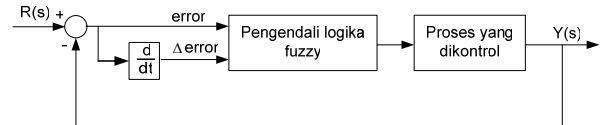
Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (atau sering disebut dengan derajat keanggotaan). Ada beberapa macam bentuk kurva yang sering digunakan untuk menyatakan derajat keanggotaan pada suatu sistem Fuzzy, antara lain bentuk 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.

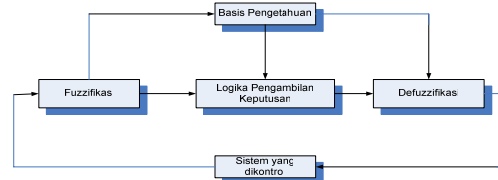
### 2.2 Kendali Logika Fuzzy

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 input*), yaitu masukan kesalahan (*error*) dan perubahan kesalahan ( $\Delta error$ ) 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, yang meliputi empat bagian utama yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan, logika pengambilan keputusan, dan defuzzifikasi.



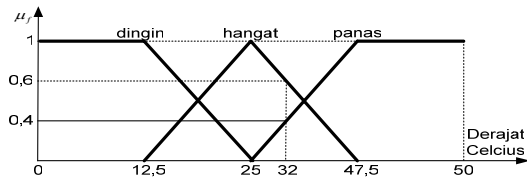
Gambar 4 Struktur dasar pengendali logika Fuzzy.

#### 2.2.1 Fuzzifikasi

Fuzzifikasi diperlukan untuk mengubah masukan tegas/nyata (*crisp inputs*) 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 °C sampai

dengan suhu 50 °C, dengan distribusi fungsi keanggotaan segitiga diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Fuzzifikasi variabel masukan.

Jika masukan adalah suhu sebesar 32 °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.

**2.2.2 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.

**2.2.3 Mekanisme Pertimbangan Fuzzy**

Pengambilan keputusan dilakukan berdasarkan basis aturan yang telah dibuat. Teknik pengambilan keputusan yang sering digunakan adalah metode MAX-MIN dan MAX-DOT.

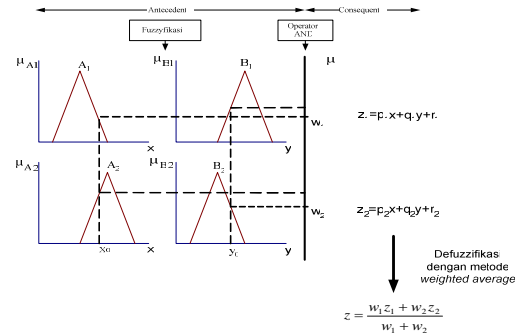
Pengambilan keputusan pada metode MAX-MIN didasarkan pada aturan operasi minimum Mamdani.

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 \wedge \mu_{c1}(w)) \vee (\alpha_2 \wedge \mu_{c2}(w)) \dots\dots(1)$$

Pengambilan keputusan dengan metode MAX-DOT didasarkan pada aturan operasi perkalian. Keputusan yang diambil berdasarkan aturan ke-i dapat dinyatakan dengan  $\alpha_i \cdot \mu_{C_i}(w)$ , sehingga keanggotaan C adalah titik yang diberikan oleh:

$$\mu_c(w) = (\alpha_1 \cdot \mu_{c1}(w)) \vee (\alpha_2 \cdot \mu_{c2}(w)) \dots\dots(2)$$

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.

