



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**KONTROL DAN MONITORING KECEPATAN MOTOR
BRUSHLESS DIRECT CURRENT (BLDC) BERBASIS FUZZY
LOGIC ADAPTIVE DAN IOT**

TUGAS AKHIR

**POLITEKNIK
MUHAMMAD SHIDDIQ ALI
2303321063
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI ELEKTRONIKA INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**IMPLEMENTASI KONTROL KECEPATAN MOTOR BLDC
BERBASIS *FUZZY LOGIC ADAPTIVE* MENGGUNAKAN**

ESP32

TUGAS AKHIR

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Diploma Tiga**

**MUHAMMAD SHIDDIQ ALI
2303321063**

**PROGRAM STUDI ELEKTRONIKA INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Muhammad Shiddiq Ali
NIM : 2303321063
Tanda Tangan :

Tanggal : 25 Juni 2026

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir diajukan oleh:

Nama : Muhammad Shiddiq Ali

NIM : 2303321063

Program Studi : D3 - Elektronika Industri

Judul Tugas Akhir : Implementasi Kontrol Kecepatan Motor BLDC Berbasis Fuzzy Logic Adaptive Menggunakan ESP32

telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada Senin Tanggal 6 Bulan Juli Tahun 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing I : Nana Utama, S.T., M.T., Ph.D.

NIP.197007122001121001

Depok 10 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr., Murie Dwiyaniti, S.T., M.T.

NIP.197803312003122002

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **"Implementasi Kontrol Kecepatan Motor BLDC Berbasis Fuzzy Logic Adaptive Menggunakan ESP32"**. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma Tiga pada Program Studi Elektronika Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta. Judul dan identitas laporan mengikuti dokumen tugas akhir yang disusun.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan doa, dukungan, dan motivasi.
3. Bapak Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan.
4. Seluruh dosen Program Studi Elektronika Industri Politeknik Negeri Jakarta.
5. Teman-teman dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi referensi dalam pengembangan sistem kontrol motor BLDC berbasis ESP32.

Depok, 25 Juni 2026

Muhammad Shiddiq Ali



ABSTRAK

Motor Brushless Direct Current (BLDC) banyak digunakan pada kendaraan listrik dan sistem otomasi karena memiliki efisiensi tinggi, respons cepat, serta umur pakai yang lebih panjang dibandingkan motor DC konvensional. Namun, karakteristik motor BLDC yang bersifat nonlinier menyebabkan pengendalian kecepatan menjadi lebih kompleks, terutama ketika terjadi perubahan beban. Oleh karena itu, diperlukan metode pengendalian yang mampu menjaga kestabilan kecepatan motor secara adaptif. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol kecepatan motor BLDC menggunakan metode Fuzzy Logic Adaptive berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT). ESP32 berfungsi sebagai pengendali utama untuk membaca data Hall Sensor, menghitung nilai error, menjalankan algoritma fuzzy, serta menghasilkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor melalui motor controller. Data hasil pengukuran ditampilkan secara real-time pada dashboard berbasis web dan TFT Display serta disimpan pada SD Card sebagai media data logging. Pengujian dilakukan menggunakan metode inferensi Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno dengan total 4.159 data sampel. Parameter yang dianalisis meliputi kecepatan motor (RPM), nilai PWM, error, overshoot, dan kestabilan sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua metode mampu mengendalikan kecepatan motor sesuai nilai setpoint. Metode Fuzzy Sugeno mencapai kondisi stabil lebih cepat, sedangkan metode Fuzzy Mamdani menghasilkan overshoot yang lebih rendah dan rata-rata error aktif yang lebih kecil, sehingga masing-masing metode memiliki keunggulan pada aspek yang berbeda. Sistem yang dikembangkan mampu mendukung proses monitoring dan pengambilan data secara real-time sehingga berpotensi diterapkan pada berbagai aplikasi otomasi dan kendaraan listrik.

Kata kunci: Adaptive Fuzzy Logic, BLDC, ESP32, Internet of Things (IoT), Monitoring.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

Brushless Direct Current (BLDC) motors are widely used in electric vehicles and automation systems due to their high efficiency, fast response, and longer service life compared to conventional DC motors. However, the nonlinear characteristics of BLDC motors make speed control more challenging, particularly under varying load conditions. Therefore, an adaptive control method is required to maintain stable motor speed. This study aims to design and implement a BLDC motor speed control system using an Adaptive Fuzzy Logic method based on the ESP32 microcontroller integrated with an Internet of Things (IoT)-based monitoring system. The ESP32 serves as the main controller to acquire Hall sensor data, calculate the error value, execute the fuzzy logic algorithm, and generate Pulse Width Modulation (PWM) signals to regulate the motor speed through the motor controller. The measurement data are displayed in real time on a web-based dashboard and a TFT display, while also being stored on an SD card for data logging purposes. The system was evaluated using both Mamdani and Sugeno fuzzy inference methods with a total of 4,159 data samples. The analyzed parameters included motor speed (RPM), PWM value, error, overshoot, and system stability. The experimental results indicate that both methods are capable of controlling the motor speed according to the desired setpoint. The Sugeno Fuzzy method reaches a stable condition faster, while the Mamdani Fuzzy method produces a lower overshoot and a smaller average active-phase error, so each method has advantages in different aspects. Furthermore, the developed system supports real-time monitoring and data acquisition, making it suitable for various automation and electric vehicle applications.

Keywords: *Adaptive Fuzzy Logic, BLDC, ESP32, Internet of Things (IoT), Monitoring.*

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR RUMUS	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan.....	5
1.5 Luaran.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Motor Brushless Direct Current (BLDC).....	6
2.1.1 Prinsip Kerja Motor BLDC.....	8
2.1.2 Sistem Kontrol Kecepatan Motor BLDC.....	8
2.2 Sensor Hall Effect.....	8
2.3 Motor Controller BLDC 500 W (48–64 V).....	9
2.4 Pulse Width Modulation (PWM).....	10
2.5 Fuzzy Logic Control.....	11
2.6 Fuzzy Logic Adaptive	11
2.7 Mikrokontroler ESP32	12
2.8 Arduino UNO sebagai Kontroller TFT Display.....	12
2.9 TFT Display	13
2.10 SD Card Module untuk Data Logging.....	14

