

Perbandingan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali Logika Fuzzy (Studi Kasus Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC)

Oleh

Sutikno / L2F 303 488

e-mail : sutikno_gmn@yahoo.co.id

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang

Abstrak - Dalam merancang sistem kontrol dengan menggunakan logika fuzzy terdapat tiga proses yaitu fuzzifikasi, evaluasi rule dan defuzzifikasi. Dari masing-masing proses tersebut akan mempengaruhi respon sistem yang dikendalikan. Defuzzifikasi adalah langkah terakhir dalam suatu sistem logika fuzzy dimana tujuannya adalah mengkonversi setiap hasil dari inference engine yang diekspresikan dalam bentuk fuzzy set ke suatu bilangan real. Hasil konversi tersebut merupakan aksi yang diambil oleh sistem kendali logika fuzzy. Karena itu, pemilihan metode defuzzifikasi yang sesuai juga turut mempengaruhi sistem kendali logika fuzzy dalam menghasilkan respon yang optimum.

Pada tugas akhir ini dilakukan perbandingan pada sistem logika fuzzy model Mamdani dengan menggunakan beberapa metode defuzzifikasi, yaitu metode COA (center of area), bisektor, MOM (mean of maximum), LOM (largest of maximum) dan SOM (smallest of maximum). Dari lima metode defuzzifikasi ini dibandingkan dengan mengimplementasikan pada sistem plant yang sama. Plant yang dipilih yaitu pada pengaturan kecepatan motor DC.

Pada pengujian yang telah dilakukan pada beberapa pemberian referensi bahwa nilai rata-rata waktu tunda (t_d) terkecil dari lima kali percobaan adalah dengan menggunakan metode defuzzifikasi bisektor yaitu sebesar 0,1830 detik. Nilai rata-rata waktu naik (t_r) terkecil dengan menggunakan metode defuzzifikasi MOM yaitu sebesar 0,5784 detik dan nilai rata-rata waktu penetapan (t_s) terkecil dengan menggunakan metode defuzzifikasi LOM yaitu sebesar 0,7789 detik.

Kata kunci : Logika Fuzzy, Defuzzifikasi, Motor DC.

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Logika fuzzy telah banyak diterapkan dalam bidang kontrol otomatis dan industri, diantaranya digunakan sebagai pengontrol pemrosesan citra, kendali motor, kendali robot, kendali pesawat terbang dan lain-lain. Telah banyak aplikasi sistem kontrol dengan menggunakan sistem fuzzy, karena proses kendali ini relatif mudah dan fleksibel dirancang dengan tidak melibatkan model matematis yang rumit dari sistem yang akan dikendalikan.

Dalam merancang sistem kontrol logika fuzzy terdapat tiga proses yaitu fuzzifikasi (*fuzzification*), evaluasi rule (*rule evaluation*) dan defuzzifikasi (*defuzzification*). Dari masing-masing proses tersebut akan mempengaruhi respon sistem yang dikendalikan.

Pada tugas akhir ini dilakukan perbandingan pada sistem logika fuzzy model Mamdani dengan menggunakan beberapa metode defuzzifikasi, yaitu metode COA (*center of area*), bisektor, MOM (*mean of maximum*), LOM (*largest of maximum*), dan SOM (*smallest of maximum*). Dari lima metode defuzzifikasi ini dibandingkan dengan mengimplementasikan pada pengaturan kecepatan motor DC.

Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini yaitu membandingkan lima metode defuzzifikasi pada aturan Mamdani, yaitu metode COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM pada sistem pengaturan kecepatan motor DC.

Batasan Masalah

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

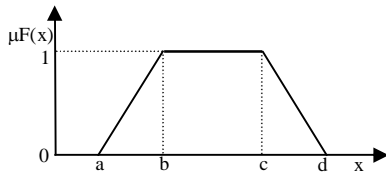
1. *Plant* yang dikontrol adalah *plant* motor DC.
2. Logika fuzzy yang diuji adalah menggunakan aturan Mamdani dengan metode defuzzifikasi COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM.
3. Pembuatan program bantu menggunakan Visual Basic 6.0, dan *interface* melalui kartu PPI 8255, DAC 0808, dan pencacah.
4. Semesta pembicaraan untuk masukan adalah *error* dan Δ *error*, semesta pembicaraan untuk keluaran adalah Δ tegangan.
5. Fungsi keanggotaan masukan yang digunakan yaitu kurva trapesium dan segitiga, sedangkan fungsi keanggotaan keluaran yaitu *singleton*.
6. Jumlah label fungsi keanggotaan masing-masing masukan dan keluaran ditentukan sama yaitu 7 label.
7. Pengambilan data respon sistem pada saat pengujian yaitu sampai keadaan sistem stabil.
8. Pemberian referensi pada sistem yaitu antara 700 RPM sampai dengan 1100 RPM.

II. DASAR TEORI

Fungsi Keanggotaan

Dalam bentuk fungsional, derajat keanggotaan dinyatakan sebagai fungsi matematis tertentu. Untuk mengetahui derajat keanggotaan dari masing-masing elemen dalam semesta pembicaraan memerlukan perhitungan. Fungsi-fungsi matematis yang biasanya digunakan yaitu fungsi trapesium. Fungsi keanggotaan trapesium mempunyai bentuk seperti pada Gambar 1 dan dispesifikasikan oleh empat parameter {a,b,c,d} seperti pada persamaan 1.

$$\text{Trapezium}(x;a,b,c,d)= \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (1)$$

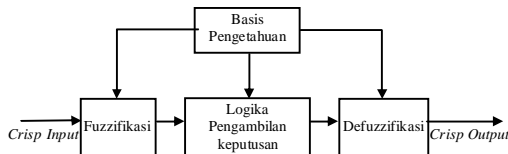


Gambar 1 Fungsi keanggotaan trapesium.