**2.2.4 Defuzzifikasi**

Defuzzifikasi ditujukan untuk menghasilkan suatu aksi kontrol non Fuzzy (crisp output) dalam merepresentasikan kemungkinan distribusi aksi kontrol Fuzzy yang telah dihasilkan. Metode defuzzifikasi yang sering digunakan adalah metode Mean of Maximum (MOM) dan metode rata-rata terbobot (weighted average) atau lebih dikenal sebagai Center of Area (COA). Metode MOM, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum. Metode rata-rata terbobot, nilai keluaran tegas diperoleh dari jumlah hasil kali keluaran Fuzzy untuk setiap himpunan

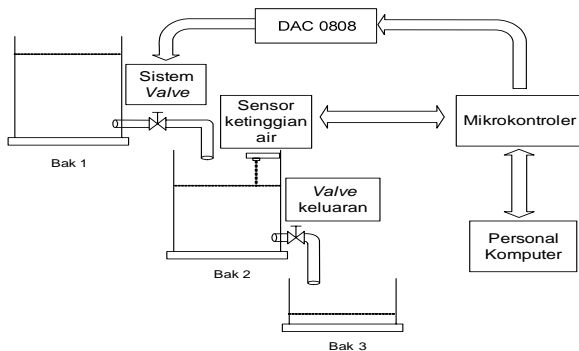
Fuzzy keluaran dengan posisi singleton pada sumbu x dibagi dengan jumlah keluaran Fuzzy untuk setiap himpunan Fuzzy keluaran. Rumus metode defuzzifikasi rata-rata terbobot adalah sebagai berikut :

$$KeluaranCrisp = \frac{\sum_i (Keluaranfuzzy) \times (Posisi\ singleton\ pada\ sumbu\ x_i)}{\sum_i (Keluaranfuzzy)} \quad (3)$$

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

### 2.3 Perangkat Keras Yang Digunakan

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. Bak air.  
Pada sistem ini terdapat tiga buah bak air, bak 2 merupakan bak yang diatur ketinggiannya.
2. Sistem sensor ketinggian air.  
Sensor yang digunakan berupa sensor ultrasonik.
3. Mikrokontroler AT89S51.  
Mikrokontroler akan melakukan pengukuran ketinggian air ketika ada interupsi dari komputer kemudian mengirimkan kembali data hasil pengukuran ketinggian air ke komputer untuk diolah. Hasil pengolahan komputer diterima kembali oleh mikrokontroler untuk diproses DAC lebih lanjut.
4. Komputer  
Untuk mengaplikasikan sistem kendali Fuzzy dan untuk memonitor sistem.
5. DAC.

Untuk mengubah sinyal kendali digital dari mikrokontroler menjadi sinyal analog untuk menggerakkan *valve*.

#### 6. Sistem *valve*.

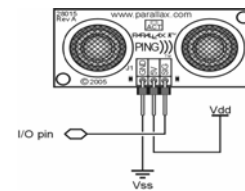
Valve pengaturan keluarnya air antara bak 1 dan bak 2 yang merupakan sistem *valve* dengan penggerak motor DC.

Secara umum *plant* pengukuran ketinggian air sebagai berikut:

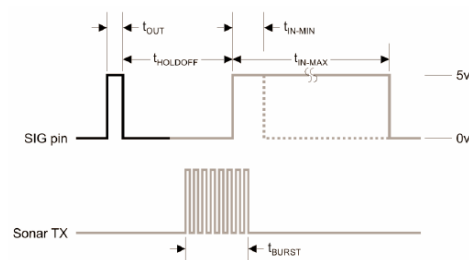
1. Ketinggian sensor dari dasar air adalah 64 cm.
2. Ketinggian air minimum yang dapat diukur adalah 14,3 cm, apabila lebih rendah maka dianggap 14,3 cm.
3. Ketinggian air maksimum yang dapat diukur adalah 45 cm, apabila lebih tinggi maka dianggap 45 cm.
4. Mikrokontroler mengukur jarak antara sensor dengan permukaan pelampung dan dikirim ke komputer.

#### 2.3.1 Rangkaian Sensor Ketinggian Air

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



(a) Sensor ping Ultrasonic Range Finder.



(b) Diagram pewaktuan sensor Ping.

Gambar 8 Sensor Ping dan diagram pewaktuan.