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.11	DC-DC Buck Converter (Step-Down Converter)	15
2.12	Servo Motor MG996R.....	16
BAB III REALISASI ALAT		18
3.1	Rancangan Alat	18
3.2	Deskripsi Alat.....	18
3.3	Spesifikasi Alat.....	19
3.3.1	Spesifikasi Hardware	19
3.3.2	Spesifikasi Software	20
3.4	Blok Diagram	20
3.4.1	Blok Diagram Alat.....	20
3.4.2	Blok Diagram Sistem.....	21
3.5	Flowchart Respon Sistem Terhadap Perubahan Beban.....	23
3.6	Realisasi Alat.....	23
3.6.1	Realisasi Perangkat Lunak	24
3.6.2	Realisasi Keseluruhan Sistem.....	25
3.6.3	Wiring Diagram	26
3.7	Cara Kerja Alat.....	27
BAB IV PEMBAHASAN.....		29
4.1	Pengujian Metode Fuzzy Mamdani.....	29
4.1.1	Deskripsi Pengujian	29
4.1.2	Prosedur Pengujian	29
4.1.3	Data Hasil Pengujian	30
4.1.4	Analisis Data dan Evaluasi	32
4.2	Pengujian Metode Fuzzy Sugeno	32
4.2.1	Deskripsi Pengujian	32
4.2.2	Prosedur Pengujian	32
4.2.3	Data Hasil Pengujian	33
4.2.4	Analisis Data dan Evaluasi	34
4.3	Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno	35
4.3.1	Perbandingan Data Hasil Pengujian	35
4.3.2	Analisis Perbandingan	36
4.3.3	Pembahasan Keseluruhan Sistem	37



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.4 Konversi Kecepatan Motor BLDC ke Kecepatan Kendaraan (Speedometer).....	37
4.4.1 Kalibrasi Sensor Kecepatan (Tachometer terhadap RPM Aktual)	37
4.4.2 Data RPM Aktual	38
4.4.3 Perhitungan Konversi RPM ke Kecepatan Kendaraan (km/jam)	39
4.4.4 Perbandingan dengan Standar Kecepatan Maksimum Kendaraan Listrik di Indonesia.....	39
4.5 Pengujian Tambahan dengan Skema Pembebanan Lain	40
4.5.1 Pengujian dengan Level Beban Tunggal (LV1, LV2, LV3).....	40
4.5.2 Pengujian dengan Urutan Beban Lengkap (Pengulangan)	41
4.5.3 Pengujian Gabungan Metode Mamdani dan Sugeno.....	42
4.5.4 Breakdown Data Pengujian Gabungan per Level Beban.....	43
BAB V PENUTUP.....	47
5.1 Simpulan.....	47
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN.....	52

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Torsi Berdasarkan RPM	7
Tabel 2.2 Daya Berdasarkan RPM	7
Tabel 3.1 Spesifikasi Hardware	19
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Metode Fuzzy Mamdani	30
Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Metode Fuzzy Sugeno.....	33
Tabel 4.3 Perbandingan Performa Metode Mamdani dan Sugeno	35
Tabel 4.4 Data Kalibrasi Tachometer terhadap RPM Aktual	38
Tabel 4.5 Hasil Konversi RPM ke Kecepatan Linear (km/jam)	39
Tabel 4.6 Ringkasan Pengujian Level Beban Tunggal (LV1, LV2, LV3)	40
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Urutan Beban Lengkap (Pengulangan).....	42
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Gabungan Metode Mamdani dan Sugeno	43
Tabel 4.9 Perbandingan Performa Mamdani dan Sugeno pada Beban LV1 (Pengujian Gabungan).....	44
Tabel 4.10 Perbandingan Performa Mamdani dan Sugeno pada Beban LV2 (Pengujian Gabungan).....	45
Tabel 4.11 Perbandingan Performa Mamdani dan Sugeno pada Beban LV3 (Pengujian Gabungan).....	45

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Motor BLDC	8
Gambar 2.2 Hall Sensor	9
Gambar 2.3 Controller BLDC 500Watt	10
Gambar 2.4 Membership Function	11
Gambar 2.5 ESP32 Development Board.....	12
Gambar 2.6 Arduino Uno R3	13
Gambar 2.7 3.5" inch TFT LCD Touch Screen Display Board 480x320 For Arduino UNO.....	14
Gambar 2.8 SD Card Module.....	15
Gambar 2.9 Buck Converter	16
Gambar 2.10 Servo Motor MG996R	17
Gambar 3.1 Diagram alat.....	20
Gambar 3.2 Diagram sistem loop.....	21
Gambar 3.3 Flowchart respon sistem terhadap beban	23
Gambar 3.4 Realisasi Perangkat Keras Sistem Monitoring dan Kontrol Motor BLDC	26
Gambar 3.5 Wiring Diagram Sistem.....	27
Gambar 4.1 Grafik RPM Metode Mamdani	31
Gambar 4.2 Grafik PWM Metode Mamdani	31
Gambar 4.3 Grafik Error Metode Mamdani	31
Gambar 4.4 Grafik RPM Metode Sugeno.....	33
Gambar 4.5 Grafik PWM Metode Sugeno.....	34
Gambar 4.6 Grafik Error Metode Sugeno.....	34
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan RPM	35
Gambar 4.8 Grafik Perbandingan PWM.....	36
Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Error	36
Gambar 4.10 Kalibrasi hall sensor menggunakan tachometer.....	38
Gambar 4.11 Grafik RPM Pengujian Level Beban Tunggal Metode Mamdani...	41
Gambar 4.12 Grafik RPM Pengujian Level Beban Tunggal Metode Sugeno	41
Gambar 4.13 Grafik Perbandingan RPM Pengujian Urutan Beban Lengkap (Pengulangan)	42



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.14 Grafik Perbandingan RPM Pengujian Gabungan Mamdani dan Sugeno.....	43
Gambar 4.15 Grafik Perbandingan RPM Mamdani dan Sugeno pada Beban LV1 (Pengujian Gabungan).....	44
Gambar 4.16 Grafik Perbandingan RPM Mamdani dan Sugeno pada Beban LV2 (Pengujian Gabungan).....	45
Gambar 4.17 Grafik Perbandingan RPM Mamdani dan Sugeno pada Beban LV3 (Pengujian Gabungan).....	46





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR RUMUS

Persamaan (2.1) Perhitungan Torsi	6
Persamaan (2.2) Daya Motor	7
Persamaan (2.3) Contoh Perhitungan RPM	7
Persamaan (2.4) Hasil Contoh Perhitungan RPM	7
Persamaan (3.1) Error	27
Persamaan (3.2) Delta Error	27
Persamaan (4.1) Rumus Kecepatan Berdasarkan Keliling Motor BLDC	39



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor Brushless Direct Current (BLDC) merupakan salah satu jenis motor listrik yang banyak digunakan sebagai penggerak utama pada berbagai aplikasi industri maupun kendaraan listrik karena memiliki efisiensi energi tinggi, densitas daya besar, respons dinamis yang cepat, serta kebutuhan perawatan yang rendah dibandingkan motor konvensional (Mohanraj et al., 2022). Karakteristik tersebut menjadikan motor BLDC banyak diterapkan pada sistem yang membutuhkan pengendalian kecepatan dan torsi secara presisi, seperti conveyor, robot industri, drone, hingga kendaraan listrik. Namun demikian, motor BLDC memiliki sifat nonlinear dan dinamis sehingga kontroler Proportional Integral Derivative (PID) konvensional sering kali kurang optimal ketika sistem mengalami perubahan beban atau kondisi operasi yang tidak menentu (Majid, 2024). Kondisi tersebut mendorong berkembangnya pendekatan kontrol cerdas seperti Fuzzy Logic Controller (FLC), yang mampu menangani ketidakpastian dan nonlinearitas sistem tanpa memerlukan model matematis yang kompleks.

