



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



**TRAINER KIT KENDALI MOTOR DC DUAL – CONTROL
PID – FUZZY BERBASIS ESP32 DAN VISUALISASI
DIGITAL TWIN 3D**

TUGAS AKHIR

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Zulhelmi Syahtiar

2303321047

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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**PERANCANGAN WEB MONITORING DAN VISUALISASI
DIGITAL TWIN 3D BERBASIS REAL-TIME DATABASE
PADA TRAINER KIT**

TUGAS AKHIR

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

Zulhelmi Syahtiar
2303321047
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas akhir ini merupakan hasil karya saya sendiri, dan semua sumber, baik yang dikutip maupun yang dirujuk, telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Zulhelmi Syahtiar

NIM : 2303321047

Tanda Tangan : 

Tanggal : Senin, 29 Juni 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir diajukan oleh

Nama : Zulhelmi Syahtiar

NIM : 2303321047

Program Studi : Elektronika Industri

Judul Tugas Akhir : *Trainer Kit Kendali Motor DC Dual – Control
PID – Fuzzy Berbasis ESP32 dengan Visualisasi
Digital Twin 3D*

Sub Judul Tugas Akhir : *Perancangan Web Monitoring Dan Visualisasi
Digital Twin 3D Berbasis Real-Time Database Pada
Trainer Kit.*

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 29 Juni 2026 dan dinyatakan **LULUS**.

Pembimbing I : Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D. ()

NIP.197007122001121001

Depok, 29 Juni 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Diploma Tiga.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak sejak masa perkuliahan hingga penyusunan Tugas Akhir ini, laporan ini tidak akan dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Murie Dwiyaniti, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Ihsan Auditia Akhinov, S.T., M.T., Selaku Kepala Program Studi Elektronika Industri Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Nana Sutarna, S.T., M.T., Ph.D. Selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikirannya untuk membimbing serta mendukung saya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan bantuan dan dukungan semangat sehingga laporan ini dapat diselesaikan.
5. Teman-teman kelas EC6B Angkatan 2023 yang telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan kuliah penulis.
6. Teman-teman “Padepokan Dimas Kanjeng”, yaitu Ghani, Dhifka, Revaldi, Tiar, dan Hasyim, yang telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan kuliah penulis.
7. Teman-teman *Discord* “HEHE”, yaitu Betran, Ara, Haris, Hanif, Arkhi, dan Ummi, yang senantiasa mendukung serta memberi semangat dari jauh kepada penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini.
8. Teman-teman *online* penulis, yaitu Josh dan Pima, yang senantiasa memberikan semangat dan dukungan tiada henti kepada penulis dalam proses mengerjakan tugas akhir ini.



© 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

9. Teman-teman SMA penulis, khususnya Wawa, Genta, dan Emil, atas segala bantuan dan semangat yang diberikan selama penulis menghadapi berbagai kesulitan.
10. Ghani Putra Nuari serta Tiar Rizky Budiyo sebagai rekan satu tim yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

Akhir kata, penulis berharap kepada Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini dan jauh dari kata sempurna, sehingga penulis sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun dari pembaca sekalian. Semoga Laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan kemajuan bidang Teknik Elektro di Indonesia.

Depok, 29 Juni 2026

Zulhelmi Syahtiar

**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

Trainer Kit Kendali Motor DC Dual – Control PID – Fuzzy Berbasis ESP32 Dan Visualisasi Digital Twin 3D

ABSTRAK

Perkembangan teknologi *Internet of Things (IoT)* dan *digital twin* memberikan peluang untuk meningkatkan efektivitas media pembelajaran pada bidang sistem kendali melalui proses *monitoring* dan pengendalian secara *real-time*. Namun, media praktikum yang digunakan pada pembelajaran sistem kendali umumnya masih memiliki keterbatasan dalam visualisasi kondisi sistem, pemantauan jarak jauh, serta interaksi pengguna untuk melakukan pengamatan dan *tuning* parameter kendali. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan *website monitoring* berbasis *IoT* yang terintegrasi dengan *digital twin* tiga dimensi pada *trainer kit* Kendali Motor DC Dual-Control PID-Fuzzy berbasis ESP32 sebagai media pembelajaran sistem kendali yang interaktif. Metode penelitian meliputi perancangan dan implementasi *website*, pengembangan *digital twin* menggunakan Three.js, implementasi komunikasi data melalui Firebase Realtime Database, serta pengujian fungsi, komunikasi, dan performa sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh fungsi *website* berhasil diimplementasikan sesuai kebutuhan sistem. Komunikasi data antara ESP32 dan *website* memperoleh rata-rata latensi sebesar 23,7 ms, sedangkan *digital twin* mampu merepresentasikan kondisi *trainer kit* secara sinkron pada rentang kecepatan 25–250 RPM dengan performa visualisasi rata-rata 58 FPS. Selain itu, pengguna dapat melakukan pengaturan *setpoint* dan *tuning* parameter PID secara langsung melalui model tiga dimensi, serta memanfaatkan Mode Simulasi untuk mempelajari karakteristik respons sistem tanpa memerlukan perangkat keras. Berdasarkan hasil pengujian, sistem yang dikembangkan berhasil memenuhi tujuan penelitian sebagai media pembelajaran sistem kendali yang interaktif, responsif, dan mampu mendukung kegiatan praktikum secara *real-time*.

Kata kunci: *Digital Twin, ESP32, Firebase Realtime Database, Internet of Things, Motor DC, Website Monitoring.*

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

Dual DC Motor Control Trainer Kit – PID Control – Fuzzy Based On ESP32 And Digital Twin 3D Visualization

ABSTRACT

The advancement of Internet of Things (IoT) and digital twin technologies has created new opportunities to improve learning media in control systems through real-time monitoring and control. However, conventional laboratory media for control systems often have limitations in system visualization, remote monitoring, and user interaction for observing system responses and performing controller parameter tuning. This study aims to design and implement an IoT-based website integrated with a three-dimensional digital twin for the ESP32-based Dual-Control PID-Fuzzy DC Motor trainer kit as an interactive learning medium for control systems. The research methodology includes website development, digital twin implementation using Three.js, data communication through Firebase Realtime Database, and functional, communication, and performance testing. The results demonstrate that all website functions were successfully implemented according to the system requirements. Communication between the ESP32 and the website achieved an average latency of 23.7 ms, while the digital twin accurately represented the physical trainer kit within a speed range of 25–250 RPM with an average rendering performance of 58 FPS. Furthermore, users can adjust the setpoint and tune PID parameters directly through the three-dimensional model, as well as utilize the Simulation Mode to study system responses without requiring physical hardware. Based on the experimental results, the developed system successfully achieved the research objectives as an interactive, responsive, and real-time learning medium for control systems laboratory activities.

Keywords: Digital Twin, ESP32, Firebase Realtime Database, Internet of Things, DC Motor, Monitoring Website.

**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 ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR RUMUS	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Luaran	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>State of The Art</i>	5
2.2 <i>Antarmuka Web Monitoring</i>	6
2.3 <i>Firestore Realtime Database</i>	6
2.4 <i>Firestore Hosting</i>	7
2.5 <i>Teknologi Digital Twin 3D</i>	8
2.6 <i>Three.js sebagai Pendukung Visualisasi Digital Twin 3D</i>	9
2.7 <i>Chart.js dan Visualisasi Data Real-time</i>	10
2.8 <i>Mikrokontroler ESP32</i>	11
2.9 <i>Dual-Mode Operasi: Mode ESP32 dan Mode Simulasi</i>	11
2.9.1 <i>Mode ESP32 (Hardware Mode)</i>	12
2.9.2 <i>Mode Simulasi (Simulation Mode)</i>	12
2.10 <i>Model Dinamika Motor untuk Mode Simulasi</i>	12
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....	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

3.1 Deskripsi Umum Sistem	14
3.2 Rancangan Alat	14
3.2.1 Deskripsi Alat	14
3.2.2 Spesifikasi Alat	15
3.2.3 Diagram Blok	16
3.2.4 Cara Kerja Alat	17
3.2.5 Flowchart	18
3.3 Realisasi Alat	21
3.3.1 Realisasi Antarmuka Pengguna (<i>User Interface</i>)	21
3.3.2 Realisasi Grafik <i>Real-Time</i>	22
3.3.3 Realisasi Logika Kontrol	23
3.3.4 Realisasi <i>Digital Twin 3D</i>	26
3.3.5 Realisasi Infrastruktur Komunikasi Data	28
3.3.6 Realisasi Integrasi Data Trainer Kit dan <i>Website Monitoring</i>	30
3.3.7 Implementasi Keamanan Website	31
3.3.8 Realisasi Fitur Pendukung	32
3.3.9 Struktur Berkas dan Deployment	34
BAB IV PEMBAHASAN	36
4.1 Pengujian Fungsional Sistem	36
4.1.1 Deskripsi Pengujian	36
4.1.2 Prosedur Pengujian	37
4.1.3 Data Hasil Pengujian	37
4.1.4 Analisis Data/Evaluasi	38
4.2 Pengujian Komunikasi Firebase Realtime Database	38
4.2.1 Deskripsi Pengujian	39
4.2.2 Prosedur Pengujian	39
4.2.3 Data Hasil Pengujian Fungsi Komunikasi Firebase	40
4.2.4 Analisis Data / Evaluasi Fungsi Komunikasi Firebase	40
4.2.5 Data Hasil Pengujian Latensi Komunikasi Firebase	41
4.2.6 Analisis Data / Evaluasi Latensi Komunikasi	42
4.3 Pengujian <i>Digital Twin 3D</i>	42
4.3.1 Deskripsi Pengujian	43
4.3.2 Prosedur Pengujian	43
4.3.3 Data Hasil Pengujian	44
4.3.4 Analisis Data / Evaluasi	45
4.4 Pengujian Mode Simulasi	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

