

# Pengendalian Kecepatan Motor DC Menggunakan Metode Fuzzy Integral Controller

R. Aryo Bimo Surya Putra<sup>1</sup>, Adnan Rafi Al Tahtawi<sup>2</sup>, Kartono Wijayanto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail: r.aryo.tlis18@polban.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail: adnan.raf@polban.ac.id

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559  
E-mail: kartonowijayanto@polban.ac.id

## ABSTRAK

Sistem kendali *fuzzy logic* digunakan karena sistem kendali ini relatif mudah dan juga fleksibel karena tidak perlu menggunakan perhitungan sistematis. Tujuan penelitian ini adalah membuat prototipe kendali kecepatan motor DC menggunakan mikrokontroler Arduino berbasis *fuzzy logic* dengan penambahan komponen integrator. Pengendali dirancang dengan masukan berupa *error* dan *derror*. Luaran dari alat tersebut adalah berupa sinyal PWM yang dapat memperbaiki *error* pada kecepatan motor DC yang dikendalikan. Penambahan komponen integrator bertujuan untuk menghilangkan adanya nilai *error steady state* sehingga pengendali yang digunakan menjadi *fuzzy integral controller*. Cara kerja pengendali ini adalah motor DC yang bergerak akan dibaca kecepatannya oleh sensor *encoder* kemudian data tersebut akan diolah menjadi *error* dengan cara kecepatan motor pada *set point* dikurangi dengan kecepatan sesungguhnya. Kemudian *error* tersebut akan menjadi masukan pertama, masukan duanya adalah *derror* yang didapat dari *error* sekarang dikurangi dengan *error* sebelumnya. Masukan pertama dan masukan kedua akan diolah menggunakan metode *fuzzy integral controller* untuk menentukan nilai PWM yang tepat dengan tipe Sugeno. Hasil pengujian secara eksperimen menunjukkan bahwa pengendali yang dirancang mampu menghasilkan respon kecepatan yang baik dengan tidak ada *error steady state* baik untuk *setpoint* tetap maupun berubah.

## Kata Kunci

Motor DC, Fuzzy Integral Controller, Kendali Kecepatan, Sugeno

## 1. PENDAHULUAN

Pada era yang modern ini motor DC sering sekali digunakan pada industri [1]. Motor DC yang digunakan memiliki beraneka ragam karena motor DC menggunakan sumber listrik DC maka biasanya di industri masih sering menggunakan penyearah untuk dapat mengubah sumber listrik AC menjadi DC. Alasan masih banyak yang menggunakan menggunakan motor DC karena kebutuhan variasi kecepatan motor. Hanya saja sering sekali kecepatan motor DC tidak sesuai dengan kecepatan yang diatur dan banyak pelaku industri yang mengalami kerusakan pada motor DC disebabkan karena beban yang diangkut motor melebihi kemampuan motornya [2,3].

Untuk dapat mengatur kecepatan motor DC terdapat banyak cara salah satunya yaitu menggunakan metode Fuzzy Logic Controller (FLC) [4]. FLC terbukti efektif untuk proses yang kompleks karena tidak membutuhkan model matematis [5]. FLC adalah sistem kendali yang memiliki ketidakketergantungan pada variabel-variabel proses kendali [6].

Metode fuzzy dipilih karena konsep logika fuzzy mudah dimengerti dengan matematis yang mendasari penalaran logika fuzzy sangat sederhana [7]. Logika fuzzy sangat fleksibel dan memiliki toleransi terhadap data-data yang

tidak tepat. Selain itu logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang kompleks [8]. Logika fuzzy dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional dan didasarkan pada bahas alami [9]. Terlebih lagi adanya logika fuzzy tipe-2 dapat menghasilkan kinerja pengendalian yang tahan terhadap ketidakpastian parameter [10].

Tujuan penelitian ini adalah membuat prototype pengendalian kecepatan motor DC dengan metode Fuzzy Integral Controller (FIC). Pengendali ini dirancang dengan mengintegrasikan antara pengendali logika fuzzy dengan pengendali integral. Penambahan komponen integral bertujuan untuk mengeliminasi adanya *error steady state*. Hal inilah yang membedakan penelitian ini dengan penelitian terkait sebelumnya. Penulis akan merancang dan membangun sebuah alat yang dapat mengatur kecepatan motor DC berbasis FIC dengan menggunakan variabel *error* dan *derror* dengan keluaran berupa PWM. Adapun mekanisme inferensi yang digunakan adalah tipe Sugeno karena kesederhanaan dalam hal implementasi mikrokontroler. Hasil percobaan ini kemudian dianalisa untuk melihat respon motor yang dihasilkan.