Berbagai penelitian telah membuktikan keunggulan Fuzzy Logic Controller dibandingkan PID pada pengendalian motor BLDC. Shenbagalakshmi et al. (2025) menunjukkan bahwa FLC menghasilkan transisi kecepatan yang halus tanpa overshoot dan steady-state error mendekati nol, dengan settling time yang lebih singkat dibandingkan PID, serta mampu mempertahankan respons torsi yang stabil meskipun terjadi fluktuasi beban. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih membatasi pengujian pada tahap simulasi berbasis perangkat lunak seperti MATLAB/Simulink dan belum sepenuhnya divalidasi pada perangkat keras nyata (real hardware). Sebagai contoh, penelitian mengenai kontroler Hybrid Fuzzy-PI pada kendaraan listrik ringan menyatakan bahwa validasi yang dilakukan masih terbatas pada simulasi, sehingga implementasi eksperimental pada platform embedded seperti ESP32 atau STM32 menjadi arah pengembangan selanjutnya yang perlu dilakukan (Enhancing Performance of Lightweight Electric Vehicles, 2026). Kesenjangan antara pemodelan simulasi



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dan realisasi perangkat keras inilah yang menjadi salah satu permasalahan utama dalam pengembangan sistem kontrol fuzzy logic pada motor BLDC.

Untuk menjembatani kesenjangan tersebut, dibutuhkan platform mikrokontroler yang mampu menjalankan algoritma kendali cerdas secara real-time dengan sumber daya komputasi yang terbatas namun tetap efisien dari segi biaya. ESP32 merupakan salah satu mikrokontroler yang banyak dipilih untuk keperluan tersebut karena memiliki dua inti prosesor (dual-core), konektivitas WiFi dan Bluetooth terintegrasi, serta kemampuan pemrosesan sinyal yang memadai untuk implementasi algoritma kendali maupun komunikasi data (Hercog et al., 2023). Beberapa penelitian telah membuktikan kelayakan ESP32 sebagai unit kendali utama pada sistem motor BLDC, di antaranya penerapan algoritma Artificial Neural Network untuk kendali kecepatan motor BLDC yang diprogram langsung pada ESP32 dan menghasilkan performa lebih baik dibandingkan PID konvensional dari segi rise time, settling time, dan penolakan gangguan (Speed Control of a BLDC Motor Using Artificial Neural Network, 2022), serta penerapan algoritma Finite Control Set Model Predictive Control pada ESP32 untuk pengendalian kecepatan motor BLDC dengan referensi dinamis (Entezari et al., 2026). Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa ESP32 mampu menjalankan algoritma kendali cerdas secara real-time pada sistem motor BLDC, sehingga menjadi platform yang relevan untuk mengimplementasikan algoritma Fuzzy Logic Adaptive yang telah dirancang dan dimodelkan sebelumnya.

Pada penelitian tugas akhir kelompok ini, algoritma Fuzzy Logic Adaptive dengan dua pendekatan, yaitu Mamdani dan Sugeno, telah dirancang dan diuji melalui tahap pemodelan menggunakan MATLAB/Simulink berdasarkan fungsi alih plant motor BLDC yang diperoleh dengan metode Ciancone. Tahap pemodelan tersebut menghasilkan parameter fungsi keanggotaan (membership function) dan basis aturan (rule base) yang telah divalidasi secara simulasi. Namun demikian, algoritma yang telah dimodelkan tersebut perlu direalisasikan pada perangkat keras yang sesungguhnya, di mana ESP32 berperan sebagai unit pemroses utama yang menjalankan algoritma fuzzy logic untuk menghasilkan sinyal PWM, sedangkan motor driver berfungsi sebagai unit aktuator yang



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menerjemahkan sinyal PWM tersebut menjadi suplai daya bagi motor BLDC. Integrasi antara ESP32 dan motor driver ini menjadi bagian penting dalam merealisasikan sistem kendali closed-loop yang responsif. Selain itu, pada kondisi operasi nyata, motor BLDC berpotensi mengalami perubahan beban secara dinamis yang dapat menyebabkan penurunan kecepatan maupun osilasi pada respons sistem, sehingga kemampuan sistem kendali dalam menjaga kestabilan kecepatan motor terhadap gangguan beban tersebut menjadi salah satu aspek utama yang perlu diuji dan dianalisis pada tahap implementasi ini.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada implementasi kontrol kecepatan motor BLDC berbasis Fuzzy Logic Adaptive menggunakan mikrokontroler ESP32. Implementasi dilakukan dengan menerjemahkan parameter fuzzy logic tipe Mamdani dan Sugeno yang telah dimodelkan ke dalam program embedded C/C++ pada ESP32, mencakup proses pembacaan kecepatan motor melalui hall sensor, perhitungan nilai error dan delta error, proses fuzzifikasi hingga defuzzifikasi, serta pembangkitan sinyal PWM sebagai sinyal kendali kecepatan motor secara real-time dan closed-loop. Dengan adanya implementasi ini, algoritma Fuzzy Logic Adaptive yang telah dirancang dapat diuji secara langsung terhadap kondisi operasi nyata, termasuk pengujian terhadap variasi pembebanan dinamis, sehingga performa sistem kendali dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.

Alat yang direalisasikan pada penelitian ini dirancang sebagai purwarupa (prototype) berskala laboratorium yang merepresentasikan penerapan sistem kendali kecepatan motor BLDC pada kondisi operasi yang sesungguhnya, sehingga hasil pengujian dan analisis performanya dapat dijadikan acuan awal sebelum diterapkan pada skala yang lebih besar. Pada konteks industri, hasil implementasi kontrol Fuzzy Logic Adaptive ini berpotensi diterapkan pada sistem penggerak yang membutuhkan kestabilan kecepatan meskipun terjadi perubahan beban secara tiba-tiba, seperti pada conveyor produksi, pompa industri, kompresor, maupun sistem manufaktur otomatis yang mengandalkan motor BLDC sebagai aktuator utama. Selain itu, mengingat motor BLDC yang digunakan pada penelitian ini bertipe motor BLDC sepeda listrik (500 Watt, 48V,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