Untuk memulai pengukuran sensor perlu dipicu dengan sinyal *high* selama  $t_{OUT}$ , kemudian menunggu selama  $t_{HOLDOFF}$  baru 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:

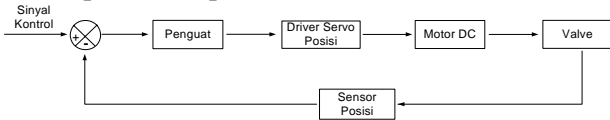
$$s = \frac{v \cdot t}{2} \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- s = jarak yang diukur ( meter )
- v = kecepatan suara ( 344 m/detik)<sup>[11]</sup>
- t = waktu tempuh (detik)

**2.3.2 Valve atau katup air**

Pengontrolan pada *plant* kendali level cairan ini dilakukan pada *valve* 1 yang merupakan *valve* antara bak air 1 dan bak air 2. *Valve* yang digunakan untuk mengendalikan, menggunakan penggerak motor DC berdasarkan prinsip servoposisi. Motor servo ini bergerak sesuai dengan sinyal kontrol yang diberikan oleh *plant* berdasarkan referensi ketinggian yang diinginkan. Blok diagram sistem *valve* dengan penggerak motor DC dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Sistem *valve* dengan penggerak motor DC.

Sinyal kendali yang berupa tegangan, masuk ke dalam penguat ke rangkaian *driver* motor yang kemudian menggerakkan motor DC. Gerakan motor DC digunakan untuk menggerakkan *valve*.

**III. PERANCANGAN**

Perancangan perangkat lunak pada Tugas Akhir ini terdiri dari perancangan kendali Fuzzy, serta implementasi program aplikasi Borland Delphi 6.0 pada kendali Fuzzy. Perancangan algoritma dan implementasi teknik kendali Fuzzy ini disesuaikan dengan perangkat keras yang digunakan.

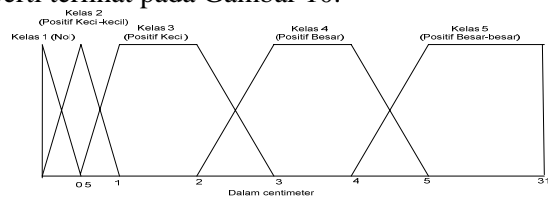
**3.1 Perancangan Kendali Fuzzy**

Kendali Fuzzy dirancang dengan dua masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, serta satu keluaran. Masukan tersebut diolah melalui serangkaian proses mulai dari fuzzifikasi hingga defuzzifikasi sehingga menghasilkan sinyal kendali untuk mengendalikan *plant*. Serangkaian proses kendali Fuzzy tersebut membutuhkan dua parameter

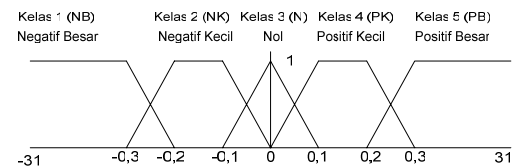
utama yaitu fungsi keanggotaan (*membership function*) dan aturan dasar (*rule base*).

**3.1.1 Perancangan Fungsi Keanggotaan**

Masukan yang berbentuk tegas dipetakan menjadi nilai linguistik yang mempunyai derajat keanggotaan antara 0 dan 1, sehingga didapatkan himpunan Fuzzy. Masing-masing masukan yaitu *error* dan perubahan *error*, dibagi dalam 5 kelas, seperti terlihat pada Gambar 10.



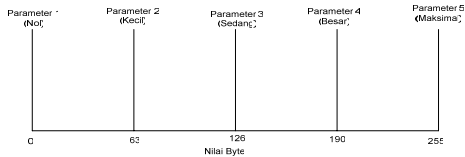
(a) Perancangan fungsi keanggotaan *error*



(b) Perancangan fungsi keanggotaan perubahan *error*  
Gambar 10 Perancangan fungsi keanggotaan masukan.

Perancangan masukan *error* mempunyai data tegas antara 0 sampai 31, dipetakan dalam nilai linguistik menjadi 5 kelas yaitu Nol (N), Positif Kecil-kecil (PKK), Positif Kecil (PK), Positif Besar (PB), dan Positif Besar-besar (PBB). Perancangan masukan perubahan *error* mempunyai data tegas antara -31 sampai 0, dipetakan dalam nilai linguistik menjadi 5 kelas yaitu Negatif Besar-besar (NBB), Negatif Besar (NB), Negatif Kecil (NK), Negatif Kecil-kecil (NKK), dan Nol (N).