4.4.1 Deskripsi Pengujian	46
4.4.2 Prosedur Pengujian	47
4.4.3 Data Hasil Pengujian.....	47
4.4.4 Analisis Data / Evaluasi	49

BAB V PENUTUP	51
----------------------------	-----------

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	52

DAFTAR PUSTAKA	53
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	55
----------------------	-----------





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 TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu (State of The Art).....	5
Tabel 3.1 Spesifikasi Perangkat Lunak.....	15
Tabel 4.1 Data hasil pengujian Fungsional sistem.....	37
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Fungsi Komunikasi Firebase	40
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Latensi Komunikasi Firebase	41
Tabel 4.4 Rekapitulasi Latensi Komunikasi	41
Tabel 4.5 Hasil Pengujian <i>Digital Twin</i> 3D	44
Tabel 4.6 Pengujian Sinkronisasi RPM dan Rotasi <i>Digital Twin</i>	44
Tabel 4.7 Matriks Parameter Setpoint RPM terhadap Kondisi Putaran Model Motor.....	44
Tabel 4.8 Rekapitulasi FPS <i>Digital Twin</i>	45
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Mode Simulasi.....	47

**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 Firebase	6
Gambar 2.2 Firebase Hosting.....	7
Gambar 2.3 Three.js	9
Gambar 2.4 Mikrokontroler ESP32	11
Gambar 3.1 Blok Diagram Sistem	16
Gambar 3.2 Flowchart Mode ESP32	19
Gambar 3.3 Flowchart Mode Simulasi	20
Gambar 3.4 Panel Antarmuka Pengguna	22
Gambar 3.5 Grafik respons sistem	23
Gambar 3.6 <i>Digital Twin</i> 3D.....	27
Gambar 4.1 Pengujian parameter awal PID pada Mode Simulasi.....	48
Gambar 4.2 Pengujian skenario 1 pada Mode Simulasi.	48
Gambar 4.3 Pengujian skenario 2 pada Mode Simulasi.	48
Gambar 4.4 Pengujian skenario 3 pada Mode Simulasi.	49
Gambar 4.5 Pengujian Optimasi Parameter pada Mode Simulasi.....	49

**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 LAMPIRAN

L- 1 Daftar Riwayat Hidup	55
L- 2 Dokumentasi Alat.....	56
L- 3 Tampilan Web Monitoring.....	57
L- 4 Struktur Kode Program Website	59
L- 5 Kode Program Integrasi Sistem Website Main.js	60
L- 6 Kode Program Implementasi PIDController.js	63
L- 7 Kode Program Implementasi FuzzyLogic.js.....	64
L- 8 Kode Program Implementasi MotorPhysics.js.....	67
L- 9 Kode Program Implementasi Visualizer3D.js.....	68
L- 10 Kode Program Implementasi ReportGenerator.js	71
L- 11 Poster dan SOP.....	75
L- 12 Datasheet Motor DC JGA25	78
L- 14 Datasheet ESP32	81

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



DAFTAR RUMUS

(2.1) Transfer Function	12
(2.2) Persamaan Diferensial Orde Pertama	13
(2.3) Persamaan Rekursif.....	13
(3.1) Persamaan Putaran <i>Digital Twin</i> 3D	27
(3.2) Persamaan Kecepatan Rotasi Roda	27



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

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

Perkembangan Industri 4.0 telah mendorong integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT), komputasi awan (*cloud computing*), dan visualisasi data *real-time* ke berbagai sektor industri modern. Transformasi digital tersebut juga berdampak pada dunia pendidikan vokasi yang dituntut untuk menghasilkan sumber daya manusia yang mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi industri berbasis digital. Oleh karena itu, proses pembelajaran tidak hanya berfokus pada pemahaman konsep teoritis, tetapi juga perlu didukung oleh media pembelajaran yang mampu merepresentasikan kondisi sistem industri secara nyata dan interaktif (Witczak & Szymoniak, 2024).

Pada bidang sistem kendali, motor arus searah (*Direct Current/DC Motor*) merupakan salah satu objek pembelajaran yang banyak digunakan karena karakteristiknya yang mudah diamati dan diterapkan dalam berbagai aplikasi industri. Metode kendali *Proportional-Integral-Derivative* (PID) dan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) merupakan dua metode yang umum digunakan dalam pengendalian kecepatan motor DC. PID banyak diterapkan karena memiliki struktur yang sederhana, mudah diimplementasikan, dan mampu menghasilkan respons sistem yang stabil. Sementara itu, *Fuzzy Logic Controller* memiliki kemampuan beradaptasi terhadap sistem nonlinier melalui pendekatan berbasis aturan (*rule base*) yang meniru proses penalaran manusia (Diono et al., 2025).

Berdasarkan observasi di Laboratorium Elektronika Industri Politeknik Negeri Jakarta, proses pembelajaran sistem kendali masih memiliki beberapa keterbatasan. Pembelajaran umumnya masih bergantung pada simulasi perangkat lunak konvensional yang belum sepenuhnya memberikan pengalaman interaktif yang mencerminkan kondisi aktual sistem. Selain itu, belum tersedia media pembelajaran berbasis website yang mampu mengintegrasikan sistem monitoring, visualisasi data, dan interaksi pengguna secara terpadu. Kondisi tersebut menyebabkan mahasiswa belum memperoleh pengalaman pembelajaran yang mendekati implementasi sistem industri modern berbasis digital.

Perkembangan teknologi *website monitoring* memberikan peluang untuk mengatasi keterbatasan tersebut. *Website monitoring* memungkinkan data operasional sistem ditampilkan secara *real-time* melalui antarmuka yang dapat diakses dari berbagai perangkat tanpa batasan lokasi. Selain berfungsi sebagai media monitoring, *website* juga dapat



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

digunakan sebagai media pembelajaran interaktif melalui penyajian grafik, pengaturan parameter kendali, serta analisis performa sistem (Fatimah et al., 2021).

Selain kebutuhan pemantauan data secara *real-time*, perkembangan teknologi visualisasi digital juga mendorong pemanfaatan konsep *Digital Twin* sebagai media pembelajaran interaktif. *Digital Twin* merupakan representasi virtual dari objek fisik yang diperbarui secara berkelanjutan berdasarkan data aktual sehingga mampu merepresentasikan kondisi sistem nyata secara dinamis (Iliuță et al., 2024). Teknologi ini memungkinkan pengguna memahami hubungan antara sistem fisik dan model virtual secara lebih intuitif melalui visualisasi tiga dimensi yang sinkron dengan kondisi aktual sistem.

Berdasarkan hasil penelusuran literatur yang telah dilakukan, penelitian yang mengintegrasikan monitoring komparatif dua metode kendali, visualisasi *Digital Twin* 3D, dan mode pembelajaran mandiri berbasis *website* ke dalam satu platform terintegrasi masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang *website monitoring* dan visualisasi *Digital Twin* 3D berbasis *real-time database* pada *trainer kit* kendali motor DC *dual-control* PID-Fuzzy. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan media pembelajaran yang lebih interaktif, adaptif, dan sesuai dengan kebutuhan pendidikan vokasi di era transformasi digital.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, rumusan masalah dari sub-sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan mengembangkan *website monitoring* berbasis *real-time database* yang mampu menampilkan grafik komparatif kinerja kontroler PID dan *Fuzzy Logic Controller* secara simultan?
2. Bagaimana mengimplementasikan dua mode operasi, yaitu Mode ESP32 dan Mode Simulasi, pada platform *website* agar dapat digunakan baik saat terhubung dengan perangkat keras maupun secara virtual?
3. Bagaimana merancang dan mengintegrasikan visualisasi *Digital Twin* 3D *trainer kit* motor DC pada *website* agar dapat bergerak sinkron dengan kondisi sistem aktual?



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. Bagaimana mengintegrasikan komunikasi data antara *trainer kit* dan *website monitoring* agar proses visualisasi dan monitoring dapat berlangsung secara *real-time*?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan lebih terarah dan tidak meluas, batasan masalah dari sub-sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian berfokus pada pengembangan perangkat lunak berupa *website monitoring* dan visualisasi *Digital Twin 3D*, serta tidak membahas perancangan perangkat keras *trainer kit* secara rinci.
2. Visualisasi *Digital Twin 3D* dikembangkan menggunakan geometri primitif berbasis *Three.js* dan tidak menggunakan model CAD eksternal.
3. Data yang ditampilkan pada website dibatasi pada nilai kecepatan motor, nilai PWM, parameter kendali, dan status sistem.
4. Mode simulasi menggunakan model matematika motor DC orde pertama yang disederhanakan dan tidak merepresentasikan seluruh karakteristik dinamis motor fisik secara presisi.
5. Infrastruktur *website* menggunakan *Firebase Realtime Database* sebagai media komunikasi data dan *Firebase Hosting* sebagai media publikasi *website* tanpa menggunakan server *middleware* tambahan.

1.4 Tujuan

Tujuan dari Perancangan sub-sistem ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan *website monitoring* berbasis *real-time database* yang mampu menampilkan grafik komparatif respons sistem PID dan *Fuzzy Logic Controller* secara simultan.
2. Mengimplementasikan fitur *dual-mode operation*, yaitu Mode ESP32 dan Mode Simulasi, pada platform *website*.
3. Mengembangkan visualisasi *Digital Twin 3D* yang terintegrasi dengan *website monitoring* dan mampu memperbarui kondisi sistem secara *real-time*.
4. Memastikan kinerja sistem komunikasi data, kesesuaian visualisasi *Digital Twin 3D* dengan alat fisik, serta fungsionalitas seluruh fitur yang tersedia di *website* berjalan dengan baik.