20A DC), algoritma kendali yang telah diimplementasikan juga relevan untuk diterapkan pada sistem penggerak kendaraan listrik roda dua, seperti sepeda listrik maupun motor listrik, khususnya dalam menjaga kestabilan kecepatan saat terjadi perubahan beban akibat medan jalan, penumpang, maupun kondisi berkendara yang dinamis. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran dan pengujian di lingkup akademik, tetapi juga dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut menuju penerapan pada sistem penggerak industri maupun kendaraan listrik yang membutuhkan kendali kecepatan adaptif, efisien, dan andal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol kecepatan motor BLDC berbasis metode Fuzzy Logic Adaptive menggunakan mikrokontroler ESP32?
2. Bagaimana mengimplementasikan ESP32 dan motor driver sebagai unit pengendali kecepatan motor BLDC?
3. Bagaimana menjaga kestabilan kecepatan motor BLDC ketika terjadi perubahan beban dinamis?
4. Bagaimana performa metode Fuzzy Logic Adaptive, baik pendekatan Mamdani maupun Sugeno, dalam mengendalikan kecepatan motor BLDC?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam tugas akhir lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang ingin dicapai, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Penelitian tidak membahas perancangan logika fuzzy secara terperinci.
2. Penelitian difokuskan untuk implementasi ESP32 terhadap motor BLDC dengan logika fuzzy yang telah dirancang.
3. Penelitian ini difokuskan untuk merancang penggunaan ESP32 sebagai controller utama motor BLDC.

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Tujuan

Tujuan dari pelaksanaan penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol kecepatan motor BLDC berbasis metode Fuzzy Logic Adaptive menggunakan mikrokontroler ESP32.
2. Mengimplementasikan ESP32 dan motor driver sebagai unit pengendali kecepatan motor BLDC.
3. Menjaga kestabilan dan respon kecepatan motor BLDC terhadap perubahan beban dinamis.
4. Menganalisis dan membandingkan performa metode Fuzzy Logic Adaptive, yaitu pendekatan Mamdani dan Sugeno, dalam mengendalikan kecepatan motor BLDC.

1.5 Luaran

Adapun luaran dari tugas akhir ini, yaitu :

1. Purwarupa (Prototype) Sistem
2. Laporan Tugas Akhir
3. Draft Artikel Ilmiah



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem kontrol kecepatan motor BLDC berbasis Fuzzy Logic Adaptive menggunakan ESP32, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem kontrol kecepatan motor BLDC berbasis ESP32 berhasil dirancang dan direalisasikan dengan mengintegrasikan Hall Sensor sebagai umpan balik, motor controller sebagai penggerak motor, algoritma Fuzzy Logic Adaptive sebagai pengendali, serta sistem monitoring berbasis IoT dan TFT Display. Sistem mampu melakukan pengendalian dan monitoring kecepatan motor secara real-time.
2. ESP32 berhasil diimplementasikan sebagai pengendali utama sistem. ESP32 mampu membaca data Hall Sensor, menghitung nilai error dan perubahan error, menjalankan algoritma Fuzzy Logic Adaptive, menghasilkan sinyal PWM untuk mengendalikan motor BLDC, serta mengirimkan data monitoring ke dashboard web dan menyimpan data ke SD Card secara bersamaan.
3. Sistem kontrol yang dikembangkan mampu mempertahankan kecepatan motor BLDC ketika terjadi perubahan beban dengan menyesuaikan nilai PWM secara otomatis. Mekanisme umpan balik yang diterapkan memungkinkan kecepatan motor kembali mendekati nilai setpoint sehingga kestabilan sistem tetap terjaga.
4. Berdasarkan hasil pengujian terhadap metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno, keduanya mampu mengendalikan kecepatan motor BLDC sesuai dengan nilai setpoint. Metode Fuzzy Sugeno mencapai kondisi stabil lebih cepat, sedangkan metode Fuzzy Mamdani menghasilkan overshoot yang lebih rendah dan rata-rata error aktif yang lebih kecil selama fase transien. Dengan demikian, pemilihan metode kontrol perlu disesuaikan dengan prioritas sistem, yaitu kecepatan mencapai kestabilan (Sugeno) atau overshoot yang lebih rendah (Mamdani).

Secara keseluruhan, hasil perancangan, implementasi, dan pengujian di atas menunjukkan bahwa seluruh tujuan penelitian telah tercapai, yaitu terealisasinya



sistem kontrol dan monitoring kecepatan motor BLDC berbasis ESP32 dan Fuzzy Logic Adaptive yang mampu menjaga kestabilan kecepatan terhadap perubahan beban, dengan metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Sugeno masing-masing menunjukkan keunggulan pada aspek yang berbeda.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan sensor kecepatan dengan resolusi yang lebih tinggi sehingga akurasi pembacaan RPM dapat ditingkatkan.
2. Mengembangkan metode kontrol lain, seperti PID Adaptive, Neural Network, atau Model Predictive Control (MPC), sebagai pembanding terhadap metode Fuzzy Logic Adaptive.
3. Menambahkan fitur monitoring berbasis cloud sehingga data hasil pengujian dapat diakses dari berbagai perangkat secara lebih fleksibel.
4. Mengimplementasikan sistem pada motor BLDC dengan daya yang lebih besar atau pada kendaraan listrik secara langsung sehingga performa sistem dapat diuji pada kondisi operasi yang lebih kompleks.
5. Menambahkan sistem proteksi terhadap arus lebih, suhu motor, dan tegangan baterai agar keandalan serta keamanan sistem meningkat dalam penggunaan jangka panjang.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



DAFTAR PUSTAKA

- Adijati, D. V. (2025). *Rancang bangun sistem kontrol kecepatan motor BLDC berbasis ESP32 menggunakan hybrid PID-fuzzy* [Undergraduate thesis]. Universitas Gadjah Mada.
- Apribowo, C. H. B., Ahmad, M., & Maghfiroh, H. (2021). Fuzzy logic controller and its application in BLDC motor. *Journal of Electrical Engineering Research*, *9*(2), 45–53.
- Åström, K. J., & Murray, R. M. (2021). *Feedback systems: An introduction for scientists and engineers* (2nd ed.). Princeton University Press.
- Barral Vales, V., Fernández, O. C., Domínguez-Bolaño, T., Escudero, C. J., & García-Naya, J. A. (2024). Fine time measurement for the Internet of Things: A practical approach using ESP32. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2401.16517>
- Dorf, R. C., & Bishop, R. H. (2022). *Modern control systems* (14th ed.). Pearson.
- Entezari, M., et al. (2026). Real-time implementation of finite control set model predictive control for BLDC motors with dynamic speed references on ESP32. *IET Power Electronics*. <https://doi.org/10.1049/pel2.70171>
- Espressif Systems. (2023). *ESP32 technical reference manual*. <https://www.espressif.com>
- Gamazo-Real, J. C., Martínez-Martínez, V., & Gómez-Gil, J. (2024). ANN-based position and speed sensorless estimation for BLDC motors. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2402.03534>
- Gamazo-Real, J. C., Vázquez-Sánchez, E., & Gómez-Gil, J. (2024). Position and speed control of brushless DC motors using sensorless techniques and

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

application trends. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2402.05263>

Hercog, D., Lerher, T., Truntić, M., & Težak, O. (2023). Design and implementation of ESP32-based IoT devices. *Sensors*, *23*(15), 6739. <https://doi.org/10.3390/s23156739>

Krishnamoorthy, S. K., Kumar, R., & Prakash, V. (2024). Enhanced speed control for BLDC motors using fuzzy methods. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, *15*(1), 120–130.