Parameter {a,b,c,d} (dengan $a < b < c < d$) menentukan koordinat x pada empat sudut dari fungsi keanggotaan trapesium.

Sistem Logika Fuzzy

Konfigurasi dasar dari sistem logika fuzzy yang digunakan seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Konfigurasi dasar sistem logika fuzzy.

Konfigurasi sistem logika fuzzy terdapat 4 komponen utama, yaitu unit fuzzifikasi, basis pengetahuan yang terdiri dari basis data dan basis aturan, logika pengambilan keputusan, dan unit defuzzifikasi.

Proses fuzzifikasi dipergunakan untuk mengubah data masukan tegas kedalam bentuk derajat keanggotaan. Basis pengetahuan dipergunakan untuk menghubungkan himpunan masukan dengan himpunan keluaran. Logika pengambilan keputusan dipergunakan untuk mengkombinasi aturan-aturan yang terdapat pada basis aturan kedalam suatu pemetaan dari suatu himpunan fuzzy *input* ke suatu himpunan fuzzy *output*. Defuzzifikasi adalah langkah terakhir

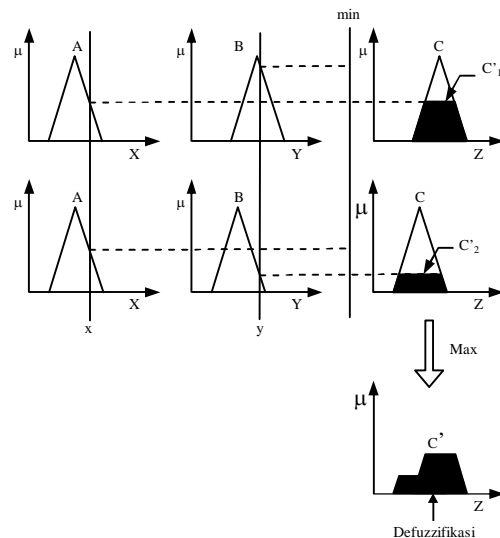
dalam suatu sistem logika fuzzy dimana tujuannya adalah mengkonversi setiap hasil dari *inference engine* yang diekspresikan dalam bentuk *fuzzy set* ke suatu bilangan real.

Logika Pengambilan Keputusan

Logika pengambilan keputusan atau dapat disebut penyimpulan fuzzy (*fuzzy inference*) mengaplikasikan aturan-aturan fuzzy pada masukan fuzzy kemudian mengevaluasi setiap aturan. Prinsip logika fuzzy digunakan untuk mengkombinasi aturan-aturan JIKA-MAKA (IF-THEN) yang terdapat dalam basis aturan kedalam suatu pemetaan dari suatu himpunan *fuzzy input* kesuatu himpunan *fuzzy output*. Logika pengambilan keputusan merupakan langkah kedua dalam pemrosesan logika fuzzy. Terdapat beberapa metode pengambilan keputusan dalam logika fuzzy diantaranya yaitu metode Mamdani.

Fungsi implikasi yang digunakan pada pengambilan keputusan dengan metode Mamdani dengan menggunakan MIN dan dalam melakukan komposisi dengan menggunakan MAX. Metode komposisi ini sering disebut MAX-MIN. Contoh dalam penggunaan pengambilan keputusan dengan metode Mamdani ditunjukkan pada Gambar 3 dengan memisalkan fungsi keanggotaan masukan dan keluaran menggunakan fungsi segitiga dan mempunyai 2 aturan fuzzy, yaitu:

- IF Kesalahan adalah Nol dan Beda kesalahan adalah Positif maka Keluaran adalah Positif.
- IF Kesalahan adalah Nol dan Beda kesalahan adalah Nol maka Keluaran adalah Nol.



Gambar 3 Proses pengambilan keputusan metode Mamdani.

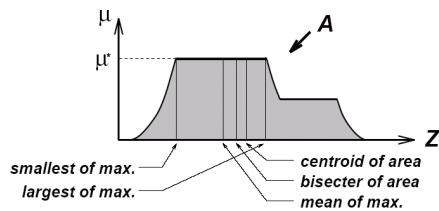
Langkah pertama pengambilan keputusan metode Mamdani adalah melakukan proses fuzzifikasi untuk memetakan data tegas masukan kesalahan dan beda kesalahan kedalam data fuzzy

sesuai dengan tipe dan bentuk fungsi keanggotaan. Langkah kedua adalah melakukan proses terhadap kedua data fuzzy tersebut dengan operator AND yang akan mengambil nilai paling minimal dari dua data tersebut. Langkah ketiga dengan implikasi MIN akan memotong fungsi keanggotaan keluaran setelah melalui operator AND sehingga didapatkan daerah fuzzy. Ketiga proses tersebut juga diterapkan pada aturan-aturan fuzzy berikutnya. Setelah semua aturan fuzzy telah dieksekusi, dilakukan proses komposisi dengan metode MAX yaitu solusi himpunan fuzzy diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakannya untuk memodifikasi daerah fuzzy, dan mengaplikasikan ke *output* dengan menggunakan operator OR (*union*). Jika proposisi telah dievaluasi, maka *output* akan berisi suatu himpunan fuzzy yang merefleksikan kontribusi dari tiap-tiap proposisi. Setelah proses implikasi dan komposisi telah dilakukan maka proses selanjutnya adalah proses defuzzifikasi.