Perancangan fungsi keanggotaan keluaran atau sinyal kontrol (SK) berupa keluaran singleton dengan jangkauan nilai antara 0 sampai 255 yang dipetakan menjadi 5 kelas variabel linguistik. Kelima kelas tersebut yaitu parameter 1 (Nol) dengan nilai singleton 0, parameter 2 (Kecil) dengan nilai singleton 63, parameter 3 (Sedang) dengan nilai singleton 126, parameter 4 (Besar) dengan nilai singleton 190, parameter 5 (Maksimal) dengan nilai singleton 255. Bentuk dan batasan himpunan Fuzzy keluaran dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Bentuk dan batasan himpunan Fuzzy keluaran.

### 3.1.2 Perancangan Basis Aturan

Perancangan basis aturan Fuzzy pada Tugas Akhir ini menggunakan kemungkinan yang dapat terjadi dari banyaknya masukan. Karena terdiri dari 2 masukan dan tiap masukan terdiri atas 5 kelas maka aturan yang mungkin terjadi adalah 25 aturan. Perancangan aturan pada Tugas Akhir ini tidak berdasarkan pendekatan heuristik, karena *plant* yang dikendalikan tidak mengatur proses pembuangan, artinya *plant* hanya bekerja pada saat ketinggian air dibawah referensi. Kendali Fuzzy pada Tugas Akhir ini juga dirancang dengan menggunakan 15 aturan. Lima belas aturan tersebut diperoleh dengan menghilangkan aturan-aturan yang berpengaruh kecil bagi *plant*.

Tabel 1 Perancangan Fuzzy dengan 25 aturan.

dE	E	N	PKK	PK	PB	PBB
NB	N	K	S	B	M	
NK	N	K	S	B	M	
N	N	S	B	M	M	
PK	B	M	M	M	M	
PB	B	M	M	M	M	

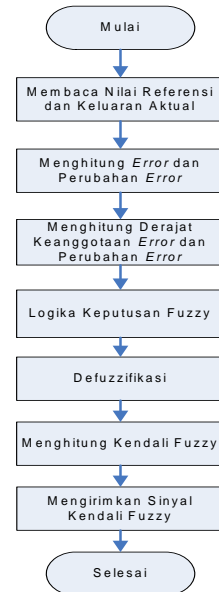
: Aturan yang dihilangkan

Tiap-tiap aturan yang telah dirancang dieksekusi dengan menggunakan metode pengambilan keputusan Sugeno. Eksekusi tiap-tiap 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 tegas (*crisp*). Proses defuzzifikasi dirancang dengan menggunakan metode rata-rata terbobot (*weighted average*).

## 3.2 Implementasi Kendali Fuzzy

Kendali Fuzzy yang telah dirancang sebelumnya, kemudian diimplementasikan dengan menggunakan Bahasa Pemrograman Borland Delphi 6.0. Diagram alir program utama teknik kendali Fuzzy terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Diagram alir program utama teknik kendali Fuzzy.

Program akan membaca nilai referensi yang dimasukkan oleh *operator* dan nilai keluaran aktual ketinggian air, kemudian program akan menghitung *error* dan perubahan *error* sebagai masukan Fuzzy. Langkah selanjutnya, program akan 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, program akan mengirimkan sinyal kendali Fuzzy yang telah diperoleh untuk mengontrol ketinggian air.