1.5 Luaran

Luaran yang dihasilkan dari perancangan sub-sistem ini adalah sebagai berikut:



© 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

1. *Website monitoring trainer kit* motor DC yang dapat diakses melalui *browser* dan mendukung dua mode operasi, yaitu Mode ESP32 dan Mode Simulasi.
2. Visualisasi *Digital Twin 3D trainer kit* motor DC yang terintegrasi dengan *website* dan mampu memperbarui kondisi sistem secara *real-time*.
3. Laporan tugas akhir yang mendokumentasikan proses perancangan, implementasi, dan pengujian *website monitoring* serta visualisasi *Digital Twin 3D*.



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 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. *Website* monitoring berbasis *Internet of Things* berhasil dirancang dan diimplementasikan sehingga mampu melakukan proses *monitoring* kondisi *trainer kit* secara *real-time*. Selain menampilkan grafik respons sistem, *website* juga menyediakan fitur *data logging*, pembuatan laporan praktikum, serta berbagai fitur pendukung pembelajaran. Berdasarkan hasil pengujian fungsional, seluruh fitur yang dikembangkan telah beroperasi sesuai dengan kebutuhan sistem.
2. *Digital twin* berhasil dikembangkan sebagai representasi virtual dari *trainer kit* yang mampu menampilkan kondisi sistem secara sinkron pada rentang kecepatan 25–250 RPM. Selain berfungsi sebagai media visualisasi, *digital twin* juga mendukung interaksi pengguna untuk melakukan pengaturan *setpoint* dan *tuning* parameter PID melalui model tiga dimensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *digital twin* memiliki performa visualisasi dengan rata-rata 58 FPS, sehingga mampu memberikan pengalaman visual yang lancar dan mendukung proses pembelajaran secara interaktif.
3. Sistem komunikasi data antara ESP32, *Firestore Realtime Database*, dan *website* berhasil diimplementasikan sehingga proses pertukaran data dapat berlangsung secara *real-time*. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh rata-rata latensi komunikasi sebesar 23,7 ms, yang menunjukkan bahwa proses sinkronisasi data berlangsung dengan cepat sehingga mampu mendukung kegiatan *monitoring* dan pengendalian sistem secara responsif.
4. *Mode Simulasi* berhasil diimplementasikan sebagai media pembelajaran sistem kendali yang memungkinkan pengguna mempelajari karakteristik respons sistem serta melakukan pengujian parameter PID tanpa memerlukan *trainer kit* secara langsung. Fitur ini memberikan alternatif pembelajaran yang lebih fleksibel sekaligus mengurangi risiko kesalahan pengoperasian perangkat selama proses praktikum.

Secara keseluruhan, hasil perancangan, implementasi, dan pengujian menunjukkan bahwa *website* monitoring berbasis *Internet of Things* yang



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

terintegrasi dengan *digital twin* telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu menyediakan media pembelajaran sistem kendali yang interaktif, mampu melakukan *monitoring* dan pengendalian secara *real-time*, serta mendukung pelaksanaan kegiatan praktikum menggunakan *trainer kit* berbasis ESP32 secara lebih efektif.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Model *Digital Twin* 3D dapat dikembangkan menggunakan model CAD yang lebih detail agar representasi visual *trainer kit* menjadi lebih realistis.
2. Infrastruktur komunikasi data dapat dikembangkan menggunakan mekanisme komunikasi lain, seperti MQTT, untuk dibandingkan dengan performa *Firebase Realtime Database*.
3. Fitur optimasi parameter PID dapat dikembangkan menggunakan algoritma optimasi yang sebenarnya, seperti *Ziegler-Nichols*, *Cohen-Coon*, atau algoritma berbasis kecerdasan buatan.
4. Model dinamika motor pada Mode Simulasi dapat dikembangkan menggunakan model matematika yang lebih kompleks agar karakteristik simulasi semakin mendekati kondisi aktual sistem fisik.
5. *Website monitoring* dapat dikembangkan menjadi platform pembelajaran multi-perangkat yang mendukung integrasi dengan lebih banyak *trainer kit* di laboratorium pendidikan vokasi.



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

- Diono, Pratama, Y. R., & Setya Kitton, B. K. (2025). Perbandingan metode PID dan Fuzzy Logic Control dalam sinkronisasi dua motor DC. *JURNAL INTEGRASI*, 17(2). <https://doi.org/10.30871/ji.v17i2.11036>
- Fatimah, Q. I., Marselino, R., & Asnil, A. (2021). Web-Based DC Motor Speed Design and Control. *MOTIVATION : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 3(3). <https://doi.org/10.46574/motivaction.v3i3.99>
- Hidayat, R., Basyir, M., Kamal, M., Dewi, A. F., & Ramzil Akbar, M. (2026). Kendali Digital Dual-Mode Berbasis Esp32 untuk Pengendalian Posisi dan Kecepatan Motor DC. *Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 23(1). <https://doi.org/10.30811/litek.v23i1.96>
- Iliuță, M. E., Moisescu, M. A., Pop, E., Ionita, A. D., Caramihai, S. I., & Mitulescu, T. C. (2024). Digital Twin—A Review of the Evolution from Concept to Technology and Its Analytical Perspectives on Applications in Various Fields. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/app14135454>
- Li, C., Li, Z., Gao, Y., & Yuan, S. (2024). 3D visualization techniques based on Three.js and Quasar framework for digital twin systems. <https://doi.org/10.1117/12.3035921>
- Prayoga, M. W. P. (2025). SISTEM MONITORING DAN PENGELOLAAN SAMPAH BERBASIS IOT DAN CLOUD MENGGUNAKAN GOOGLE FIREBASE PADA TEMPAT SAMPAH PINTAR. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.7175>
- Santos, J. F. D., Tshoombe, B. K., Santos, L. H. B., Araujo, R. C. F., Manito, A. R. A., Fonseca, W. S., & Silva, M. O. (2023). Digital Twin-Based Monitoring System of Induction Motors Using IoT Sensors and Thermo-Magnetic Finite Element Analysis. *IEEE Access*, 11. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3232063>
- Supriyono, H., Alanro, F. F., & Supardi, A. (2024). Development of DC Motor Speed Control Using PID Based on Arduino and Matlab For Laboratory Trainer. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 13(1). <https://doi.org/10.25077/jnte.v13n1.1155.2024>
- Witczak, D., & Szymoniak, S. (2024). Review of Monitoring and Control Systems Based on Internet of Things. In *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 14, Number 19). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/app14198943>
- Yao, J. F., Yang, Y., Wang, X. C., & Zhang, X. P. (2023). Systematic review of digital twin technology and applications. In *Visual Computing for Industry*,

Biomedicine, and Art (Vol. 6, Number 1). <https://doi.org/10.1186/s42492-023-00137-4>



© 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





© 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

L- 1 Daftar Riwayat Hidup



ZULHELMI SYAHTIAR

Anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Jakarta, 14 Februari 2004. Lulus dari SDN Pondok Ronggon 01 Pagi tahun 2016, SMPN 64 Jakarta tahun 2019, dan SMA 64 Jakarta tahun 2022. Gelar diploma tiga (D3) diperoleh pada tahun 2026 dari Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Elektronika Industri, Politeknik Negeri Jakarta.