Unit Defuzzifikasi

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

Ada beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan Mamdani, diantaranya yaitu metode COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Metode defuzzifikasi pada aturan Mamdani.

a. Metode COA

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy, secara umum dirumuskan pada persamaan 2 untuk variabel kontinu dan persamaan 3 untuk variabel diskrit.

$$z = \frac{\int z \mu(z) dz}{\int \mu(z) dz} \quad (2)$$

$$z = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (3)$$

b. Metode Bisektor

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan separo dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy. Secara umum dituliskan pada persamaan 4.

$$\int_{\alpha}^{z_{BOA}} \mu(z) dz = \int_{z_{BOA}}^{\beta} \mu(z) dz \quad (4)$$

Dimana:

$$\alpha = \min\{z \mid z \in Z\}$$

$$\beta = \max\{z \mid z \in Z\}$$

c. MOM

Pada solusi ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

d. LOM

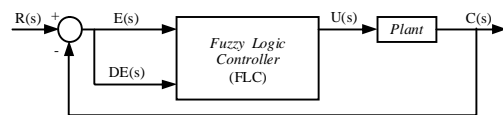
Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e. SOM

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

Kendali Logika Fuzzy

Dalam pendekatan kendali berbasis logika fuzzy, masukan, keluaran, dan tanggapan kendali dispesifikasikan sesuai dengan keahlian seorang pakar serta pemodelan matematika terhadap suatu sistem kendali tidak dibutuhkan. Prinsip dalam mendesain kendali logika fuzzy adalah mengatur parameter fungsi keanggotaan dan kaidah aturan fuzzy.



Gambar 5 Kendali logika fuzzy pada sistem kalang tertutup.

Sebuah pengendali logika fuzzy umumnya dapat dimasukkan dalam sistem pengendali kalang tertutup. Pada Gambar 5 memperlihatkan sistem kendali kalang tertutup dengan pengendali logika fuzzy dimana *E* (*error*) dan *dE* (*delta error/ perubahan error*) merupakan masukan pengendali logika fuzzy dan *U* adalah besaran yang diberikan pada *plant*. Masukan *error* didapatkan dari nilai referensi dikurangi dengan nilai keluaran dari *plant* yang dinotasikan oleh persamaan 5.

$$e(k) = r(k) - c(k) \quad (5)$$

dimana:

e(k) adalah besar nilai kesalahan diskrit.

$r(k)$ adalah besar nilai referensi diskrit.
 $c(k)$ adalah besar nilai keluaran *plant* diskrit.

Nilai masukan beda kesalahan (perubahan *error* pada sistem kontinu) didapatkan dari nilai kesalahan sekarang dikurangi dengan nilai kesalahan sebelumnya yang dinotasikan oleh persamaan 6.

$$dE(k) = e(k) - e(k-1) \quad (6)$$

dimana:

$dE(k)$ adalah besar nilai beda kesalahan diskrit.
 $e(k)$ adalah besar nilai kesalahan diskrit.
 $e(k-1)$ adalah besar nilai kesalahan diskrit sebelumnya.

Definisi Spesifikasi Respon Transien

Umumnya karakteristik performansi sistem kontrol yang diinginkan dinyatakan dalam bentuk besaran waktu. Seringkali, karakteristik performansi sistem kendali dinyatakan dalam bentuk respon transien terhadap masukan tangga satuan karena mudah dibangkitkan dan cukup radikal.

Respon transien sistem kontrol praktis sering menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan tunak. Dalam menentukan karakteristik respon transien sistem kontrol terhadap masukan tangga satuan ditunjukkan seperti pada Gambar 6 dan biasanya dicari parameter berikut:

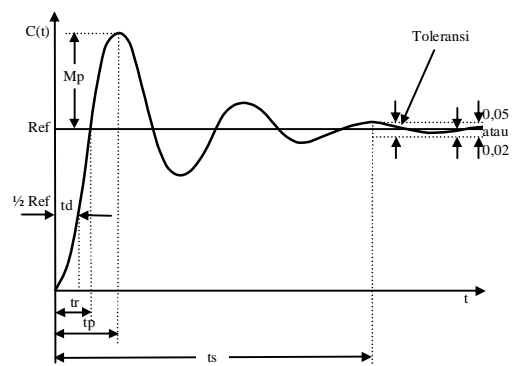
- Waktu tunda (t_d), adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga naik yang pertama kali.
- Waktu naik (t_r), adalah waktu yang diperlukan respon untuk naik dari 10 sampai 90%, 5 sampai 95%, atau 0 sampai 100% dari harga akhirnya. Untuk sistem orde kedua redaman kurang, biasanya digunakan waktu 0 – 100%. Untuk sistem redaman lebih, biasanya digunakan waktu naik 10 – 90%.
- Waktu puncak (t_p), adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali.
- (Persen) lewatan maksimum (M_p), adalah harga puncak maksimum dari kurva respon yang diukur dari satu. Jika harga keadaan tunak respon tidak sama dengan satu, maka biasa digunakan persen lewatan maksimum. Parameter ini didefinisikan seperti persamaan 7.

$$\text{Persen } M_p = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \cdot 100\% \quad (7)$$

Besar (persen) lewatan maksimum secara langsung menunjukan kestabilan relatif sistem.

- Waktu penetapan (t_s), adalah waktu yang diperlukan kurva respon untuk mencapai dan menetap dalam daerah sekitar harga akhir yang ukurannya ditentukan dengan presentase

mutlak dari harga akhir (biasanya 5% atau 2%).