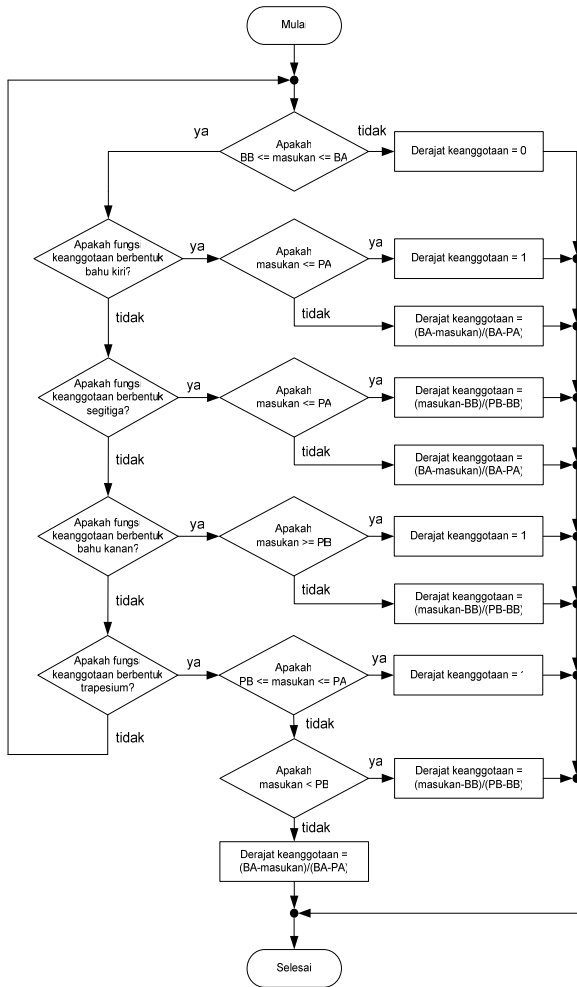
- **Menghitung derajat keanggotaan *error* dan perubahan *error***

Fungsi keanggotaan *error* dan perubahan *error* yang telah dimasukkan pada menu Fuzzy editor, selanjutnya dihitung nilai derajat keanggotaannya. Diagram alir dari program penghitung derajat keanggotaan ditunjukkan pada Gambar 13.

- **Logika Keputusan Fuzzy**

Setelah mendapatkan derajat keanggotaan dari

masuk *error* dan perubahan *error*, selanjutnya dilakukan evaluasi aturan-aturan (*rules*) berdasarkan Tabel 1.



Gambar 13 Diagram alir program penghitung derajat keanggotaan.

- Defuzzifikasi

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*).

#### IV PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dimaksudkan untuk mengetahui hasil perancangan yang telah dibuat, sedangkan analisis dimaksudkan untuk menguji kelayakan

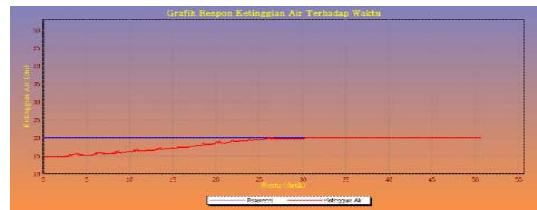
sistem yang dibuat dengan teori yang ada. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian FLC terhadap jumlah aturan yang digunakan baik untuk referensi tetap, perubahan referensi (referensi naik) maupun adanya pengaruh terhadap gangguan.

#### 4.1 Pengujian Nilai Referensi Tetap

Pengujian nilai referensi tetap dilakukan dengan memberikan nilai yang sama (tetap) untuk masing-masing jumlah aturan yang digunakan. Pengujian dilakukan pada nilai referensi 20 cm dan 30 cm, respon yang diperoleh pada nilai referensi 20 cm dapat dilihat pada Gambar 14.



(a) Respon dengan 25 aturan



(b) Respon dengan 15 aturan

Gambar 14 Respon *plant* pada referensi 20 cm.

Hasil pengujian secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik respon sistem pada referensi tetap.

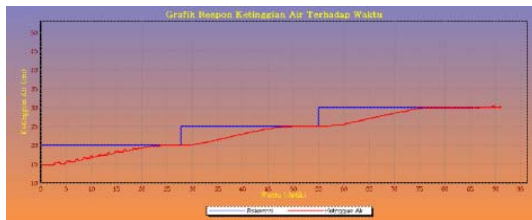
Jumlah Aturan Fuzzy	Masukan		Waktu Naik/t. (detik)	Waktu Penetapan/t. (detik)	Ketinggian Akhir (cm)	Offset (cm)
	Ketinggian Awal (cm)	Referensi (cm)				
25	15	20	22	22	20,085	0,085
	15	25	40	40	25,021	0,021
	15	30	60	60	29,958	0,042
15	15	20	26	30	20,085	0,085
	15	25	42	44	25,021	0,021
	15	30	64	64	30,078	0,078

Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa pada referensi yang sama, respon sistem menunjukkan perbedaan yang tidak cukup besar terkait dengan jumlah aturan Fuzzy yang digunakan. Respon sistem yang menggunakan 25 aturan memiliki waktu naik 22 detik untuk referensi 20 cm dan waktu penetapan 22 detik serta *offset* 0,085 cm. Respon sistem yang menggunakan 15

aturan Fuzzy, memiliki waktu naik 26 detik untuk referensi 20 cm, dan waktu penetapan 30 detik serta *offset* 0,085 cm. Adanya perbedaan waktu penetapan antara referensi 20 cm dengan referensi 30 cm pada banyaknya aturan yang digunakan disebabkan karena permukaan air yang tidak rata, sehingga mempengaruhi pembacaan sensor, akibatnya berpengaruh pada sinyal kontrol yang dihasilkan. Besarnya *offset* untuk penggunaan 25 aturan maupun 15 aturan adalah sama. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa pengurangan jumlah aturan (*rule*) tidak menimbulkan perubahan yang signifikan pada respon sistem.

#### 4.2 Pengujian Nilai Referensi Naik

Pengujian nilai referensi naik juga dilakukan dengan variasi jumlah aturan yang digunakan. Kenaikan nilai referensi dilakukan tiap 5 cm, yaitu dari ketinggian awal 15 cm nilai referensi naik secara berkala dari 20 cm, lalu 25 cm, dan yang terakhir 30 cm. Respon *plant* pada referensi naik dengan 25 aturan ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15 Respon *plant* pada referensi naik dengan 15 aturan.

Data pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Karakteristik respon sistem pada referensi naik.

Jumlah Aturan Fuzzy	Masukan		Waktu Naik/t. (detik)	Waktu Penetapan/t. (detik)	Ketinggian Akhir (cm)	Offset (cm)
	Referensi (cm)	Ketinggian Awal (cm)				
25	20	15	23	23	20,085	0,085
	25	20	22	22	25,021	0,021
	30	25	27	27	30,078	0,078
15	20	15	24	24	20,085	0,085
	25	20	22	22	25,021	0,021
	30	25	22	26	30,078	0,078

Tabel 3 menunjukkan bahwa pada semua nilai referensi memiliki ketinggian akhir yang sama baik dengan 25 aturan Fuzzy maupun 15 aturan Fuzzy. Perbedaan terlihat pada lamanya waktu tunda, waktu naik, maupun waktu penetapan. Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan banyaknya aturan Fuzzy tidak

berpengaruh secara signifikan pada respon sistem dengan referensi naik.

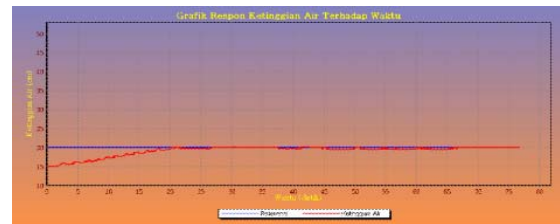
Kendali Fuzzy akan mengirimkan sinyal kontrol sesuai dengan besarnya masukan yaitu *error* dan perubahan *error* yang telah diolah pada FLC. Pada saat selisih antara referensi dan ketinggian air tinggi, *valve* akan terbuka penuh dan akan menutup secara linier sebanding dengan besarnya *error*. Pada saat ketinggian air sudah stabil pada referensi yang diberikan, *valve* akan terbuka kembali jika referensi dinaikkan.

#### 4.3 Pengujian Sistem dengan Perubahan Beban

Perubahan beban dilakukan dengan membuka keran pada bak 2, sebesar setengah bukaan penuh dan seperempat bukaan penuh..

##### ◆ Perubahan Beban Sesaat

Perubahan Beban sesaat dilakukan dengan membuka keran pada bak 2 sebesar ¼ bukaan penuh selama 30 detik sampai 40 detik. Grafik respon pengujian perubahan beban sesaat ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16 Respon *plant* pengaruh perubahan beban sesaat pada referensi 20 cm.