## 2. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem kendali dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yaitu MATLAB dengan menggunakan Fuzzy Logic Toolbox.

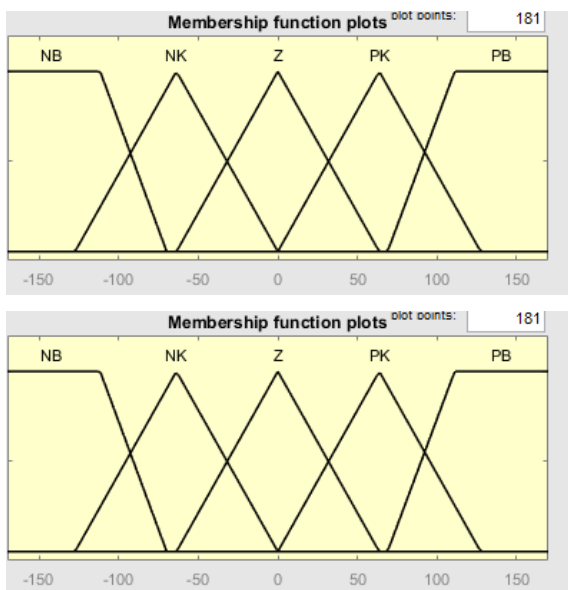
### 2.1. Fuzzy Logic

Pada prinsipnya algoritma fuzzy dapat menutupi kekurangan yang dimiliki oleh logika biner Boolean. Pada logika Boolean hanya dapat menjawab dua kondisi yaitu benar (true) atau salah (false) [11]. Dengan adanya logika fuzzy dapat menjawab kondisi-kondisi yang tidak hanya dapat di jawab oleh benar (true) atau salah (false) saja, tetapi dapat menjawab kondisi-kondisi pertengahan diantara benar (true) dan salah (false) tidak dalam formulasi matematis.

Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Fungsi yang digunakan pada penelitian ini adalah: Representasi Kurva Segitiga seperti pada persamaan berikut.

$$\mu_A[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}; & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}; & b < x < c \\ 1; & x = b \end{cases} \quad (1)$$

Pada pengujian ini menggunakan fungsi keanggotaan *error* dan *derror* yang sama dengan *range* -170 sampai 170 seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kurva keanggotaan fuzzy *error* dan *derror*

Adapun fungsi keluaran fuzzy dengan adalah nilai bit PWM dengan *range* -255 sampai 255 seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Fungsi keanggotaan keluaran fuzzy

Langkah selanjutnya adalah merancang inferensi fuzzy atau yang lebih di kenal sebagai fuzzy rule base sistem. Prosedur inferensi digunakan untuk menarik kesimpulan dari himpunan aturan fuzzy. Metode inferensi fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Sugeno dengan fungsi keanggotaan keluaran berupa nilai tegas. Adapun rule base yang dirancang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Fuzzy Rule Base

		error				
		NB	NK	Z	PK	PB
derror	NB	NB	NB	NB	NK	Z
	NK	NB	NK	NK	Z	PK
	Z	NB	NK	Z	PK	PB
	PK	NK	Z	PK	PK	PB
	PB	Z	PK	PB	PB	PB

Tahap terakhir adalah defuzzifikasi yang merupakan proses pemetaan aksi kendali fuzzy menjadi aksi kendali non-fuzzy (crisp) yang dapat dinyatakan:

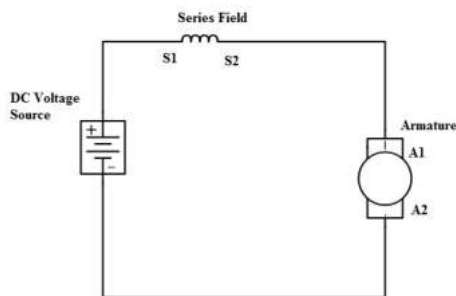
$$y_o = \text{defuzzifier}(y) \quad (2)$$

$y$  merupakan aksi kendali fuzzy,  $y_o$  aksi kendali crisp, dan defuzifier merupakan operator defuzzification. Pada percobaan ini defuzzifikasi yang di gunakan ada Center of Area (CoA). CoA adalah metode yang defuzzifier yang diperoleh dengan menghitung pusat titik-berat dari daerah agregasi. Rumus umumnya ditulis sebagai berikut.