**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

L- 2 Dokumentasi Alat



Tampak atas Trainer Kit



Tampak depan alat



Proses wiring



Trial and error alat



Tampak samping



Hasil cetak PCB



Tampak dalam alat



Pengujian alat

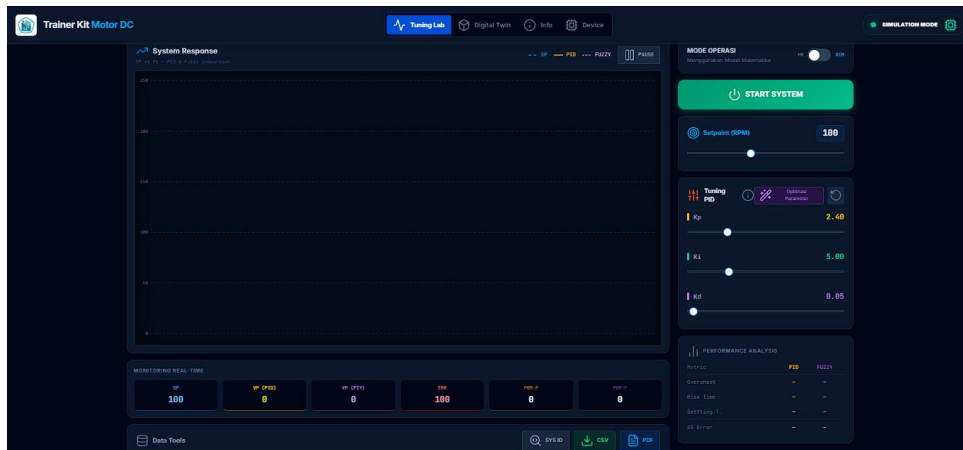


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

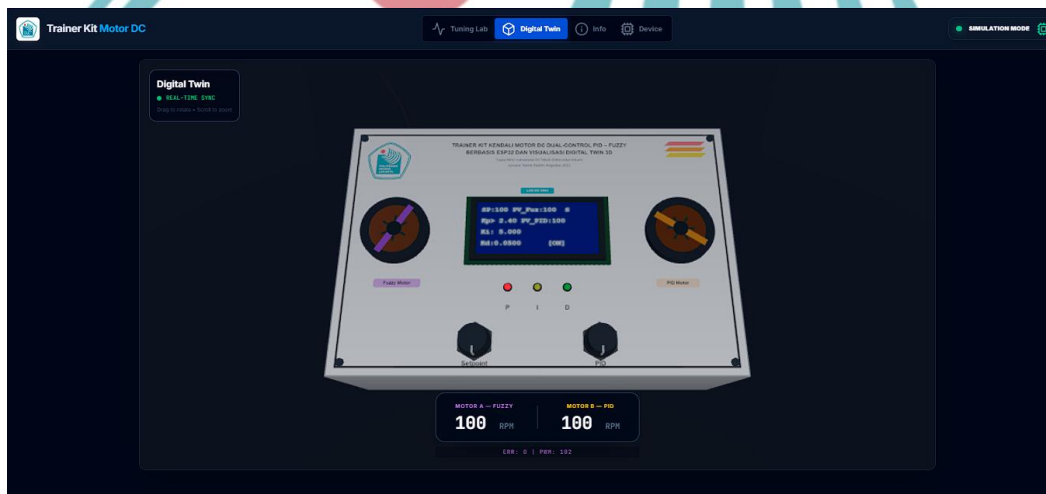
L- 3 Tampilan Web Monitoring

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



Tampilan Web Monitoring Tab Tuning Lab



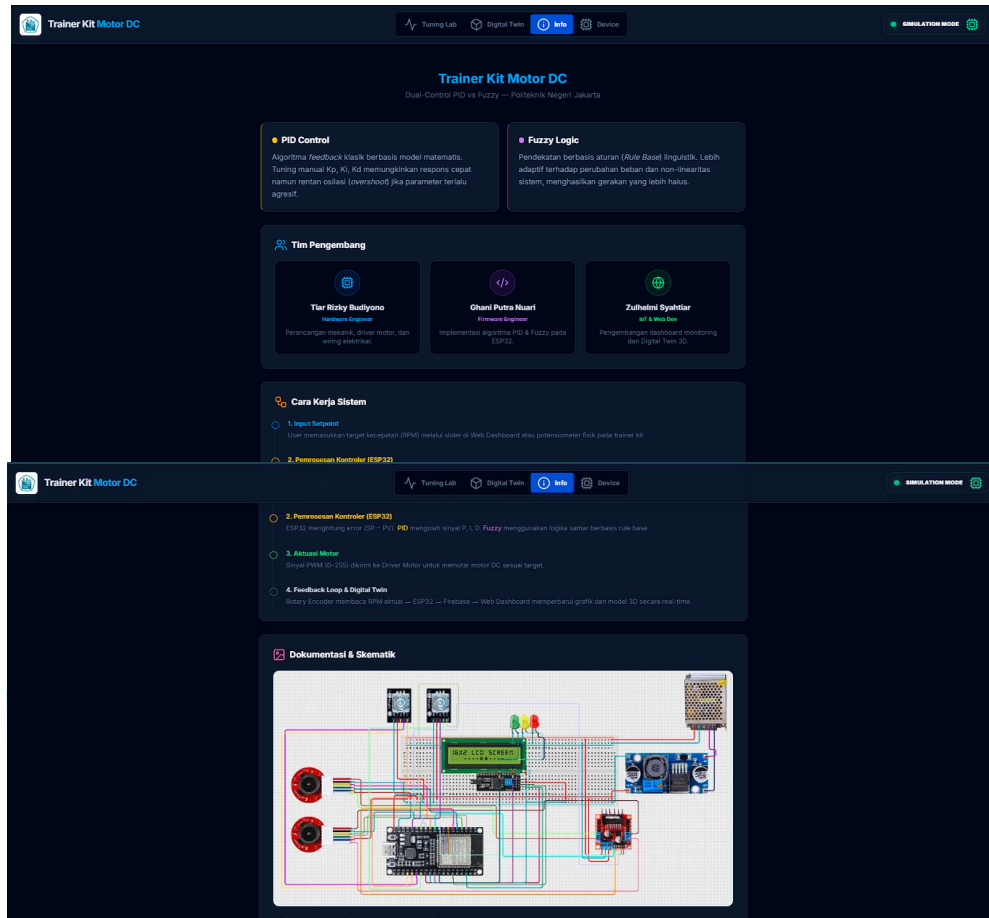
Tampilan Web Monitoring Tab Digital Twin 3D



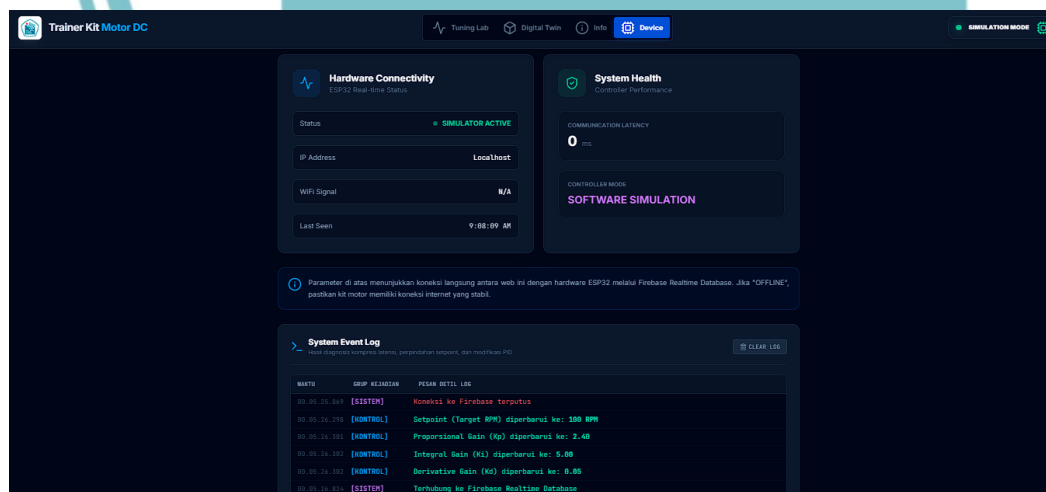
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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



Tampilan Web Monitoring Tab Info

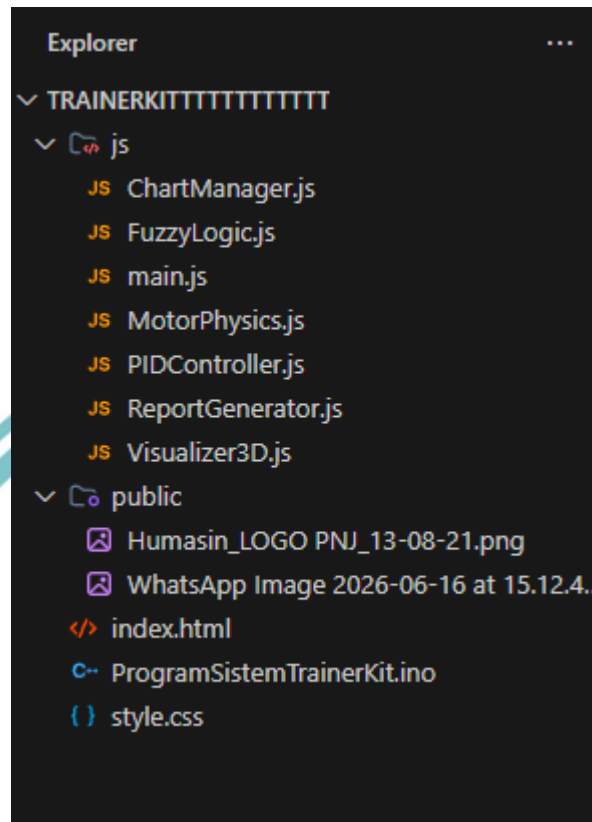


Tampilan Web Monitoring Tab Device



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

L- 4 Struktur Kode Program Website



Kode program *website* lengkap dapat diakses pada tautan berikut:

https://drive.google.com/drive/folders/18mZy-l4qCu0fXJm9iQPzXxS-1UEEF4nL?usp=drive_link

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



© 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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

L- 5 Kode Program Integrasi Sistem *Website Main.js*

L-4.1 Inisialisasi sistem dan modul

```
import { initializeApp } from "firebase/app";
import { getDatabase, ref, onValue, get, set, update } from "firebase/database";
import { createIcons, icons } from 'lucide';

import { PIDController, runOptimasiParameterSimulation } from './PIDController.js';
import { MotorPlant } from './MotorPhysics.js';
import { init3D, updateVisuals } from './Visualizer3D.js';
import { FuzzyController } from './FuzzyLogic.js';
import { generatePDFReport } from './ReportGenerator.js';
import { ChartManager } from './ChartManager.js';

const firebaseConfig = {
  apiKey: "...",
  authDomain: "...",
  databaseURL: "...",
  projectId: "...",
  storageBucket: "...",
  messagingSenderId: "...",
  appId: "..."
};

let db = null;
let unsubscribeMonitoring = null;
let unsubscribeControl = null;
let firebaseConnected = false;

let serverTimeOffset = 0;
let lastLatencyLogTime = 0;
```



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

L-4.2 2 Logging Aktivitas Sistem

```
function appendDeviceLog(group, message, type = 'info') {
  const container = document.getElementById('device-log');

  if (!container) return;

  const timestamp = new Date().toLocaleTimeString();

  const log = document.createElement('div');
  log.className = `log-${type}`;
  log.innerHTML = `[${timestamp}] ${group} : ${message}`;

  container.prepend(log);
}
```

L-4.3 3 Perpindahan Mode Operasi

```
function handleModeToggle(e) {
  if (unsubscribeMonitoring) {
    unsubscribeMonitoring();
    unsubscribeMonitoring = null;
  }

  if (unsubscribeControl) {
    unsubscribeControl();
    unsubscribeControl = null;
  }

  if (state.power) {
    state.power = false;
    forceStopSystem();
  }
}
```



© 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 btn = document.getElementById('btn-power');
if (btn) {
    btn.innerHTML = 'POWER OFF';
}
}
```

```
state.isSim = e.target.checked;
```

```
appendDeviceLog(
    'SYSTEM',
    state.isSim ? 'Simulation Mode' : 'ESP32 Mode'
);
}
```

L-4.4 Optimasi Parameter PID