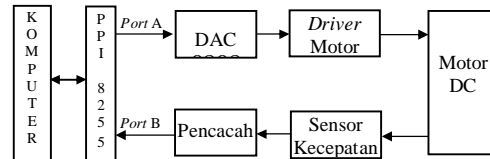
Gambar 6 Tanggapan sistem terhadap masukan tangga satuan t_d , t_p , t_r , dan t_s .

III. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan pada tugas akhir ini terdiri dari perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak. Perangkat keras digunakan untuk mengubah data digital dari komputer menjadi data analog sebagai *driver* motor DC dan membaca putaran motor DC. Perangkat lunak digunakan untuk merancang sistem kendali logika fuzzy yang akan mengatur kecepatan motor DC.

3.1 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Secara umum blok diagram sistem pengendalian kecepatan motor DC yang akan dibuat pada tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram blok sistem pengendalian motor DC.

Rangkaian DAC 0808 berfungsi untuk mengubah data digital dari komputer menjadi data analog berupa tegangan. Level tegangan ini digunakan sebagai masukan *driver* Motor DC. Pencacah dipergunakan untuk menghitung pulsa-pulsa yang dihasilkan oleh sensor kecepatan ketika motor berputar dalam waktu tertentu. Hasil dari pencacah ini dibaca oleh komputer sebagai umpan balik dari kecepatan motor DC. Disamping itu komputer dipergunakan untuk merancang sistem kendali logika fuzzy, menampilkan grafik respon sistem, dan menyimpan data ke *file* untuk keperluan analisis.

3.2 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

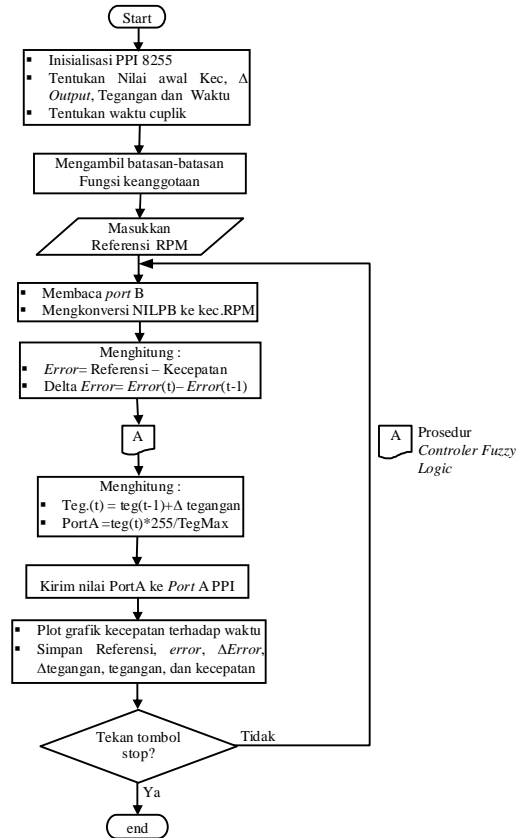
Program aplikasi sistem kendali logika fuzzy yang dipergunakan untuk pengaturan kecepatan motor DC ini dibuat dengan bahasa pemrograman Visual Basic 6.0 yang dapat digunakan untuk mengetahui respon sistem kecepatan motor secara *on-line*. Program aplikasi ini terdiri dari 3 buah *form* dan 2 buah *modul*, yaitu *form* utama, *form* EditLabel, *form* Data, modul1, dan modul2. *Form* utama digunakan untuk perhitungan controller logika fuzzy dan menampilkan respon sistem berbentuk grafik. *Form* EditLabel digunakan untuk mendesain batasan-batasan fungsi keanggotaan dari semua label *Error*, $\Delta Error$, dan Δ Tegangan. *Form* data digunakan untuk menampilkan data angka dari proses kendali logika fuzzy. Pada modul1 berisi prosedur-prosedur yang berhubungan dengan *design* fungsi fuzzy. Pada modul2 berisi prosedur dan fungsi yang berhubungan dengan program utama yaitu proses perhitungan program kendali logika fuzzy.

Algoritma perangkat lunak yang dipakai pada kendali logika fuzzy untuk mengendalikan kecepatan motor DC ini, yaitu:

1. Menginisialisasi PPI, menginisialisasi kondisi awal dan memberikan nilai waktu cuplik.
2. Mengambil batasan-batasan fungsi keanggotaan.
3. Memasukkan nilai referensi RPM.
4. Membaca Port B / Output Plant (NILPB).
5. Mengkonversi *output plant* menjadi kecepatan RPM.
Kecepatan RPM = NILPB * 60000 / Waktu cuplik / 32
6. Menghitung nilai *error* dan $\Delta error$.
 $Error(t) = \text{Referensi} - \text{Kecepatan}$
 $\Delta Error(t) = Error(t) - Error(t-1)$
7. Proses fuzzifikasi, yaitu menghitung derajat keanggotaan semua label *error* dan $\Delta error$.
8. Penggunaan operator AND dan melakukan proses implikasi yaitu menghitung derajat keanggotaan semua label Δ tegangan dari *rule* 1 sampai *rule* 49.
9. Proses komposisi yaitu mencari nilai maksimal derajat keanggotaan semua label Δ tegangan.
10. Mencari nilai Δ tegangan dari proses defuzzifikasi COA, bisektor, MOM, LOM, atau SOM.
11. Menghitung tegangan yang diberikan ke motor.
 $Tegangan(t) = \text{tegangan}(t-1) + \Delta \text{ tegangan}$
12. Mengkonversi tegangan yang akan dikirimkan ke DAC melalui port A.
 $PortA = \text{Tegangan} * 255 / \text{tegangan maximal}$
13. Mengirim nilai PortA ke Port A PPI.
14. Tampilkan kecepatan RPM respon sistem terhadap waktu dalam bentuk grafik.