Kuo, B. C., & Golnaraghi, F. (2021). *Automatic control systems* (11th ed.). McGraw-Hill.

Majid, A. R. A. (2024). Enhancing BLDC motor speed control by mitigating bias with a variation model filter. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, *15*(9).

Mohanraj, D., Arul david, R., Mohan, M., Vengatesan, K., Sakthivel, V. P., & Mihet-Popa, L. (2022). A review of BLDC motor: State of art, advanced control techniques, and applications. *IEEE Access*, *10*, 54797–54864. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3174641>

Nise, N. S. (2020). *Control systems engineering* (8th ed.). Wiley.

Ogata, K. (2020). *Modern control engineering* (6th ed.). Pearson.

Shenbagalakshmi, R., Mittal, S. K., Subramaniam, J., Vengatesan, V., Manikandan, D., & Ramaswamy, K. (2025). Adaptive speed control of BLDC motors for enhanced electric vehicle performance using fuzzy logic. *Scientific Reports*, *15*. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90957-6>



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Shuraiji, A. L., Rahman, M. A., & Hassan, M. F. (2022). Fuzzy logic control versus PID controller for brushless DC motor speed regulation. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, *12*(4), 3650–3658.

Yenegur, A., & Sasikala, M. (2025). Adaptive fuzzy logic controller for BLDC motor speed control under varying load conditions. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, *17*(1), 55–66.

Zadeh, L. A. (2021). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications* (Reprint ed.). World Scientific.

Zim, M. Z. H. (2021). TinyML: Analysis of Xtensa LX6 microprocessor for neural network applications by ESP32 SoC. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2106.10652>

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1 - Daftar Riwayat hidup



Muhammad Shiddiq Ali

Lahir di Jakarta pada tanggal 8 Januari 2005. Penulis menempuh Pendidikan dasar di SDN 11 Cipete Utara, kemudian melanjutkan Pendidikan di SMPN 13 Jakarta, dan menyelesaikan Pendidikan menengah di SMKN 29 Jakarta. Pada tahun 2023 penulis melanjutkan Pendidikan di Program studi Teknik Elektronika Industri, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta.





Politeknik Negeri Jakarta

Kontrol dan Monitoring Kecepatan Motor BLDC Berbasis Fuzzy Logic Adaptive dan IoT

Disusun Oleh:

1. Rangga Aulia Rusli (2303321083)
2. Nisyirina Nur Karima (230332089)
3. Muhammad Shiddiq Ali (2303321063)

Dosen Pembimbing:

Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197007122001121001



Latar Belakang

Motor BLDC banyak digunakan dalam berbagai peralatan industri. Motor BLDC memiliki karakteristik non linear dan dinamis, sehingga dibutuhkan sistem kontrol yang adaptive terhadap perubahan beban yang dinamis. Sistem IoT diperlukan agar dapat memonitoring dan mengontrol motor secara real-time.

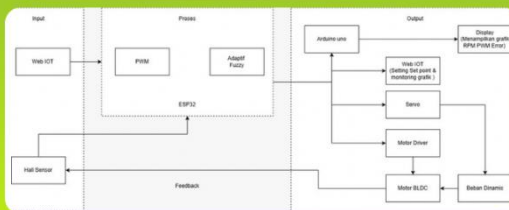
Tujuan

- Merancang dan memodelkan sistem kontrol kecepatan motor BLDC menggunakan metode Fuzzy Logic Adaptive berbasis MATLAB atau Simulink.
- Mengimplementasikan ESP32 sebagai mikrokontroler utama dalam sistem kontrol dan monitoring kecepatan motor BLDC
- Merancang sistem kontrol dan monitoring kecepatan motor BLDC menggunakan IoT secara real-time dan diakses melalui platform web melalui jaringan internet

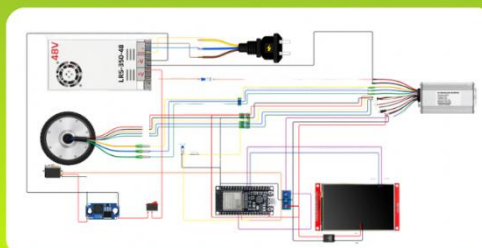
Cara Kerja Alat

1. **Inisialisasi Sistem:** Nyalakan catu daya 48 V. ESP32 melakukan booting, terhubung ke jaringan WiFi, kemudian menghubungkan sistem ke MQTT Broker.
2. **Konfigurasi Monitoring:** Website terhubung ke MQTT dan menampilkan status Online. Pengguna menentukan Setpoint RPM, memilih jenis Fuzzy Logic (Mamdani/Sugeno), dan mengatur level pembebanan.
3. **Kontrol Motor:** Saat tombol Start Motor ditekan, ESP32 mengolah data sensor menggunakan algoritma Fuzzy Logic untuk menghasilkan nilai PWM yang dikirim ke motor controller (ESC).
4. **Monitoring Real-Time:** Data RPM, PWM, error, setpoint, dan kondisi sistem dikirim melalui MQTT, kemudian ditampilkan pada Dashboard Website dan TFT Display secara real-time.
5. **Penyimpanan Data:** Seluruh data monitoring selama pengujian disimpan secara otomatis ke SD Card dalam format CSV sebagai data logging.
6. **Mengakhiri Pengujian:** Tekan tombol Stop Motor, matikan catu daya, kemudian sistem berhenti dan seluruh proses monitoring selesai.