$$x^* = \frac{\sum_{j=1}^n x_j \mu_c(x_j)}{\sum_{j=1}^n \mu_c(x_j)} \quad (3)$$

## 2.2. Motor DC

Pada motor DC terdapat dua bagian utama yaitu Stator dan Rotor. Stator adalah bagian motor yang tidak berputar, bagian yang statis ini terdiri dari rangka dan kumparan medan, sedangkan Rotor adalah bagian yang berputar. Bagian Rotor ini terdiri dari kumparan Jangkar. Dua bagian utama ini dapat dibagi lagi menjadi beberapa komponen penting yaitu diantaranya adalah Yoke (kerangka magnet), Poles (kutub motor), Field winding (kumparan medan magnet), Armature Winding (Kumparan Jangkar), Commutator (Komutator) dan Brushes (kuas/sikat arang) yang dapat di lihat dalam bentuk rangkaian pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian motor DC

Pada Gambar 3 menunjukkan rangkaian motor DC. Rangkaian motor DC memiliki perhitungan matematis yang terdiri dari model mekanis dan elektrik. Persamaan tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\ddot{\theta} = \frac{d\dot{\theta}}{dt} = -\frac{b}{J}\dot{\theta} + \frac{K}{J}I \quad (4)$$

dengan  $J$  adalah momen inersia ( $\text{kg.m}^2$ ),  $\dot{\theta}$  adalah kecepatan sudut ( $\text{rad/s}$ ),  $b$  adalah koefisien gesekan ( $\text{N.m.s}$ ),  $K$  adalah konstanta motor,  $\ddot{\theta}$  adalah percepatan sudut ( $\text{rad/s}^2$ ),  $I$  adalah arus (A). Persamaan matematis elektris pada motor DC dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V_{in} = L \frac{di}{dt} + RI + V_{emf} \quad (5)$$

Jika dalam bentuk model fungsi alih, sehingga model motor DC dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K^2}{LJs^2 + (Lb + RJ)s + Rb + K^2} \quad (6)$$

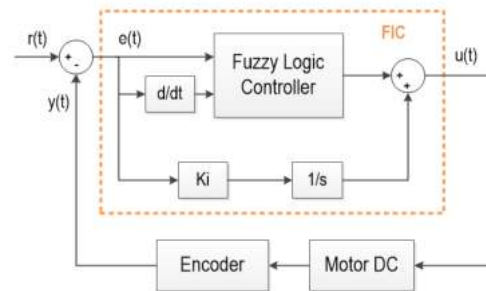
Dengan  $L$  adalah induktansi (H),  $V_{emf}$  adalah tegangan balik (V),  $R$  adalah resistansi (Ohm), dan  $V_{in}$  adalah tegangan masukan (V),  $J$  adalah momen inersia ( $\text{kg.m}^2$ ),  $b$  adalah koefisien gesekan,  $K$  adalah konstanta motor, dan  $T$  adalah konstanta waktu.

## 2.3. Fuzzy Integral Controller

Secara umum struktur pengendali FIC yang dirancang pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Pengendali terdiri dari logika fuzzy dan integral. Logika fuzzy dirancang berdasarkan uraian sebelumnya, kemudian ditambah dengan komponen integral yang digunakan untuk menghilangkan *error steady state*.

Seperti diketahui bahwa pengendali logika fuzzy tidak mampu menjamin terjadinya setpoint tracking karena dalam perancangannya hanya berdasarkan logika. Hadirnya integrator secara teori mampu membuat *error steady state* sama dengan nol dengan dikalikan konstanta  $K_i$ . Dengan demikian sinyal kendali yang dihasilkan memenuhi persamaan berikut.

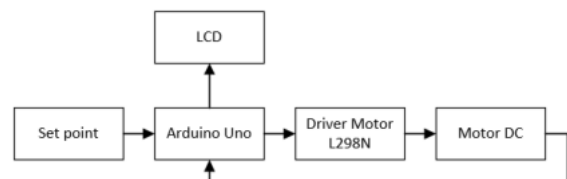
$$u(t) = u_{FLC}(t) + K_i \int e(t) dt \quad (7)$$