```
async function handleAutoTune() {
    const btn = document.getElementById('btn-autotune');
    const originalHtml = btn.innerHTML;

    btn.innerHTML = '<i data-lucide="loader-2"></i> Tunggu...!';
    btn.disabled = true;

    try {
        const result = await runOptimasiParameterSimulation();

        document.getElementById('input-kp').value = result.kp;
        document.getElementById('input-ki').value = result.ki;
        document.getElementById('input-kd').value = result.kd;

        appendDeviceLog('PID', 'Optimasi berhasil');
    } finally {
        btn.disabled = false;
        btn.innerHTML = originalHtml;
    }
}
```



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

```
}
}
```

L-4.5 Loop Utama Simulasi

```
function controlLoop() {
  if (state.power && state.isSim) {
    const sp = state.setpoint;

    pid.updateTunings(
      document.getElementById('input-kp').value,
      document.getElementById('input-ki').value,
      document.getElementById('input-kd').value
    );

    state.pwmPID = pid.compute(sp, motorPID.speed);
    state.rpmPID = motorPID.update(state.pwmPID, state.load);

    state.pwmFuzzy = fuzzyCtrl.compute(sp, motorFuzzy.speed);
    state.rpmFuzzy = motorFuzzy.update(state.pwmFuzzy, state.load);
  }
}
```

L- 6 Kode Program Implementasi PIDController.js

Kelas Utama & Fungsi Kalkulasi PID

```
export class PIDController {
  constructor(kp, ki, kd, dt) {
    this.kp = kp; this.ki = ki; this.kd = kd; this.dt = dt;

    this.integral = 0; this.lastError = 0;

    this.pTerm = 0; this.iTerm = 0; this.dTerm = 0; this.rawOutput = 0;
  }

  compute(setpoint, actual) {
    const error = setpoint - actual;
```



© 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

```

this.pTerm = this.kp * error;
this.integral += error * this.dt;

// Anti-windup: batasi integral berdasarkan output max / Ki
const safeKi = Math.abs(this.ki) < 1e-6 ? 1e-6 : this.ki;
const integralMax = 255 / safeKi;
if (this.integral > integralMax) this.integral = integralMax;
if (this.integral < -integralMax) this.integral = -integralMax;

this.iTerm = this.ki * this.integral;

// Gunakan dt aman untuk turunan
const safeDt = this.dt > 0 ? this.dt : 0.05;
this.dTerm = this.kd * ((error - this.lastError) / safeDt);
this.lastError = error;

this.rawOutput = this.pTerm + this.iTerm + this.dTerm;
let output = this.rawOutput;

if (output > 255) output = 255;
if (output < 0) output = 0;

return Math.floor(output);
}
}

```

L- 7 Kode Program Implementasi FuzzyLogic.js

L-6.1 Fungsi Keanggotaan (*Membership Functions*) & Rule Base

```

/** Fungsi segitiga: naik dari a ke b, turun dari b ke c */
function trimf(x, a, b, c) {
  if (x < a || x > c) return 0;
  if (Math.abs(a - b) < 1e-6 && Math.abs(x - b) < 1e-6) return 1;
  if (Math.abs(c - b) < 1e-6 && Math.abs(x - b) < 1e-6) return 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

```

if (x <= b) return (b === a) ? 1 : (x - a) / (b - a);
return (c === b) ? 1 : (c - x) / (c - b);
}

/** Fungsi trapesium: naik dari a ke b, flat b→c, turun c→d */
function trapmf(x, a, b, c, d) {
  if (x < a || x > d) return 0;
  if (x >= b && x <= c) return 1;
  if (x < b) return (b === a) ? 1 : (x - a) / (b - a);
  if (x > c) return (d === c) ? 1 : (d - x) / (d - c);
  return 0;
}

// Baris = Error (NB..PB), Kolom = dError (NB..PB)
const RULE_BASE = [
  /* NB */ ['NB', 'NB', 'NB', 'NS', 'ZE'],
  /* NS */ ['NB', 'NB', 'NS', 'ZE', 'PS'],
  /* ZE */ ['NB', 'NS', 'ZE', 'PS', 'PB'],
  /* PS */ ['NS', 'ZE', 'PS', 'PB', 'PB'],
  /* PB */ ['ZE', 'PS', 'PB', 'PB', 'PB'],
];

```

L-6.2 Proses Komputasi Fuzzy & Defuzzifikasi Centre of Gravity (CoG)

```

compute(setpoint, actual) {
  let e = setpoint - actual;
  let de = e - this.lastError;
  this.lastError = e;

  const originalError = e;

  if (e > this.deltaE) e = this.deltaE;
  if (e < -this.deltaE) e = -this.deltaE;
  if (de > this.deltaI) de = this.deltaI;
}

```



© 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 (de < -this.deltaI) de = -this.deltaI;

const errorRatio = Math.min(1.0, Math.abs(originalError) / 40.0);
const adaptiveDeltaU = this.deltaU * (0.08 + 0.92 * errorRatio);

const mE = this._getMuErrorValues(e);
const mDE = this._getMuDeltaErrorValues(de);
const outFunctions = this._getOutputFunctions(adaptiveDeltaU);

// Evaluasi Rule Base (Mamdani Max-Min)
const activation = { NB: 0, NS: 0, ZE: 0, PS: 0, PB: 0 };
E_LABELS.forEach((eLab, i) => {
  DE_LABELS.forEach((deLab, j) => {
    const strength = Math.min(mE[eLab], mDE[deLab]);
    if (strength > 0) {
      const outLab = RULE_BASE[i][j];
      activation[outLab] = Math.max(activation[outLab], strength);
    }
  });
});

// Aggregated membership function
const aggregated = (x) => Math.max(0, ...Object.keys(activation).map(lbl =>
  Math.min(activation[lbl], outFunctions[lbl](x))
));

// Defuzzifikasi CoG
const deltaPWM = this._defuzzify(aggregated, adaptiveDeltaU);

// Akumulasi output
this.output += deltaPWM;
if (this.output > 255) this.output = 255;

```



© 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 (this.output < 0) this.output = 0;
```

```
return Math.floor(this.output);
```

```
}
```

```
// Metode Defuzzifikasi Centre of Gravity (CoG)
```

```
_defuzzify(aggregated, dU) {
```

```
  const pts = 101; // Jumlah titik sampel (resolusi)
```

```
  let num = 0, den = 0;
```

```
  const max_val = (dU || this.deltaU) * 1.5;
```

```
  for (let i = 0; i < pts; i++) {
```

```
    const x = -max_val + (max_val * 2 / (pts - 1)) * i;
```

```
    const mu = aggregated(x);
```

```
    // Rumus  $\sum(x * \mu(x)) / \sum(\mu(x))$ 
```

```
    num += x * mu;
```

```
    den += mu;
```

```
  }
```

```
  return den === 0 ? 0 : num / den;
```

```
}
```

L- 8 Kode Program Implementasi MotorPhysics.js

Integrasi Model Dinamika Motor

```
export class MotorPlant {
```

```
  constructor(dt) {
```

```
    this.dt = dt;
```

```
    this.speed = 0;
```

```
    // Parameter fisik motor
```

```
    this.K = 0.98; // DC Gain (RPM per PWM unit)
```

```
    this.tau = 0.40; // Konstanta Waktu ( $\tau = 0.40$  s)
```

```
    this.RPM_MAX = 250;
```



© 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

```

    }

    update(pwmInput) {
        // Membatasi nilai input PWM agar tidak di luar range 0-255
        const pwmClamped = Math.max(0, Math.min(255, pwmInput));

        // Model Dinamika Orde 1 FOPTD
        const alpha = Math.min(1, this.dt / this.tau);
        this.speed = (1 - alpha) * this.speed + alpha * (this.K * pwmClamped);

        // Batasan (clamping) kecepatan motor
        if (this.speed < 0) this.speed = 0;
        if (this.speed > this.RPM_MAX) this.speed = this.RPM_MAX;

        return this.speed;
    }
  }
}

```

L- 9 Kode Program Implementasi Visualizer3D.js

```

import * as THREE from 'three';
import { OrbitControls } from 'three/addons/controls/OrbitControls';

let scene, camera, renderer, controls;
let wheelPID, wheelFuzzy;
let screenMesh, screenCanvas, screenCtx, screenTexture;
let interactiveObjects = [];
let raycaster, pointer, tooltip;
let pwrRocker, fanBlades;

// — Inisialisasi Environment 3D

export function init3D(containerId, onInteraction, onInteractionScroll) {
    const container = document.getElementById(containerId);

```



© 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

```
// Setup Scene, Fog, dan Dimensi Layar
scene = new THREE.Scene();

scene.background = new THREE.Color(0x0b1120);

scene.fog = new THREE.FogExp2(0x0b1120, 0.016);

const W = container.offsetWidth || container.clientWidth || 800;
const H = container.offsetHeight || container.clientHeight || 500;

// Kamera Perspective
camera = new THREE.PerspectiveCamera(42, W / H, 0.1, 500);
camera.position.set(0, 40, 34);

// Renderer WebGL
renderer = new THREE.WebGLRenderer({ antialias: true });
renderer.setSize(W, H);
renderer.setPixelRatio(Math.min(window.devicePixelRatio, 2));
renderer.shadowMap.enabled = true;
container.appendChild(renderer.domElement);

// Kontrol Navigasi (OrbitControls)
controls = new OrbitControls(camera, renderer.domElement);
controls.enableDamping = true;
controls.dampingFactor = 0.07;
controls.maxPolarAngle = Math.PI / 2.05;

setupLights();

createTrainerKit();

// Raycaster untuk deteksi interaksi mouse/pointer dengan objek 3D
raycaster = new THREE.Raycaster();
pointer = new THREE.Vector2();
```