Blok Diagram



Skematik Rangkaian



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Politeknik Negeri Jakarta

SOP PENGGUNAAN ALAT

Kontrol dan Monitoring Kecepatan Motor BLDC Berbasis Fuzzy Logic Adaptive dan IoT

Cara Pengoperasian Alat

1. Pastikan seluruh komponen sistem telah terhubung dengan benar, meliputi Motor BLDC, Motor Controller (ESC), ESP32, TFT Display, SD Card Module, dan Power Supply.
2. Hubungkan Power Supply 48 V 20 A ke stop kontak 220 VAC, kemudian ubah posisi MCB menjadi ON hingga ESP32 melakukan proses booting.
3. Jika ESP32 belum terhubung ke internet, sambungkan perangkat ke WiFi ESP32_BLDC_Config, masukkan password, kemudian pilih jaringan WiFi yang akan digunakan melalui halaman konfigurasi hingga ESP32 terhubung ke internet.
4. Buka Website Dashboard, masuk ke menu Pengaturan Sistem, masukkan data MQTT (Host, Port, Username, dan Password), kemudian tekan Connect hingga status MQTT berubah menjadi Online.
5. Tentukan nilai Setpoint RPM, pilih metode Fuzzy Logic (Mamdani atau Sugeno), serta pilih Level Pembebanan sesuai kebutuhan.
6. Tekan tombol Start Motor untuk menjalankan motor BLDC. ESP32 akan mengendalikan kecepatan motor menggunakan metode Fuzzy Logic berdasarkan parameter yang dipilih.
7. Lakukan monitoring nilai RPM, PWM, Error, Setpoint, dan parameter lainnya melalui Website Dashboard maupun TFT Display. Seluruh data pengujian akan tersimpan secara otomatis ke Micro SD Card dalam format CSV.
8. Apabila diperlukan, ubah nilai Setpoint RPM, metode Fuzzy Logic, atau Level Pembebanan melalui Dashboard tanpa menghentikan sistem.
9. Setelah pengujian selesai, tekan tombol Stop Motor, kemudian tekan Disconnect MQTT hingga status berubah menjadi Offline.
10. Ubah posisi MCB menjadi OFF, cabut kabel Power Supply dari stop kontak 220 VAC, lalu simpan seluruh perangkat dengan aman.

Alat yang Dibutuhkan:

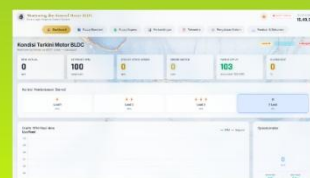
1. Motor BLDC dan Hall Sensor
2. Motor Controller (ESC)
3. ESP32 DevKit V1
4. Arduino Uno R3
5. TFT Display 3.5 Inch
6. SD Card Module dan Micro SD Card
7. Motor Servo MG996R
8. Tromol Kampas Rem
9. DC-DC Step Down LM2596
10. Power Supply 48 V 20 A
11. Laptop/PC
12. Koneksi WiFi
13. Website Dashboard
14. MQTT Broker (HiveMQ Cloud)