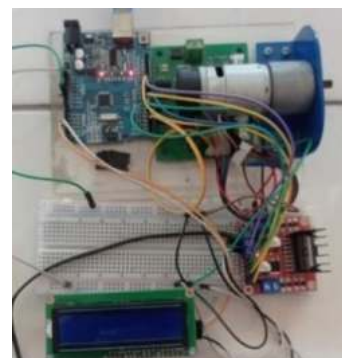
Gambar 4. Rancangan FIC

## 2.4. Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras dilakukan sesuai seperti pada Gambar 5. Arduino uno digunakan sebagai perangkat pengendalian dimana pengendali ditanamkan dan diproses. Modul driver motor L298N digunakan sebagai pengatur PWM dari motor DC yang digunakan. LCD berfungsi untuk menampilkan beberapa parameter yang di gunakan seperti RPM, *setpoint*, *error*, dan *derror*. Motor DC yang digunakan adalah tipe EMG30 dimana motor tipe ini sudah memiliki *encoder* yang terhubung langsung dengan motor DC. Nilai encoder akan dikirim ke Arduino Uno dalam bentuk sinyal pulsa. Sistem diimplementasikan dalam bentuk purwarupa perangkat keras sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan seperti pada Gambar 6.



Gambar 5. Diagram blok perancangan perangkat keras



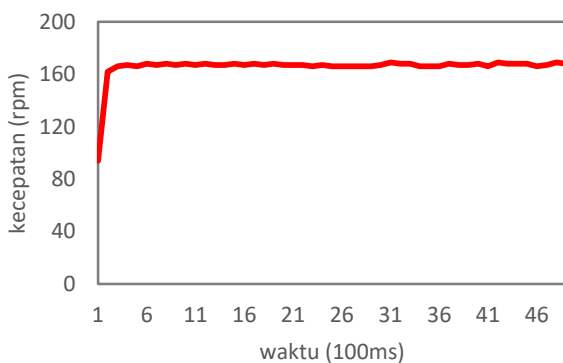
Gambar 6. Perancangan perangkat keras

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah data dari hasil pengujian kontrol kecepatan motor DC berbasis FIC yang telah dilakukan. Dari pengujian ini kita dapat menganalisa respon motor DC dari pengendalian kecepatan motor DC berbasis FIC. Untuk mengetahui respon motor DC, maka dilakukan percobaan dengan dua cara yaitu set point tetap dan setpoint berubah. Untuk pengujian pada set point tetap menggunakan kecepatan motor sebesar 140 rpm, sedangkan untuk set point berubah menggunakan kecepatan motor sebesar 140 rpm ke 100 rpm.

#### 3.1. Pengujian Respon Open Loop

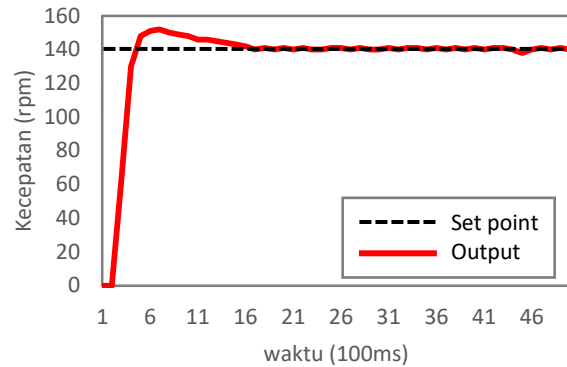
Sebelum dilakukan pengujian kendali, terlebih dahulu dilakukan pengujian *open loop*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui daerah kerja pengendalian yang akan diterapkan. Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 7 diperoleh bahwa kecepatan motor DC EMG30 dapat mencapai kecepatan 168 rpm saat diberikan masukan tegangan sebesar 12 V. Waktu yang dibutuhkan motor untuk mencapai kecepatan maksimum adalah 0,3 s. Kecepatan maksimum motor DC ini adalah 168 rpm yang artinya untuk set point yang dapat di tentukan memiliki rentang antara 0 rpm sampai dengan 168 rpm.



Gambar 8. Respon open loop

#### 3.2. Pengujian Dengan Set Point Tetap

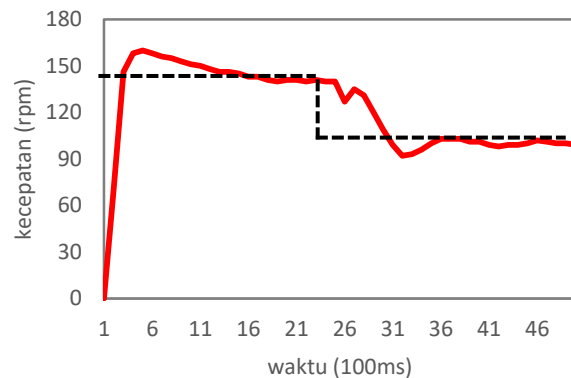
Pengujian ini dilakukan dengan menetapkan set point. Pada pengujian ini diambil sebanyak 50 titik dengan rentang waktu 100 ms. Pengujian respon motor dengan metode FIC dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada pengujian perangkat keras waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik setpoint sebesar 0,7 s, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan stabil sebesar 1,7 s, *overshoot* yang terjadi pada pengujian perangkat keras sebesar 7,14%, dan *error steady state* yang terjadi pada pengujian perangkat keras memiliki nilai sebesar 0,7% .