© 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

```
// Listener interaksi klik tombol/saklar
container.addEventListener('pointerdown', (e) => {
  if (!onInteraction) return;

  const rect = container.getBoundingClientRect();
  pointer.x = ((e.clientX - rect.left) / rect.width) * 2 - 1;
  pointer.y = -((e.clientY - rect.top) / rect.height) * 2 + 1;

  raycaster.setFromCamera(pointer, camera);
  const hits = raycaster.intersectObjects(interactiveObjects, true);

  if (hits.length > 0) {
    let target = hits[0].object;
    while(!target.userData.name && target.parent) target = target.parent;
    if (target.userData.name) onInteraction(target.userData.name);
  }
});

animate();
}

// — Sinkronisasi State Digital Twin (Visualisasi Real-Time)
export function updateVisuals(rpmPID, rpmFuzzy, setpoint, kp, ki, kd, power,
activeTuningMode) {
  // 1. Putaran roda motor proporsional terhadap nilai RPM aktual
  const speedScale = 0.004;
  if (wheelPID) wheelPID.rotation.y += rpmPID * speedScale;
  if (wheelFuzzy) wheelFuzzy.rotation.y += rpmFuzzy * speedScale;

  // 2. Animasi putaran kipas pendingin chassis jika sistem ON
  if (fanBlades && power) {
    fanBlades.rotation.x += 0.45;
  }
}
```



© 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

```
// 3. Toggle kemiringan fisik dan material emisi saklar Rocker Power
if (pwrRocker) {
  pwrRocker.rotation.y = power ? -0.15 : 0.15;
  const rockerMesh = pwrRocker.children[0];
  if (rockerMesh && rockerMesh.material) {
    rockerMesh.material.emissiveIntensity = power ? 1.4 : 0.12;
  }
}

// 4. Update data secara langsung ke layar LCD Virtual
if (screenTexture) {
  drawLCDActive(setpoint, rpmPID, rpmFuzzy, power, kp, ki, kd,
  activeTuningMode);
  screenTexture.needsUpdate = true;
}
}

// — Rendering Loop (FPS & Animate)
function animate() {
  requestAnimationFrame(animate);
  if (!controls || !raycaster || !camera || !renderer) return;

  controls.update();
  renderer.render(scene, camera);
}
```

L- 10 Kode Program Implementasi ReportGenerator.js

```
import { jsPDF } from "jspdf";

export async function generatePDFReport(state, pid, perfMetrics) {
  const doc = new jsPDF({ orientation: 'portrait', unit: 'mm', format: 'a4' });
  const W = 210; // Lebar A4
  const marginL = 18, marginR = 18;
  const contentW = W - marginL - marginR;
```



© 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

```

let y = 0;

// Warna tema
const C = {
  dark: [15, 23, 42],
  mid: [30, 41, 59],
  blue: [59, 130, 246],
  yellow: [251, 191, 36],
  purple: [192, 132, 252],
  white: [226, 232, 240],
  muted: [100, 116, 139]
};

const setFill = (rgb) => doc.setFillColor(...rgb);
const setTxt = (rgb) => doc.setTextColor(...rgb);
const setFont = (style, size) => { doc.setFont('helvetica', style); doc.setFontSize(size);
};

// — 1. Header Laporan
setFill(C.dark);
doc.rect(0, 0, W, 42, 'F');
setFill(C.blue);
doc.rect(0, 0, 5, 42, 'F');

setTxt(C.white); setFont('bold', 16);
doc.text('Trainer Kit Motor DC', 40, 14);

setTxt(C.muted); setFont('normal', 9);
doc.text('Dual-Control: PID vs Fuzzy Logic', 40, 21);

setTxt(C.blue); setFont('normal', 8);
doc.text(`Mode: ${state.isSim ? 'Simulasi' : 'Hardware'} | Setpoint: ${state.setpoint}
RPM`, 40, 34);

```



© 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

```
y = 50;
```

```
// — 2. Tangkapan Grafik Respons Sistem
```

```
const chartCanvas = document.getElementById('pidChart');
if (chartCanvas) {
  try {
    const imgData = chartCanvas.toDataURL('image/png');
    const chartH = contentW * (chartCanvas.height / chartCanvas.width);

    // Title section
    doc.setFillColor(...C.blue); doc.rect(marginL, y, 3, 6, 'F');
    doc.text('System Response', marginL + 7, y + 5.5);
    y += 8;

    // Gambar grafik
    doc.setDrawColor(...C.mid);
    doc.setLineWidth(0.3);
    doc.rect(marginL, y, contentW, Math.min(chartH, 65), 'S');
    doc.drawImage(imgData, 'PNG', marginL, y, contentW, Math.min(chartH, 65));
    y += Math.min(chartH, 65) + 16;
  } catch (e) { console.warn('Gagal render chart', e); }
}
```

```
// — 3. Tabel Parameter PID
```

```
doc.setFillColor(...C.blue); doc.rect(marginL, y, 3, 6, 'F');
doc.text('Parameter PID', marginL + 7, y + 5.5);
y += 8;
```

```
const params = [
  ['Kp (Proportional)', pid.kp.toFixed(2)],
  ['Ki (Integral)', pid.ki.toFixed(2)],
```



© 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

```
[ 'Kd (Derivative)', pid.kd.toFixed(2)],
[ 'Sample Time (dt)', '50 ms']
];

const rowH = 8;
params.forEach(([label, val], idx) => {
  setFill(idx % 2 === 0 ? [15, 23, 42] : [20, 30, 50]);
  doc.rect(marginL, y, contentW, rowH, 'F');

  setTxt(C.muted); setFont('normal', 8);
  doc.text(label + ' :', marginL + 3, y + 5.5);

  setTxt(C.blue); setFont('bold', 8);
  doc.text(val, marginL + contentW - 5, y + 5.5, { align: 'right' });
  y += rowH;
});

// — Simpan Dokumen PDF
const filename = `laporan_motor_dc_${new Date().toISOString().slice(0,10)}.pdf`;
doc.save(filename);
}
```