QR Code Website



<https://monitoring-bldc-fuzzy.vercel.app/>

Tampilan Website



- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4 – Program Arduino IDE

```
// =====
// ESP32 FULL: MQTT (HIVEMQ) + SD CARD + FUZZY BLDC + UNO +
// PLX-DAQ
// =====
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <time.h> // Library untuk baca jam internet (NTP)

// --- TAMBAHAN LIBRARY UNTUK WIFI MANAGER & OTA ---
#include <WiFiManager.h>
#include <WebServer.h>
#include <ElegantOTA.h>

WebServer server(80); // Objek server untuk portal web

// ===== PINOUT =====
#define ESC_PIN    33
#define HALL_PIN   14
#define SERVO_PIN  25

#define SD_CS      5
#define SD_SCK     18
#define SD_MISO    19
#define SD_MOSI    23

// PIN KOMUNIKASI SERIAL KE UNO
#define RXD2 16
#define TXD2 17

// ===== MQTT (HIVEMQ) =====
const char* MQTT_SERVER =
"cc844c0fd3674e4cb628d1c05794ad09.s1.eu.hivemq.cloud";
const int   MQTT_PORT   = 8883;
const char* MQTT_USER   = "bldcadmin";
const char* MQTT_PASS   = "Bldc_PNJ_123!";
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

WiFiClientSecure espClient;
PubSubClient mqtt(espClient);

// ===== VARIABEL SISTEM =====
const int pwmFreq      = 5000;
const int pwmResolution = 8;
const int pwmStart      = 100;
const int pwmMax        = 255;

float pwmNow      = 0;
float rpmTarget   = 100;
bool motorRunning = false;
String activeFuzzy = "mamdani";

// ===== RPM =====
volatile uint32_t pulseCount = 0;
volatile unsigned long lastMicros = 0;
volatile uint64_t sumPeriod = 0;

float rpmRaw      = 0;
float rpmFiltered = 0;
float rpmSmooth   = 0;
float PPR          = 55.0;

float alphaControl = 0.6f;
float alphaDisplay = 0.35f;

unsigned long lastCalc = 0;
unsigned long lastSend = 0;
const unsigned long sendInterval = 200; // MQTT & SD tetap
cepat

unsigned long lastSendLCD = 0;
const unsigned long sendIntervalLCD = 500; // LCD/Uno lebih
lambat, anti-flicker

bool pwmLocked = false;
float lockedPWM = 0;
unsigned long lockTimer = 0;

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
const float lockError = 1;
const float unlockError = 2;
const unsigned long lockDelay = 1000;

float error = 0;
float deltaError = 0;
float lastError = 0;

unsigned long lastFuzzyTime = 0;
unsigned long fuzzyDelayFar = 500;
unsigned long fuzzyDelayNear = 300;

Servo myServo;
const int SERVO_NETRAL = 90;
const int SERVO_MAJU = 80;
const int SERVO_MUNDUR = 100;

const unsigned long DURASI_LV1 = 2000;
const unsigned long DURASI_LV2 = 2500;
const unsigned long DURASI_LV3 = 3000;

unsigned long posisiSekarang = 0;
String servoLevelStr = "N";
const float FAKTOR_BALIK = 0.55;

unsigned long servoTargetDelay = 0;
unsigned long servoStartTime = 0;
bool isServoMoving = false;

// =====
// MEMBERSHIP FUNCTION
// =====
float trimf(float x, float a, float b, float c){
    if(x<=a) return 0.0f;
    if(x>=c) return 0.0f;
    if(x==b) return 1.0f;
    if(x<b){
        if(b==a) return 1.0f;
        return (x-a)/(b-a);
    }
}
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

    }
    if(c==b) return 1.0f;
    return (c-x)/(c-b);
}

float trapmf(float x, float a, float b, float c, float d) {
    if (x <= a || x >= d) return 0;
    if (x >= b && x <= c) return 1;
    if (x > a && x < b) return (x-a)/(b-a);
    return (d-x)/(d-c);
}

void computeFuzzyInputMF(float error, float deltaError,
float eMF[5], float deMF[5]) {
    eMF[0] = trimf(error, -300, -200, -100);
    eMF[1] = trimf(error, -200, -100, 0);
    eMF[2] = trimf(error, -100, 0, 100);
    eMF[3] = trimf(error, 0, 100, 200);
    eMF[4] = trimf(error, 100, 200, 300);

    deMF[0] = trimf(deltaError, -4000.0f, -2666.7f, -
1333.35f);
    deMF[1] = trimf(deltaError, -2666.7f, -1333.35f, 0.0f);
    deMF[2] = trimf(deltaError, -1333.35f, 0.0f, 1333.35f);
    deMF[3] = trimf(deltaError, 0.0f, 1333.35f, 2666.7f);
    deMF[4] = trimf(deltaError, 1333.35f, 2666.7f, 4000.0f);
}

float fuzzySugeno(float error, float deltaError) {
    float eMF[5], deMF[5];
    computeFuzzyInputMF(error, deltaError, eMF, deMF);

    const float z[9] = {
        -2953.84615384615f, -2400.0f, -1600.0f, -800.0f, 0.0f,
        800.0f, 1600.0f, 2400.0f, 2953.84615384615f
    };

    float num = 0, den = 0;
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
        for (int j = 0; j < 5; j++) {

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

float w = eMF[i] * deMF[j];
int k = i + j;
num += w * z[k];
den += w;
}
}
if (den == 0) return 0;
return num / den;
}

float fuzzyMamdani(float error, float deltaError) {
float eMF[5], deMF[5];
computeFuzzyInputMF(error, deltaError, eMF, deMF);

float outMF[9] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
for (int i = 0; i < 5; i++) {
    for (int j = 0; j < 5; j++) {
        float w = min(eMF[i], deMF[j]);
        int k = i + j;
        if (w > outMF[k]) outMF[k] = w;
    }
}

float numerator = 0, denominator = 0;
for (float x = -3200.0f; x <= 3200.0f; x += 5.0f) {
    float mu = 0, t;
    t = trimf(x, -4000, -3200, -2400); mu = max(mu,
min(outMF[0], t));
    t = trimf(x, -3200, -2400, -1600); mu = max(mu,
min(outMF[1], t));
    t = trimf(x, -2400, -1600, -800); mu = max(mu,
min(outMF[2], t));
    t = trimf(x, -1600, -800, 0); mu = max(mu,
min(outMF[3], t));
    t = trimf(x, -800, 0, 800); mu = max(mu,
min(outMF[4], t));
    t = trimf(x, 0, 800, 1600); mu = max(mu,
min(outMF[5], t));
    t = trimf(x, 800, 1600, 2400); mu = max(mu,
min(outMF[6], t));

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

    t = trimf(x, 1600, 2400, 3200);    mu = max(mu,
min(outMF[7], t));
    t = trimf(x, 2400, 3200, 4000);    mu = max(mu,
min(outMF[8], t));
    numerator += x * mu;
    denominator += mu;
  }
  if (denominator == 0) return 0;
  return numerator / denominator;
}

void IRAM_ATTR hallISR() {
  unsigned long now = micros();
  unsigned long interval = now - lastMicros;
  if (interval > 400) {
    if (interval < 2000000UL) {
      sumPeriod += interval;
      pulseCount++;
    }
    lastMicros = now;
  }
}

void gerakKeTarget(unsigned long target) {
  long selisih = target - posisiSekarang;
  if (selisih == 0) return;
  if (selisih > 0) {
    myServo.write(SERVO_MAJU);
    servoTargetDelay = selisih;
  } else {
    myServo.write(SERVO_MUNDUR);
    servoTargetDelay = abs(selisih) * FAKTOR_BALIK;
  }
  servoStartTime = millis();
  isServoMoving = true;
  posisiSekarang = target;
}

void handleServo() {

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

if (isServoMoving && (millis() - servoStartTime >=
servoTargetDelay)) {
    myServo.write(SERVO_NETRAL);
    isServoMoving = false;
}
}

void setupWiFi() {
    Serial.println("Memulai WiFiManager...");
    WiFiManager wm;
    if (!wm.autoConnect("ESP32_BLDC_Config", "Admin123")) {
        Serial.println("Gagal terhubung ke WiFi dan timeout.
Merestart...");
        ESP.restart();
        delay(1000);
    }

    Serial.println("\n--- WIFI TERHUBUNG! ---");
    Serial.print("IP Address ESP32: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());

    configTime(7 * 3600, 0, "pool.ntp.org", "time.nist.gov");

    server.on("/", []() {
        server.send(200, "text/plain", "Sistem Motor BLDC Aktif.
Tambahkan /update pada URL untuk mengunggah program baru.");
    });

    ElegantOTA.begin(&server);
    server.begin();
}

void mqttCallback(char* topic, byte* payload, unsigned int
length) {
    String msg;
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        msg += (char)payload[i];
    }
    msg.trim();
    String t = String(topic);

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

if (t == "bldc/control/start") {
  if (msg == "1") {
    noInterrupts();
    pulseCount = 0;
    sumPeriod = 0;
    lastMicros = micros();
    interrupts();
    rpmRaw = 0; rpmFiltered = 0; rpmSmooth = 0;
    error = 0; deltaError = 0; lastError = 0;
    motorRunning = true;
    pwmNow = pwmStart;
  }
} else if (t == "bldc/control/stop") {
  if (msg == "1") {
    motorRunning = false;
    pwmNow = 0;
    ledcWrite(ESC_PIN, 0);
  }
} else if (t == "bldc/control/setpoint") {
  rpmTarget = msg.toFloat();
} else if (t == "bldc/control/fuzzy") {
  activeFuzzy = msg;
  activeFuzzy.toLowerCase();
} else if (t == "bldc/control/level") {
  if (msg == "N" || msg == "n") {
    gerakKeTarget(0); servoLevelStr = "N";
  } else if (msg == "1") {
    gerakKeTarget(DURASI_LV1); servoLevelStr = "1";
  } else if (msg == "2") {
    gerakKeTarget(DURASI_LV2); servoLevelStr = "2";
  } else if (msg == "3") {
    gerakKeTarget(DURASI_LV3); servoLevelStr = "3";
  }
}

void reconnectMQTT() {
  while (!mqtt.connected()) {

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
String clientId = "ESP32_BLDC_" + String(random(0xffff),
HEX);
if (mqtt.connect(clientId.c_str(), MQTT_USER, MQTT_PASS)) {
    mqtt.subscribe("bldc/control/#");
    mqtt.publish("bldc/status/ip",
WiFi.localIP().toString().c_str());
} else {
    delay(5000);
}
}

String getTimeStr() {
    struct tm timeinfo;
    if (!getLocalTime(&timeinfo)) {
return String(millis());
    }
    char timeStringBuff[50];
    strftime(timeStringBuff, sizeof(timeStringBuff),
"%H:%M:%S", &timeinfo);
return String(timeStringBuff);
}

void setupSD() {
    SPI.begin(SD_SCK, SD_MISO, SD_MOSI, SD_CS);
    if (!SD.begin(SD_CS)) {
        Serial.println("=====");
        Serial.println("CRITICAL: SD Card Gagal Dimuat!");
        Serial.println("=====");
        return;
    }
    Serial.println("SD Card Berhasil Dimuat.");

    File file = SD.open("/datalog.csv", FILE_APPEND);
    if (!file) {
        file = SD.open("/datalog.csv", FILE_WRITE);
        file.println("Waktu,RPM,Setpoint,PWM>Error,Tipe_Fuzzy,Le
vel_Beban");
    }
    file.close();
}
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

}

void logSD(String dataCSV) {
    File file = SD.open("/datalog.csv", FILE_APPEND);
    if (file) {
        file.println(getTimeStr() + "," + dataCSV);
        file.flush();
        file.close();
    }
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    Serial.println("CLEARDATA");
    Serial.println("LABEL,Waktu,RPM,Setpoint,PWM>Error,Tipe_Fuzz
y,Level_Beban");

    Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RXD2, TXD2);

    pinMode(HALL_PIN, INPUT);
    attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(HALL_PIN), hallISR,
    RISING);

    ledcAttach(ESC_PIN, pwmFreq, pwmResolution);
    ledcWrite(ESC_PIN, 0);

    ESP32PWM::allocateTimer(3);
    myServo.setPeriodHertz(50);
    myServo.attach(SERVO_PIN, 500, 2500);
    myServo.write(SERVO_NETRAL);

    setupWiFi();
    espClient.setInsecure();
    mqtt.setServer(MQTT_SERVER, MQTT_PORT);
    mqtt.setCallback(mqttCallback);

    setupSD();
}

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
void readRPM() {
  if (millis() - lastCalc >= 100) {
    noInterrupts();
    uint32_t count = pulseCount;
    uint64_t sumP = sumPeriod;
    pulseCount = 0;
    sumPeriod = 0;
    interrupts();

    if (count > 0) {
      float avgPeriodUs = (float)sumP / (float)count;
      rpmRaw = 6000000.0f / (avgPeriodUs * PPR);
    } else {
      noInterrupts();
      unsigned long lastPulseAt = lastMicros;
      interrupts();
      unsigned long sinceLastPulse = micros() -
lastPulseAt;

      if (sinceLastPulse > 500000UL) {
        rpmRaw = 0;
      }
    }

    rpmFiltered =
      alphaControl * rpmRaw +
      (1.0f - alphaControl) * rpmFiltered;

    rpmSmooth =
      alphaDisplay * rpmFiltered +
      (1.0f - alphaDisplay) * rpmSmooth;

    lastCalc = millis();
  }
}

void updatePWM() {
  if (!motorRunning) {
    ledcWrite(ESC_PIN, 0);
    return;
  }
}
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

    }

    error = rpmTarget - rpmFiltered;

    if (abs(error) <= 3)
        error = 0;

    deltaError = error - lastError;
    lastError = error;

    float errorFuzzy      = constrain(error, -200.0f, 200.0f);
    float deltaErrorFuzzy = constrain(deltaError, -2666.7f,
    2666.7f);

    if (!pwmLocked) {
        if (abs(error) < lockError) {
            if (lockTimer == 0) lockTimer = millis();
            if (millis() - lockTimer >= lockDelay) {
                pwmLocked = true;
                lockedPWM = pwmNow;
            }
        } else {
            lockTimer = 0;
        }
    } else {
        if (abs(error) > unlockError || error < -lockError) {
            pwmLocked = false;
            lockTimer = 0;
        } else {
            ledcWrite(ESC_PIN, (int)lockedPWM);
            return;
        }
    }

    if (abs(error) <= 3) {
        if (millis() - lastFuzzyTime < fuzzyDelayNear) return;
    } else {
        if (millis() - lastFuzzyTime < fuzzyDelayFar) return;
    }
  }
}

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
float out;

if (activeFuzzy == "mamdani")
    out = fuzzyMamdani(errorFuzzy, deltaErrorFuzzy);
else
    out = fuzzySugeno(errorFuzzy, deltaErrorFuzzy);

float gain;

if (error < -100)
    gain = 0.60f;
else if (error < -50)
    gain = 0.40f;
else if (error < -20)
    gain = 0.20f;
else if (error > 100)
    gain = 0.30f;
else if (error > 50)
    gain = 0.20f;
else if (error > 20)
    gain = 0.10f;
else
    gain = 0.02f;

float deltaPWM = gain * out;

float maxStep;

if (error < -20)
    maxStep = 4.0f;
else if (error < -10)
    maxStep = 2.5f;
else if (error < -5)
    maxStep = 1.5f;
else if (error > 20)
    maxStep = 2.5f;
else if (error > 10)
    maxStep = 1.5f;
else if (error > 5)
    maxStep = 1.0f;
```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