Data pengujian selengkapnya pada Tabel 4.

Tabel 4 Karakteristik respon sistem pada pemberian gangguan sesaat.

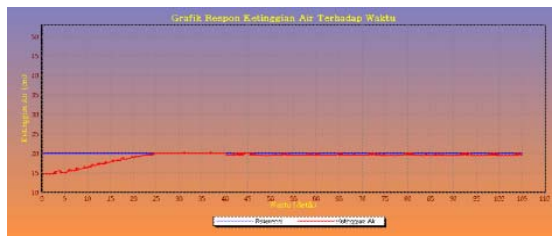
Masukan		Penurunan		
Referensi (cm)	Ketinggian Awal (cm)	Ketinggian (cm)	Ketinggian Akhir (cm)	Offset (cm)
20	15	0,517	20,085	0,085
25	15	0,711	25,021	0,021
30	15	1,006	29,958	0,042

Pengujian gangguan sesaat dilakukan dengan 3 variasi masukan referensi, yaitu referensi 20 cm, 28 cm dan 42 cm. Saat referensi 20 cm terjadi penurunan ketinggian 0,517 cm, dengan besarnya *offset* 0,085 cm. Saat referensi 25 cm terjadi penurunan ketinggian 0,711 cm, dengan

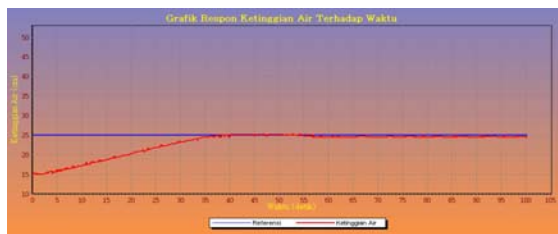
besarnya *offset* 0,021 cm. Berdasarkan pengujian dapat disimpulkan bahwa pada perubahan beban sesaat tidak berpengaruh besar pada ketinggian akhir, hal ini ditunjukkan dengan kecilnya *offset* yang dihasilkan.

#### ◆ Perubahan Beban

Perubahan beban dilakukan dengan membuka keran pada bak 2 secara terus-menerus. Respon perubahan beban ditunjukkan pada Gambar 17.



(a) Respon pada referensi 20 cm.



(b) Respon pada referensi 25 cm.

Gambar 17 Respon perubahan beban dengan ¼ bukaan penuh.

Data pengujian selengkapnya pada Tabel 4.

Tabel 5 Karakteristik respon sistem pada perubahan beban ¼ bukaan penuh.

Masukan		Penurunan Ketinggian (cm)	Ketinggian Akhir (cm)	Offset (cm)
Referensi (cm)	Ketinggian Awal (cm)			
20	15	0,517	20,085	0,085
25	15	0,581	24,78	0,22
30	15	0,885	29,476	0,524

Pengujian untuk perubahan beban sebesar ¼ bukaan penuh, saat referensi 20 cm, terjadi penurunan ketinggian sebesar 0,517 cm dengan ketinggian akhir 20,085 cm, sehingga besarnya *offset* 0,085 cm. Saat referensi 25 cm, terjadi penurunan ketinggian sebesar 0,581 cm, dengan ketinggian akhir 24,78 cm, sehingga besarnya *offset* 0,22 cm.

Berdasarkan hasil pengujian pengaruh perubahan beban terhadap respon sistem, dapat

disimpulkan bahwa semakin tinggi air penurunan ketinggian semakin besar dan dan *offset* juga semakin besar.