15. Simpan data Referensi, *Error*, $\Delta Error$, Δ tegangan, tegangan, dan kecepatan RPM.
16. Ulangi langkah 4 – 15 sampai tombol 'Stop' ditekan.

Flowchart perangkat lunak yang akan dibuat seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Flowchart perangkat lunak.

Sistem logika fuzzy yang di desain mempunyai 2 input yaitu *error* dan $\Delta error$ serta 1 output yaitu Δ tegangan. *Error* dan $\Delta error$ di definisikan dengan rumus:

$$Error(t) = \text{Referensi} - \text{Kecepatan aktual}$$

$$\Delta error(t) = Error(t) - Error(t-1)$$

Output yang diberikan *plant* di gunakan rumus:

$$\text{Tegangan}(t) = \text{tegangan}(t-1) + \Delta \text{ tegangan}$$

Dalam sistem ini di desain fungsi keanggotaan *error*, $\Delta error$ dan Δ tegangan dengan jumlah label 7 label yaitu NB (*Negatif Big*), N (*Negatif*), NS (*Negatif Small*), Z (*Zero*), PS (*Positif Small*), P (*Positif*), dan PB (*Positif Big*). Fungsi keanggotaan *input* mempunyai bentuk trapesium dan segitiga serta *output* mempunyai bentuk *singleton*. Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 menunjukkan batasan-batasan fungsi keanggotaan *error*, $\Delta error$ dan Δ tegangan.

Tabel 1 Batasan-batasan fungsi keanggotaan *error*.

Label Fungsi Keanggotaan <i>Error</i>	A (RPM)	B (RPM)	C (RPM)	D (RPM)
NB	-1600	-1600	-900	-480
N	-900	-480	-480	-60
NS	-120	-60	-60	0
Z	-20	0	0	20
PS	0	60	60	120
P	60	480	480	900
PB	480	900	1600	1600

Tabel 2 Batasan-batasan fungsi keanggotaan Δ *error*.

Label Fungsi Keanggotaan Δ <i>Error</i>	A (RPM)	B (RPM)	C (RPM)	D (RPM)
NB	-1600	-1600	-900	-485
N	-900	-485	-485	-70
NS	-140	-70	-70	0
Z	-20	0	0	20
PS	0	70	70	140
P	70	480	480	900
PB	485	900	1600	1600

Tabel 3 Batasan-batasan fungsi keanggotaan Δ tegangan.

Label Fungsi Keanggotaan Δ Tegangan	A (Volt)
NB	-5,4
N	-0,6
NS	-0,05
Z	0
PS	0,05
P	0,6
PB	5,4

Jumlah *rule* fuzzy yang digunakan pada sistem ini terdiri dari 49 *rule*, yaitu seperti pada Tabel 4.

Tabel 4 Basis aturan fuzzy.

Δ <i>Error</i>	Δ Output	<i>Error</i>						
		NB	N	NS	Z	PS	P	PB
	NB	NB	N	NS	NB	PS	P	PB
	N	NB	N	NS	N	PS	P	PB
	NS	NB	N	NS	NS	PS	P	PB
	Z	NB	N	NS	Z	PS	P	PB
	PS	NB	N	NS	PS	PS	P	PB
	P	NB	N	NS	P	PS	P	PB
	PB	NB	N	NS	PB	PS	P	PB

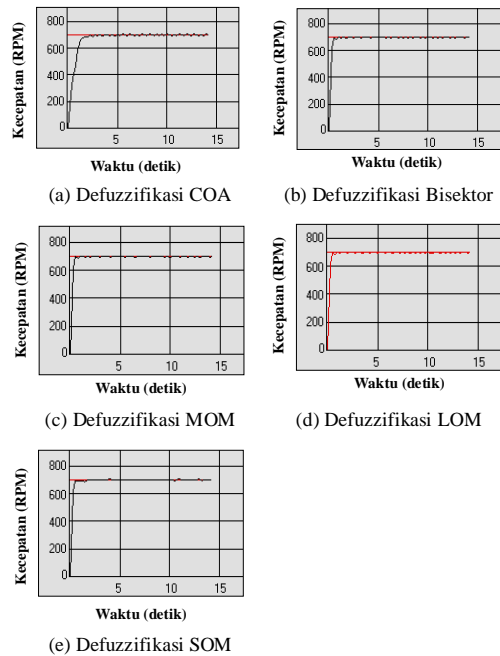
IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada pengujian ini dilakukan pengujian dengan jumlah label yang sama pada semua fungsi keanggotaan yaitu 7 label dan beberapa variasi referensi yaitu pada kecepatan 700 RPM, 800 RPM, 900 RPM, 1000 RPM, dan 1100 RPM. Pada semua referensi diujikan batasan-batasan fungsi keanggotaan yang sama dan diujikan 5 sistem logika fuzzy dengan metode defuzzifikasi yang berbeda, yaitu COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM. Pengujian dilakukan tiga kali setiap pemberian referensi pada masing-masing metode defuzzifikasi dan diambil rata-ratanya.

Hasil dari pengujian ini adalah berupa respon sistem berbentuk grafis dan data yang diambil secara *online*. Grafik dan data tersebut dapat disimpan dalam bentuk *file* yang nantinya dapat digunakan untuk keperluan analisis diantaranya untuk mencari *td*, *tr*, dan *ts* dari respon sistem.

4.1 Referensi 700 RPM

Pada pengujian pertama dengan memberikan referensi 700 RPM dan menggunakan metode defuzzifikasi COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM didapatkan respon sistem seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik respon sistem untuk referensi 700.