else
    maxStep = 0.5f;

deltaPWM = constrain(deltaPWM, -maxStep, maxStep);

if(pwmNow >= pwmMax && deltaPWM > 0) deltaPWM = 0;
if(pwmNow <= pwmStart && deltaPWM < 0) deltaPWM = 0;

pwmNow += deltaPWM;
pwmNow = constrain(pwmNow, (float)pwmStart,
(float)pwmMax);

lastFuzzyTime = millis();
ledcWrite(ESC_PIN, (int)pwmNow);
}

void sendDataAndLog() {
if (millis() - lastSend >= sendInterval) {
    lastSend = millis();

    String mqttPayload = String(rpmSmooth, 1) + "," +
String(pwmNow, 1)      + "," +
String(error, 1)       + "," +
servoLevelStr          + "," +
String(rpmTarget, 0) + "," +
String(motorRunning ? "1" : "0") + "," +
activeFuzzy;

    String dataCSV = String(rpmSmooth, 1) + "," +
String(rpmTarget, 1) + "," +
String(pwmNow, 1) + "," +
String(error, 1) + "," +
activeFuzzy + "," +
servoLevelStr;

    if (mqtt.connected()) {
        mqtt.publish("bldc/data/telemetry",
mqttPayload.c_str());
        mqtt.publish("bldc/status/heartbeat", "1");
    }
}
}

```



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```

    mqtt.publish("bldc/status/ip",
WiFi.localIP().toString().c_str());
}

logSD(dataCSV);

Serial.println("DATA," + getTimeStr() + "," + dataCSV);
}

if (millis() - lastSendLCD >= sendIntervalLCD) {
    lastSendLCD = millis();

    String unoLevel = (servoLevelStr == "N") ? "0" :
servoLevelStr;
    String unoPayload = String(rpmSmooth, 1) + "," +
String(pwmNow, 0) + "," +
String(error, 1) + "," +
unoLevel;
    Serial2.println(unoPayload);
}
}

void loop() {
    server.handleClient();
    ElegantOTA.loop();

    if (!mqtt.connected()) reconnectMQTT();
    mqtt.loop();

    readRPM();
    updatePWM();
    handleServo();
    sendDataAndLog();

    delay(10);
}

```