Gambar 9. Pengujian motor DC set point 140 rpm

#### 3.3. Pengujian Dengan Set Point Berubah

Pada pengujian ini menggunakan *push button* untuk merubah kecepatan motor. Perubahan kecepatan motor diatur sedemikian mungkin agar waktu perubahan kecepatan pada saat 2,5 s. Pengujian dengan set point berubah dari 140 rpm menjadi 100 rpm dapat dilihat pada Gambar 10. Pada set point diatur pada 140 rpm terjadi overshoot yang cukup besar kemudian kecepatan motor mulai stabil pada 2 s. Pada saat 2,5 s setpoint diubah menjadi 100 rpm, kemudian terjadi penurunan kecepatan pada saat pertama kali set point diubah. Saat kecepatan motor turun kemudian terjadi overshoot yang tidak terlalu besar pada saat 2,8 s, Akhirnya mulai stabil pada kecepatan 100 rpm pada 4 s.



Gambar 10. Pengujian motor DC set point berubah 140 rpm ke 100 rpm

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari pengujian ini maka dapat disimpulkan bahwa pengendali kecepatan motor DC berbasis FIC telah berhasil dirancang dan direalisasikan dalam bentuk prototipe. Pengendalian fuzzy logic digunakan karena lebih mudah di terapkan dan perhitungan matematisnya tidak terlalu rumit. Hadirnya integrator mampu menghasilkan *setpoint tracking* dan meminimalkan *error steady state*. Berdasarkan hasil pengujian set point tetap dapat disimpulkan bahwa *error steady state* yang dihasilkan motor DC sebesar kurang dari 1%. Berdasarkan hasil pengujian set point berubah, respon kecepatan motor

mampu mengikuti perubahan dari set point yang ditetapkan. Penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan adalah menambahkan kompensator saturasi dan menguji kekokohan sistem dengan memberikan beberapa skenario gangguan.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Hibban, H. (2015). Desain Kontroler Fuzzy PID Gain Scheduling Untuk Pengaturan Kecepatan Motor DC Tanpa Sikat (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [2] Nadhif, M. (2015). Aplikasi Fuzzy Logic Untuk Pengendali Motor DC Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 Dengan Sensor Photodiode (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).
- [3] Ibrahim, A. W., Widodo, T. W., & Supardi, T. W. (2016). Sistem Kontrol Torsi pada Motor DC. *IJEIS*, 6(1), 93-104.
- [4] Dwirahayu, R., Setiyono, B., & Sumardi, S. (2017). Perancangan Kontroler Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler Atmega32 Sebagai Kendali Kecepatan Motor Brushless Dc (BLDC). *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 5(4), 504-510.
- [5] Hidayati, Q., & Prasetyo, M. E. (2016). Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Fuzzy-PID. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(1).
- [6] Dwisaputra, A. S., Yumono, F., & Yuliana, D. E. (2021). Kontrol Kecepatan Motor DC Menggunakan Fuzzy Logic Controller Pada Ayunan Bayi. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 2(01), 1-14.
- [7] Maulana, A. R. (2018). DESAIN SISTEM PENGENDALIAN KECEPATAN MOTOR DC PADA RANCANG BANGUN MINI KONVEYOR BERBASIS FUZZY LOGIC CONTROLLER. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 7(3).
- [8] Wahyuningsih, Sapti, and Aprilia Hamida Mashuri. "KEUNGGULAN PENERAPAN FUZZY PADA PENYELESAIAN PENJADWALAN PROYEK." *Jurnal Kajian Matematika dan Aplikasinya (JKMA)* 2.1 (2021): 24-31.
- [9] Acikgoz, H. (2018). Speed control of DC motor using interval type-2 fuzzy logic controller. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 6(3), 197-202.
- [10] Al Tahtawi, A. R. (2021). Kendali Posisi Motor DC Menggunakan Logika Fuzzy Interval Tipe 2. *TELKA-Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, 7(1), 1-10.
- [11] Badramurti, M. P. (2018). Analisis dan Desain Kontroler Fuzzy-PID pada Plant Motor DC Berbasis Spreadsheet menggunakan Pendekatan Metode Numerik (Doctoral dissertation, University of Muhammadiyah Malang).