Dari tiga kali pengujian dengan memberikan referensi 700 RPM didapatkan rata-rata *td*, *tr*, dan *ts* pada masing-masing defuzzifikasi seperti pada Tabel 5.

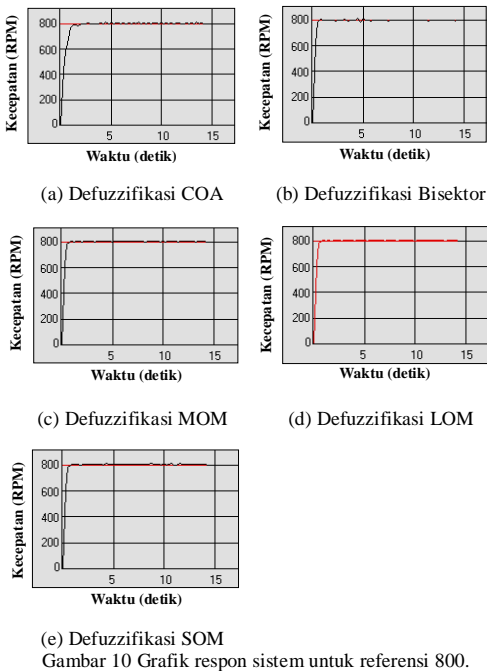
Tabel 5 Nilai rata-rata td, tr, dan ts untuk referensi 700 RPM.

Defuzzifikasi	Td rata-Rata (detik)	Tr rata-Rata (detik)	Ts rata-Rata (detik)
COA	0,4398	1,0793	1,3333
Bisektor	0,1417	0,2642	0,4136
MOM	0,1417	0,2627	0,4085
LOM	0,1423	0,2734	0,4229
SOM	0,1715	0,4489	0,5945

Dari Tabel 5 terlihat bahwa td terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi bisektor dan MOM yaitu sebesar 0,1417 detik, tr terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi MOM yaitu sebesar 0,2627 detik, dan ts terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi MOM yaitu sebesar 0,4085 detik .

4.2 Referensi 800 RPM

Pada pengujian pertama dengan memberikan referensi 800 RPM dan menggunakan metode defuzzifikasi COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM didapatkan respon sistem seperti pada Gambar 10.



Dari tiga kali pengujian dengan memberikan referensi 800 RPM didapatkan rata-rata td, tr, dan ts pada masing-masing defuzzifikasi seperti pada Tabel 6.

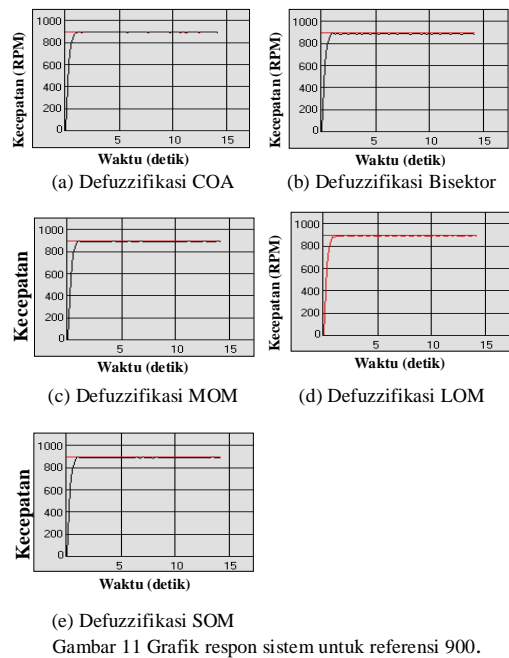
Tabel 6 Nilai rata-rata td, tr, dan ts untuk referensi 800 RPM.

Defuzzifikasi	Td rata-Rata (detik)	Tr rata-Rata (detik)	Ts rata-Rata (detik)
COA	0,2299	0,8114	0,9718
Bisektor	0,1619	0,3753	0,4692
MOM	0,1626	0,3766	0,4697
LOM	0,1626	0,3766	0,4697
SOM	0,1626	0,3766	0,4697

Dari Tabel 6 terlihat bahwa pada pemberian referensi 800 RPM td terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi bisektor yaitu sebesar 0,1619 detik, tr terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi bisektor yaitu sebesar 0,3753 detik, dan ts terkecil diperoleh dengan menggunakan metode bisektor yaitu sebesar 0,4692 detik.

4.3 Referensi 900 RPM

Pada pengujian pertama dengan memberikan referensi 900 RPM dan menggunakan metode defuzzifikasi COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM didapatkan respon sistem seperti pada Gambar 11.



Dari tiga kali pengujian dengan memberikan referensi 900 RPM didapatkan rata-rata td, tr, dan ts pada masing-masing defuzzifikasi seperti pada Tabel 7.

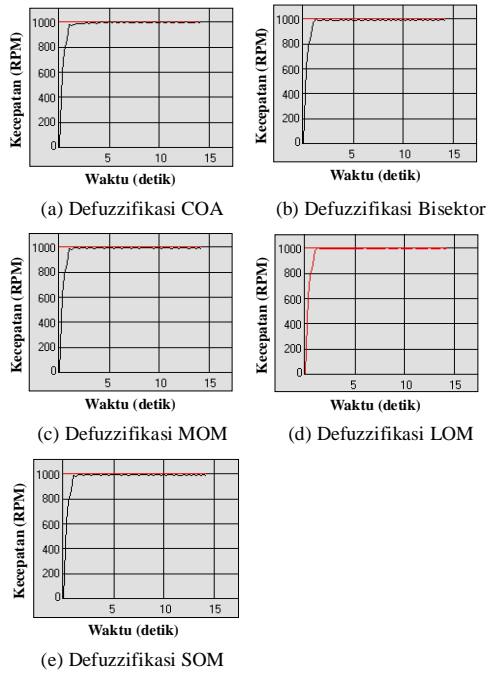
Tabel 7 Nilai rata-rata td, tr, dan ts untuk referensi 900 RPM.