## V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Teknik kendali Fuzzy mampu mengatur ketinggian air pada tangki penampung air, sehingga ketinggian air sesuai dengan referensi yang diberikan.
2. Pengujian dengan nilai referensi tetap, mampu menghasilkan respon yang baik, hal ini didukung dengan kecilnya nilai *offset* yang dihasilkan yaitu sebesar 0,085 cm untuk referensi 20 cm dan 0,021 cm untuk referensi 30 cm.
3. Pengujian pada referensi naik menunjukkan sinyal kendali mempunyai respon yang hampir sama dengan pengujian pada nilai referensi tetap, dimana kenaikan referensi akan memperbesar sinyal kontrol yang dihasilkan.
4. Pengujian pada referensi turun, sistem akan mempertahankan ketinggian air sesuai dengan nilai referensi yang diberikan meskipun sistem mengalami perubahan beban, hal ini ditunjukkan dengan nilai akhir ketinggian air 24,419 cm pada referensi 25 cm dan 19,483 pada referensi 20 cm.
5. Pengujian perubahan beban sesaat, tidak berpengaruh besar pada ketinggian akhir, hal ini ditunjukkan dengan kecilnya *offset* yang dihasilkan yaitu 0,085 cm pada referensi 20 cm, 0,021 cm ada referensi 25 cm, dan 0,042 cm pada referensi 30 cm.
6. Pengujian perubahan beban, semakin tinggi nilai referensi maka *offset* semakin besar, dimana pada referensi 20 cm dihasilkan *offset* 0,085 cm, pada referensi 25 cm dihasilkan *offset* 0,22 cm dan pada referensi 30 cm dihasilkan *offset* 0,524 cm.

### 5.2 SARAN

1. Untuk memperoleh respon sistem yang lebih baik, maka dapat dicoba dengan mengubah dan mengatur basis aturan serta fungsi keanggotaan pada pengendali logika Fuzzy.
2. Perlu adanya pengujian lebih lanjut dengan menggunakan *valve* standar dalam

pengendalian ketinggian air, sehingga perancangan basis aturan sesuai dengan analisis terhadap respon sinyal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blocher, Richard, *Dasar Elektronika*, Penerbit ANDI Yogyakarta, 2004.
- [2] Brown, Martin and Harris, *Neurofuzzy Adaptive Modelling and Control*, Prentice Hall Inc, 1994.
- [3] Budi, W., *Teknik Kendali Hibrid PI Fuzzy untuk Pengendalian Suhu Zat Cair*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2005.
- [4] Hadi, W.I., *Pengaturan Valve Dengan Jaringan Syaraf Tiruan B-Spline Untuk Mengatur Ketinggian Air Pada Bak Penampung Air Secara On-line*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
- [5] Kusumadewi, S., *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy*, GRAHA ILMU Yogyakarta, 2002.
- [6] Kusumadewi, S., Hari, P., *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, GRAHA ILMU Yogyakarta, 2004.
- [7] LPKBM Madcoms, *Panduan Lengkap Pemrograman Borland Delphi 5.0*, Penerbit ANDI Yogyakarta, 2001.
- [8] Ogata, K., *Teknik Kontrol Automatik Jilid 1*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [9] Ogata, K., *Teknik Kontrol Automatik Jilid 2*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [10] Prabowo, A.P., *Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan CMAC (Cerebellar Model Articulation Controller) pada Sistem Kontrol Valve untuk Pengendalian Tinggi Muka Cairan Secara On-Line*, Skripsi S-1, Universitas Diponegoro, Semarang, 2006.
- [11] Pranata, Antony, *Pemrograman Borland Delphi 6.0*, Penerbit ANDI Yogyakarta, 2002.
- [12] Putra, A.E., *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55*, Penerbit Gava Media, Yogyakarta, 2002.
- [13] Resmana, Ferdinand, H., *Implementasi Fuzzy Logic Pada Microcontroller Untuk Kendali Putaran Motor DC*, Skripsi S-1, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1999.

- [14] Wang, Lixing, *A Course in Fuzzy Systems and Control*, Prentice Hall International, Inc, 1997.



**Zulaikah**

Lahir di Demak, 24 Januari 1984. Menempuh pendidikan di SD Karang Mlati II Demak lulus pada tahun 1996, kemudian melanjutkan ke SLTP Negeri 1 Demak lulus pada tahun 1999, kemudian melanjutkan ke SMU Negeri 3 Semarang lulus tahun 2002. Saat ini sedang menyelesaikan studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang Konsentrasi Kontrol.  
E-mail : zhafr\_an@yahoo.com

Mengetahui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

**Wahyudi, ST, MT.**  
**NIP. 132 086 662**

**Trias Andromeda, ST, MT.**  
**NIP. 132 283 185**