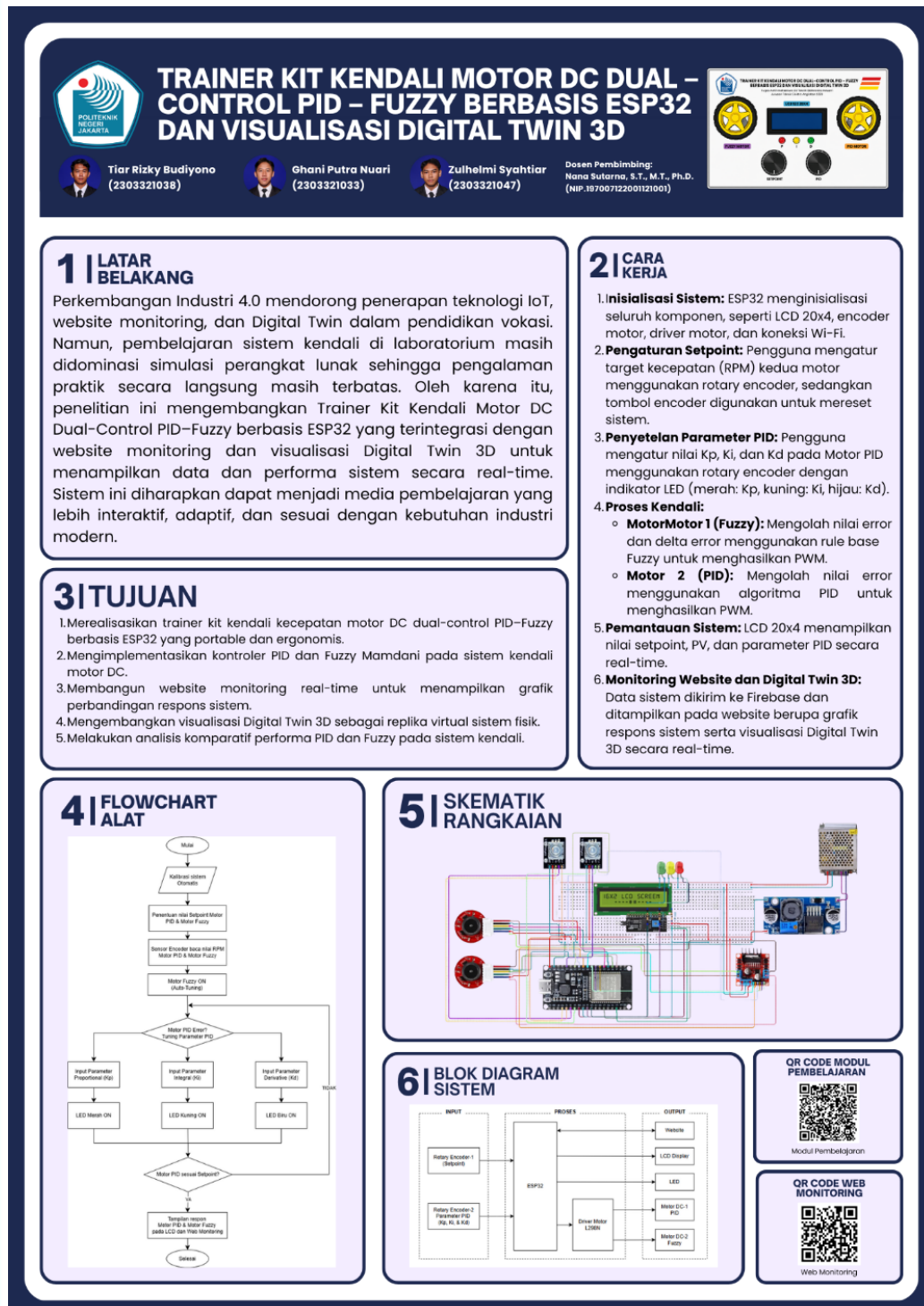


L- 11 Poster dan SOP

POSTER

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





SOP PENGGUNAAN ALAT

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



SOP PENGGUNAAN ALAT

TRAINER KIT KENDALI MOTOR DC DUAL – CONTROL PID – FUZZY BERBASIS ESP32 DAN VISUALISASI DIGITAL TWIN 3D

CARA PENGOPERASIAN ALAT

1. **Persiapan Sistem:** Pastikan trainer kit, komputer atau laptop, dan koneksi internet dalam kondisi siap digunakan. Periksa seluruh kabel dan sumber catu daya agar terhubung dengan baik. Pastikan perangkat yang digunakan untuk mengakses website telah terhubung ke jaringan internet yang stabil.
2. **Menyalakan Trainer Kit:** Hubungkan trainer kit ke sumber listrik, kemudian aktifkan sakelar utama pada trainer kit. Tunggu beberapa saat hingga ESP32 berhasil terhubung ke jaringan internet dan sistem siap digunakan.
3. **Mengakses Website Monitoring:** Buka browser pada komputer atau laptop, kemudian masukkan alamat website yang telah disediakan. Tunggu hingga seluruh komponen antarmuka, grafik monitoring, dan visualisasi Digital Twin 3D berhasil dimuat dengan sempurna.
4. **Memilih Mode Operasi:** Pilih mode operasi yang akan digunakan sesuai kebutuhan. Mode ESP32 digunakan untuk melakukan monitoring pada trainer kit fisik, sedangkan Mode Simulasi digunakan untuk menjalankan simulasi sistem tanpa memerlukan perangkat keras.
5. **Mengatur Parameter Sistem:** Masukkan nilai setpoint RPM dan parameter PID yang diinginkan. Setelah seluruh parameter diatur, jalankan sistem dan pastikan data monitoring mulai ditampilkan pada website.
6. **Melakukan Monitoring Sistem:** Amati perubahan grafik respons sistem, grafik PWM, serta visualisasi Digital Twin 3D yang ditampilkan pada website. Pastikan seluruh komponen sistem berjalan secara normal dan data yang ditampilkan berubah secara real-time.
7. **Mengakhiri Pengoperasian:** Setelah proses pengujian selesai, hentikan sistem, tutup website, kemudian matikan trainer kit. Pastikan seluruh perangkat telah dinonaktifkan dengan benar sebelum meninggalkan area praktikum.

ALAT & BAHAN

- ESP32
- Motor DC JGA25 –370 (2 BUAH)
- Driver Motor L298N
- Rotary encoder KY-040 (2 BUAH)
- LCD 20X4
- LED 10MM (3 BUAH)
- Buck Converter 12V to 5V
- Fuse
- Switch
- Kabel 220 VAC
- Power Supply 12V 5A
- Resistor
- Mini Fan DC 12V 5CM

DIBUAT OLEH



Tiar Rizky Budiyo
(2303321038)



Ghani Putra Nuari
(2303321033)

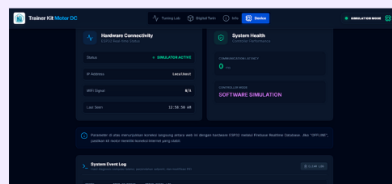
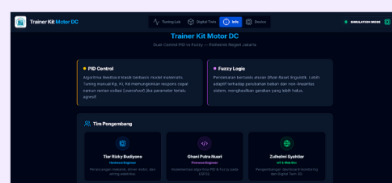


Zulhelmi Syahtiar
(2303321047)

DOSEN PEMBIMBING

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

TAMPILAN WEBSITE



QR CODE MODUL PEMBELAJARAN



Modul Pembelajaran

QR CODE WEB MONITORING



Web Monitoring
<https://trainermotordc.web.app>



SOP Penggunaan Digital Twin



SOP PENGOPERASIAN DIGITAL TWIN 3D TRAINER KIT KENDALI MOTOR DC DUAL – CONTROL PID – FUZZY BERBASIS ESP32 DAN VISUALISASI DIGITAL TWIN 3D



TUJUAN

Memberikan panduan penggunaan fitur Digital Twin 3D pada website monitoring Trainer Kit Kendali Motor DC Dual-Control PID-Fuzzy berbasis ESP32 agar proses monitoring dan tuning parameter dapat dilakukan dengan aman, benar, dan sesuai prosedur praktikum.

PROSEDUR PENGOPERASIAN

A. Membuka Digital Twin

1. Buka halaman Digital Twin pada website monitoring.
2. Tunggu hingga model 3D berhasil dimuat sepenuhnya.
3. Pastikan tampilan Digital Twin bergerak sesuai kondisi trainer kit.

B. Monitoring Sistem

1. Jalankan trainer kit sesuai prosedur praktikum.
2. Amati pergerakan Digital Twin yang merepresentasikan kondisi motor DC secara real-time.
3. Pastikan nilai RPM, arah putaran, dan indikator sistem sesuai dengan kondisi aktual trainer kit.

C. Pengaturan Setpoint

1. Klik knob Setpoint pada model Digital Twin.
2. Atur nilai setpoint sesuai kebutuhan praktikum.
3. Amati perubahan respons sistem melalui grafik monitoring dan Digital Twin.

D. Tuning Parameter PID

1. Klik knob PID pada model Digital Twin untuk memilih parameter yang akan diatur (Kp, Ki, atau Kd).
2. Gunakan scroll wheel pada mouse untuk menambah atau mengurangi nilai parameter yang dipilih.
3. Lakukan perubahan parameter secara bertahap.
4. Setelah setiap perubahan, amati respons sistem sebelum melakukan penyesuaian berikutnya.
5. Ulangi proses hingga diperoleh respons sistem yang diinginkan.

Catatan: Penggunaan mouse sangat disarankan karena memberikan kontrol yang lebih presisi dibandingkan touchpad laptop.

PERSIAPAN

- Pastikan Trainer Kit telah dirangkai dan dihubungkan dengan catu daya.
- Pastikan ESP32 telah terhubung ke jaringan Wi-Fi dan Firebase Realtime Database.
- Buka website monitoring menggunakan browser (Google Chrome atau Microsoft Edge).
- Pastikan status koneksi pada website menunjukkan Connected sebelum melakukan pengoperasian.
- Disarankan menggunakan mouse yang memiliki scroll wheel untuk mempermudah proses tuning parameter PID.

PERINGATAN KESELAMATAN

- Pada **ESP32 Mode**, Digital Twin 3D berfungsi sebagai antarmuka pengendalian (Control Interface) yang terhubung langsung dengan trainer kit melalui Firebase Realtime Database.
- Setiap perubahan **Setpoint, Kp, Ki, maupun Kd** pada model 3D akan diterapkan pada sistem kendali dan **dapat memengaruhi operasi motor DC secara langsung**.
- Lakukan proses tuning hanya sesuai instruksi praktikum dan di bawah pengawasan dosen.
- Hindari perubahan parameter secara ekstrem atau berulang dalam waktu singkat karena dapat menyebabkan respons sistem menjadi tidak stabil.
- **Jangan memainkan model Digital Twin hanya untuk mencoba-coba** ketika trainer kit sedang terhubung (ESP32 Mode), karena tindakan tersebut dapat mengubah parameter kendali pada alat fisik.
- Apabila terjadi **respons motor yang tidak normal**, segera **hentikan proses tuning** dan kembalikan parameter ke kondisi sebelumnya.

LARANGAN

Pengguna tidak diperbolehkan:

- Mengubah parameter PID tanpa mengikuti prosedur praktikum.
- Melakukan scrolling secara terus-menerus atau berlebihan pada knob PID.
- Mengubah Setpoint dan parameter PID secara acak untuk tujuan di luar praktikum.
- Mengoperasikan Digital Twin secara bersamaan oleh lebih dari satu pengguna pada trainer kit yang sama.
- Melakukan tuning ketika kondisi trainer kit mengalami gangguan atau belum terkoneksi dengan benar.

PENUTUPAN

Setelah praktikum selesai, hentikan proses pengendalian pada website, matikan trainer kit sesuai prosedur, kemudian tutup website monitoring. Pastikan seluruh parameter telah berada pada kondisi yang aman sebelum meninggalkan area praktikum serta laporkan kepada dosen apabila terjadi kendala selama penggunaan Digital Twin.

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

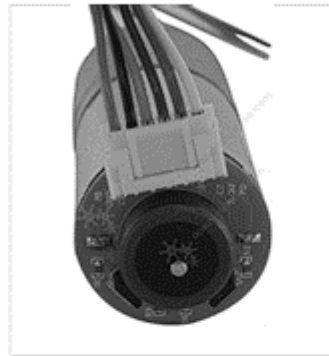


Hak Cipta :

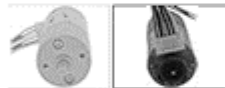
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

L- 12 Datasheet Motor DC JGA25

JGA25-371 DC Gearmotor with Encoder (126 RPM at 12 V)



This JGA25-371 DC gearmotor features an integrated encoder which provides a resolution of 12 counts per revolution, ensuring an accurate control of motor's speed.



Overview

This JGA25-371 DC gearmotor features an integrated encoder which provides a resolution of 12 counts per revolution, ensuring an accurate control of motor's speed.

Specifications

- Operating voltage: between 6 V and 24 V
- Nominal voltage: 12 V
- Free-run speed at 12 V: 126 RPM
- Free-run current at 12 V: 46 mA
- Stall current at 12 V: 1 A
- Stall torque at 12 V: 4.2 kg-cm
- Gear ratio: 1:34
- Reductor size: 21 mm
- Weight: 99 g

For other variations of this motor see the JGA25-371 gearmotor selector.