Defuzzifikasi	Td rata-Rata (detik)	Tr rata-Rata (detik)	Ts rata-Rata (detik)
COA	0,1837	0,5443	0,6937
Bisektor	0,1829	0,5426	0,6891
MOM	0,1870	0,5358	0,6832
LOM	0,1822	0,5320	0,6816
SOM	0,1814	0,5370	0,6832

Dari Tabel 7 terlihat bahwa td terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi SOM yaitu sebesar 0,1814 detik, tr terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi LOM yaitu sebesar 0,5320 detik, dan ts terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi LOM yaitu sebesar 0,6816 detik.

4.4 Referensi 1000 RPM

Pada pengujian pertama dengan memberikan referensi 1000 RPM dan menggunakan metode defuzzifikasi COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM didapatkan respon sistem seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 Grafik respon sistem untuk referensi 1000.

Dari tiga kali pengujian dengan memberikan referensi 1000 RPM didapatkan rata-rata td, tr, dan ts pada masing-masing defuzzifikasi seperti pada Tabel 8.

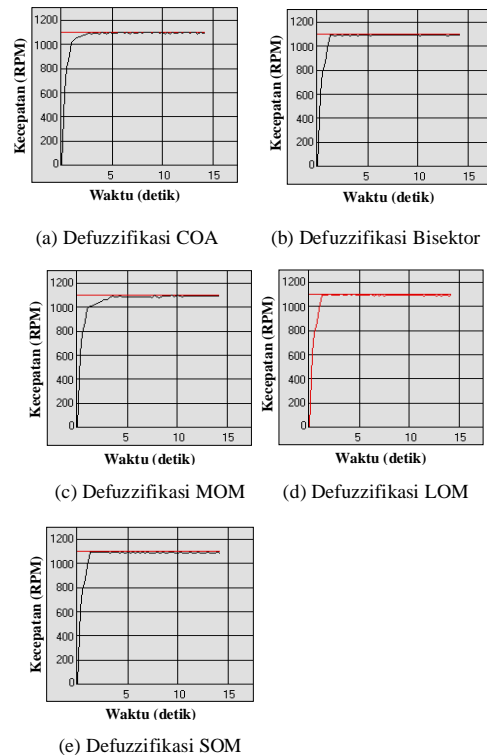
Tabel 8 Nilai rata-rata td, tr, dan ts untuk referensi 1000 RPM.

Defuzzifikasi	Td rata-Rata (detik)	Tr rata-Rata (detik)	Ts rata-Rata (detik)
COA	0,2075	0,7678	0,9288
Bisektor	0,2041	0,7714	0,9268
MOM	0,2050	0,7614	0,9188
LOM	0,2033	0,7528	0,9187
SOM	0,2041	0,7615	0,9188

Dari Tabel 8 terlihat bahwa td terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi LOM yaitu sebesar 0,2033 detik, tr terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi LOM yaitu sebesar 0,7528 detik, dan ts terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi LOM yaitu sebesar 0,9187 detik.

4.5 Referensi 1100 RPM

Pada pengujian pertama dengan memberikan referensi 1100 RPM dan menggunakan metode defuzzifikasi COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM didapatkan respon sistem seperti pada Gambar 13.



Gambar 13 Grafik respon sistem untuk referensi 1100.

Dari tiga kali pengujian dengan memberikan referensi 1100 RPM didapatkan rata-rata td, tr, dan ts pada masing-masing defuzzifikasi seperti pada Tabel 9.

Tabel 9 Nilai rata-rata td, tr, dan ts untuk referensi 1100 RPM.

Defuzzifikasi	Td rata-Rata (detik)	Tr rata-Rata (detik)	Ts rata-Rata (detik)
COA	0,2227	0,9328	1,3687
Bisektor	0,2245	0,9607	2,0028
MOM	0,2218	0,9556	2,2639
LOM	0,2284	0,9718	1,4016
SOM	0,2218	0,9723	1,3833

Dari Tabel 9 terlihat bahwa td terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi MOM dan SOM yaitu sebesar 0,2218 detik, tr terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi COA yaitu sebesar 0,9328 detik, dan ts terkecil diperoleh dengan menggunakan metode defuzzifikasi COA yaitu sebesar 1,3687 detik.

Dari semua pengujian pemberian referensi dan penggunaan semua metode defuzzifikasi maka dapat dihitung nilai rata-rata td, tr, dan ts seperti pada Tabel 10.

Tabel 10 Nilai td, tr, dan ts untuk referensi 700 RPM sampai 1100 RPM.

Defuzzi fikasi	Parameter (detik)	Referensi (RPM)					Rata-rata
		700	800	900	1000	1100	
COA	td	0,4398	0,2299	0,1837	0,2075	0,2227	0,2567
	tr	1,0793	0,8114	0,5443	0,7678	0,9328	0,8271
	ts	1,3333	0,9718	0,6937	0,9288	1,3687	1,0592
Bisektor	td	0,1417	0,1619	0,1829	0,2041	0,2245	0,1830
	tr	0,2642	0,3753	0,5426	0,7714	0,9607	0,5828
	ts	0,4136	0,4692	0,6891	0,9268	2,0028	0,9003
MOM	td	0,1417	0,1626	0,1870	0,2050	0,2218	0,1836
	tr	0,2627	0,3766	0,5358	0,7614	0,9556	0,5784
	ts	0,4085	0,4697	0,6832	0,9188	2,2639	0,9488
LOM	td	0,1423	0,1626	0,1822	0,2033	0,2284	0,1838
	tr	0,2734	0,3766	0,5320	0,7528	0,9718	0,5813
	ts	0,4229	0,4697	0,6816	0,9187	1,4016	0,7789
SOM	td	0,1715	0,1626	0,1814	0,2041	0,2218	0,1883
	tr	0,4489	0,3766	0,5370	0,7615	0,9723	0,6193
	ts	0,5945	0,4697	0,6832	0,9188	1,3833	0,8099

Dari Tabel 10 terlihat bahwa nilai rata-rata td terkecil dari lima kali variasi pemberian referensi adalah dengan menggunakan metode defuzzifikasi bisektor yaitu sebesar 0,1830 detik. Nilai rata-rata tr terkecil dengan menggunakan metode defuzzifikasi MOM yaitu sebesar 0,5784 detik dan nilai rata-rata ts terkecil dengan menggunakan metode defuzzifikasi LOM yaitu sebesar 0,7789 detik.

Dari grafik dan data hasil pengujian terlihat bahwa sistem tidak mengalami lonjakan. Hal ini disebabkan karena pada saat kecepatan motor DC semakin mendekati dari referensi yang diberikan,

sistem logika fuzzy dapat mengambil keputusan memberikan tegangan yang semakin kecil juga.

Dari grafik dan data yang didapat juga dapat diambil kesimpulan bahwa metode defuzzifikasi yang terbaik mengikuti referensi adalah metode COA. Hal ini disebabkan karena hasil nilai dari penggunaan metode defuzzifikasi diambil dari titik pusat pada daerah fuzzy.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Nilai rata-rata td terkecil dari lima defuzzifikasi adalah dengan menggunakan metode defuzzifikasi bisektor yaitu sebesar 0,1830 detik.
2. Nilai rata-rata tr terkecil dari lima defuzzifikasi adalah dengan menggunakan metode defuzzifikasi MOM yaitu sebesar 0,5784 detik.
3. Nilai rata-rata ts terkecil dari lima defuzzifikasi adalah dengan menggunakan metode defuzzifikasi LOM yaitu sebesar 0,7789 detik.
4. Pengendalian motor DC dengan sistem logika fuzzy tidak terdapat lonjakan.
5. Diantara kelima metode defuzzifikasi, metode defuzzifikasi yang terbaik selalu mengikuti referensi adalah metode COA.
6. Baik dan tidaknya penggunaan metode defuzzifikasi aturan Mamdani pada sistem kendali logika fuzzy sangat tergantung dari perancangan fungsi keanggotaan dan basis aturan fuzzy yang digunakan.

5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil pengaturan yang lebih presisi bisa digunakan DAC dan pencacah yang mempunyai resolusi lebih tinggi, misalkan dengan DAC/pencacah 12 bit.
2. *Plant* motor DC ini masih bisa dikembangkan lagi dengan mengubah *controller* yang digunakan, misalkan dengan Algoritma Genetik dan Jaringan Syaraf.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Budiharto, Widodo, *Interfacing Komputer dan Mikrokontroler*, Jakarta: Elexmedia komputindo, 2004.
- (2) Dewobroto, Wiyoto, *Aplikasi Sain dan Teknik dengan Visual Basic*, PT Elex Media Komputindo. Jakarta : Gramedia.
- (3) Jun Y., Michail R., James P., *Using Fuzzy Logic*, 1993.

- (4) Jyh-Shing, Chun-Tsai, Eiji, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1997.
- (5) Kurniadi, Adi, *Pemrograman Microsoft visual Basic 6*, Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2001.
- (6) Kusumadewi, Sri, *Analisis dan Desain Sistem Fuzzy menggunakan Toolbox Matlab*, Yogyakarta: Geaha Ilmu, 2002.
- (7) Kusumadewi, Sri, Hari P., *Logika Fuzzy*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- (8) Link, Wolfgang., *Pengukuran, Pengendalian dan Pengaturan dengan PC*. PT Elex Media Komputindo. Jakarta.
- (9) M. Passino, Kevin, Yurkovich, Stephen, *Fuzzy Control*, Addison-Wesley Longman Inc., California, 1998.
- (10) Malvino, Albert. Alih bahasa Tjia May On, *Elektronika Komputer Digital*, PT Gelora Aksara Pratama, 1994.
- (11) Ogata, Katsuhiko. Alih bahasa Edi Leksono, *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Jilid 1. Jakarta : Erlangga. 1994.
- (12) Tjokronegoro, Hariyono A., *Identifikasi Parameter Sistem*, Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung, 1996.
- (13) Yadi, Abdul, *Aplikasi Visual Basic Dalam Industri Manufaktur*, PT Elex Media Komputindo. Jakarta : Gramedia.

BIOGRAFI



Sutikno lahir di Boyolali pada tanggal 24 Mei 1979. Lulus dari SMUN 3 Boyolali pada tahun 1997 dan lulus dari Politeknik Undip pada tahun 2000. Saat ini sedang menempuh pendidikan tinggi di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas

Diponegoro pada bidang konsentrasi Kontrol.

Mengetahui / Mengesahkan
Pembimbing I Pembimbing II

Wahyudi, ST. MT.
NIP. 132 086 662

Sumardi, ST. MT.
NIP. 132 125 670