[https://www.openimpulse.com/blog/products-page/25d-gearmotors/jga25-371-dc-gearmotor-encoder-126-rpm-12-v-2/#:~:text=This JGA25-371 DC ge...](https://www.openimpulse.com/blog/products-page/25d-gearmotors/jga25-371-dc-gearmotor-encoder-126-rpm-12-v-2/#:~:text=This%20JGA25-371%20DC%20ge...) 1/2



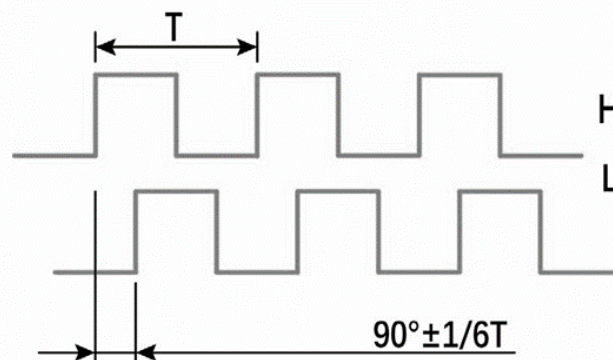
Hak Cipta :

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 mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Data Sheet												
Model: JGA25-371												
Voltage		No Load		Load				Stall		Reducer		Weight
Workable Range	Rated Volt.V	Speed rpm	Current mA	Speed rpm	Current mA	Torque kg.cm	Output W	Torque kg.cm	Current A	Ratio 1:00	Size mm	Unit g
6-24V	12	977	46	781	300	0.11	1.25	0.55	1	4.4	15	99
6-24V	12	463	46	370	300	0.23	1.25	1.1	1	9.28	17	99
6-24V	12	201	46	168	300	0.53	1.25	2.65	1	21.3	19	99
6-24V	12	126	46	100	300	0.85	1.25	4.2	1	34	21	99
6-24V	12	95	46	76	300	1.1	1.25	5.5	1	45	21	99
6-24V	12	55	46	44	300	1.95	1.25	9.7	1	78	23	99
6-24V	12	41	46	32	300	2.5	1.25	12.5	1	103	23	99
6-24V	12	25	46	20	300	4.2	1.25	21	1	171	25	99
6-24V	12	19	46	15	300	5.6	1.25	28	1	226	25	99
6-24V	12	11	46	8.8	300	9.45	1.25	47	1	378	27	99
6-24V	12	8.6	46	6.8	300	12	1.25	60	1	500	27	99

Electrical characteristics:

Encoder electrical characteristics	specification	Code	Test Conditions	MIN	Benchmark	MAX	unit
	Input voltage	vcc	--	2.7	-	5.5	V
	Output saturation voltage	Vce sat	VCC=14V;IC=20 mA	-	300	700	mA
	Output leakage current	Icex	VCC=14V;VCC=14V	-	<0.1	10	A
	Input Current	Ice	VCC=20V output open	-	5	10	mA
	Output rise time	tr	VCC=14V;RH=820Ω ; CH=20pF	-	0.3	1.5	S
	Output fall time	tr	VCC=14V;RL=820Ω ; CL=20pF	-	0.3	1.5	S





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

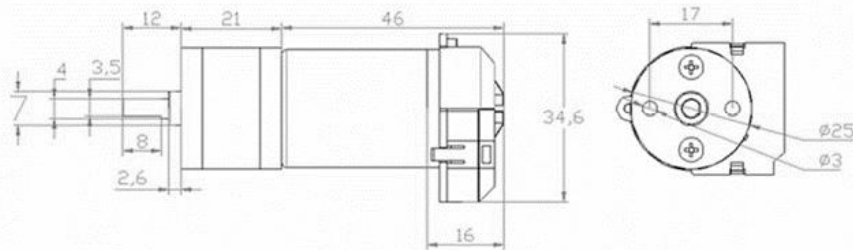
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



Specification:

Voltage V	No-load		Maximum efficiency pointed				Blockage	
	speed r/min	electric current A	speed r/min	electric current A	Torque Kg.cm	Power W	Torque Kg.cm	electric current A
6	190	0.2	133	0.5	0.75	1.1	4.0	2.1
12	350	0.1	245	0.65	1.4	2.4	5.2	2.2

size:





L- 13 Datasheet ESP32

2 Pin Definitions

2.1 Pin Layout

The pin diagram below shows the approximate location of pins on the module. For the actual diagram drawn to scale, please refer to Figure 9 *Module Dimensions*.

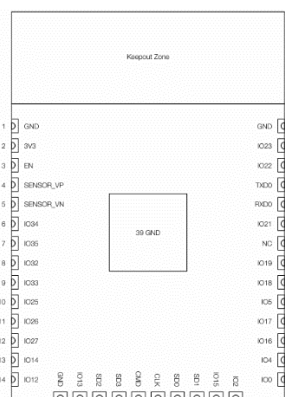


Figure 1: ESP32-WROOM-32 Pin Layout (Top View)

2.2 Pin Description

ESP32-WROOM-32 has 38 pins. See pin definitions in Table 2.

For peripheral pin configurations, please refer to Section 4.2 *Digital Peripherals*.

Table 2: Pin Definitions

Name	No.	Type ¹	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active High.
SENSOR_VP	4	I	GPIO38, ADC1_CH3, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH8, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH2, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, SPI_CLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPICL, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPICL, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD ²	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIWP, HSI_DATA2, U1RXD
SWP/SD ²	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SPIWP, HSI_DATA3, U1TXD
SCS/CMD ²	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICSS, HSI_CMD, U1RTS
SDO/SD ²	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HSI_CLK, U1CTS
SDI/SD ²	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPI0, HSI_DATA0, U2RTS
IO15	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPI0, HSI_DATA1, U2CTS
IO2	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICSS, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPICL, HS2_DATA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPICL, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HSI_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HSI_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICSS, HSI_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HSI_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPICLK, U2CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPICL, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2

5 Electrical Characteristics

5.1 Absolute Maximum Ratings

Stresses beyond the absolute maximum ratings listed in Table 12 *Absolute Maximum Ratings* below may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and do not refer to the functional operation of the device that should follow the Table 13 *Recommended Operating Conditions*.

Table 12: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	-0.3	3.6	V
I _{OUTP} ¹	Cumulative IO output current	-	1100	mA
T _{store}	Storage temperature	-40	105	°C

- The module worked properly after a 24-hour test in ambient temperature at 25 °C, and the IOs in three domains (VDD33, RTC, VDD33_CPU, VDD, SDIO) output high logic level to ground. Please note that pins occupied by flash and/or PSRAM in the VDD, SDIO power domain were excluded from the test.
- Please see Appendix IO_MUX of [ESP32 Datasheet](#) for IOs power domain.

5.2 Recommended Operating Conditions

Table 13: Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Typical	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	3.0	3.3	3.6	V
I _{VDD}	Current delivered by external power supply	0.5	-	-	A
T	Operating ambient temperature	-40	-	85	°C

5.3 DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Table 14: DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
C _{IN}	Pin capacitance	-	2	-	pF
V _{IH}	High-level input voltage	0.75×VDD ¹	-	VDD ¹ +0.3	V
V _{IL}	Low-level input voltage	-0.3	-	0.25×VDD ¹	V
I _{IH}	High-level input current	-	-	50	nA
I _{IL}	Low-level input current	-	-	50	nA
V _{OH}	High-level output voltage	0.8×VDD ¹	-	-	V
V _{OL}	Low-level output voltage	-	-	0.1×VDD ¹	V
I _{OUT}	High-level source current	VDD33_CPU power domain ^{1, 2}	-	40	mA
		VDD33_RTC power domain ^{1, 2}	-	40	mA
	(VDD ¹ = 3.3 V, V _{OL} >= 2.64 V, output drive strength set to the maximum)	VDD_SDIO power domain ^{1, 3}	-	20	mA

6 RF Characteristics

This section contains tables with RF characteristics of the Expressif product.

The RF data is measured at the antenna port, where RF cable is connected, including the front-end loss.

Devices should operate in the center frequency range allocated by regional regulatory authorities. The target center frequency range and the target transmit power are configurable by software. See [ESP RF Test Tool](#) and [Test Guide](#) for instructions.

Unless otherwise stated, the RF tests are conducted with a 3.3 V (+5%) supply at 25 °C ambient temperature.

6.1 Wi-Fi Radio

Table 16: Wi-Fi RF Characteristics

Name	Description
Center frequency range of operating channel	2412 ~ 2484 MHz
Wi-Fi wireless standard	IEEE 802.11b/g/n

6.1.1 Wi-Fi RF Transmitter (TX) Characteristics

Table 17: TX Power with Spectral Mask and EVM Meeting 802.11 Standards

Rate	Min (dBm)	Typ (dBm)	Max (dBm)
802.11b, 1 Mbps	-	19.5	-
802.11b, 11 Mbps	-	19.5	-
802.11g, 6 Mbps	-	18.0	-
802.11g, 54 Mbps	-	14.0	-
802.11n, HT20, MCS0	-	18.0	-
802.11n, HT20, MCS7	-	13.0	-
802.11n, HT40, MCS0	-	18.0	-
802.11n, HT40, MCS7	-	13.0	-

Table 18: TX EVM Test¹

Rate	Min (dB)	Typ (dB)	Limit (dB)
802.11b, 1 Mbps, DSSS	-	-25.0	-10.0
802.11b, 11 Mbps, CCK	-	-25.0	-10.0
802.11g, 6 Mbps, OFDM	-	-24.0	-5.0
802.11g, 54 Mbps, OFDM	-	-28.0	-25.0
802.11n, HT20, MCS0	-	-24.0	-5.0
802.11n, HT20, MCS7	-	-30.0	-27.0

Cont'd on next page

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