



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**

Tiar Rizky Budiyo

2303321038

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



PENGUJIAN TRAINER KIT KENDALI MOTOR DC

DUAL – CONTROL BERBASIS ESP32

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Diploma Tiga

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Tiar Rizky Budiyo

2303321038

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 : Tiar Rizky Budiyo

NIM : 2303321038

Tanda Tangan : 

Tanggal : 29 Juni 2026

**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

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

Tugas Akhir diajukan oleh

Nama : Tiar Rizky Budiyo
NIM : 2303321038
Program Studi : Elektronika Industri
Judul Tugas Akhir : Trainer Kit Kendali Motor DC Dual – Control
PID–Fuzzy Berbasis ESP32 dan Visualisasi
Digital Twin 3D
Judul Tugas Akhir : Pengujian Trainer Kit Kendali Motor DC
Dual – Control Berbasis ESP32

Telah diuji oleh tim penguji dalam Sidang Tugas Akhir pada 29 Juni 2025 dan dinyatakan **LULUS**.

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 29 Juni 2026

Disahkan Oleh Akhir

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

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 dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Diploma Tiga. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Murie Dwiyanti, 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 dan 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. Rekan – Rekan kelas EC6B Angkatan 2023 yang telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan kuliah Penulis.
6. Rekan – Rekan “Padepokan Dimas Kanjeng” yang telah menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan kuliah penulis.
7. Ghani Putra Nuari serta Zulhemi Syahtiar sebagai rekan satu tim yang telah banyak memberi 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 dalam kritik dan saran yang membangun dari pembaca sekalian. Semoga Laporan Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembang ilmu, dan kemajuan bidang Teknik Elektro di Indonesia.

Depok, 29 Juni 2026

Tiar Rizky Budiyo



ABSTRAK

Perkembangan teknologi otomasi industri mendorong kebutuhan media pembelajaran sistem kendali yang mampu mengintegrasikan perangkat keras dan algoritma kontrol secara nyata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang, merealisasikan, serta menguji Trainer Kit Kendali Motor DC Dual-Control berbasis ESP32 sebagai media praktikum yang mampu membandingkan kinerja motor DC pada kondisi tanpa kontrol, kontrol PID, dan kontrol Fuzzy. Metode penelitian yang digunakan meliputi perancangan perangkat keras, pemrograman mikrokontroler ESP32, integrasi driver motor L298N, rotary encoder, LCD I2C 20×4, serta pelaksanaan pengujian terhadap respons kecepatan motor berdasarkan variasi nilai setpoint. Pengujian dilakukan pada sistem tanpa kontrol dan sistem dengan kontrol menggunakan parameter PID hasil tuning manual serta metode Fuzzy. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada sistem tanpa kontrol diperoleh rata-rata persentase error sebesar 18,17%, pada motor PID dan 22,89% pada motor Fuzzy, sehingga kecepatan motor belum mampu mengikuti nilai setpoint secara stabil. Setelah diterapkan sistem kontrol, metode PID dengan parameter $K_p = 2,4$, $K_i = 5,0$, dan $K_d = 0,05$ menghasilkan rata-rata error sebesar 0,93 RPM dengan persentase error 0,91%, sedangkan metode Fuzzy menghasilkan rata-rata error 0 RPM dengan persentase error 0% pada pengujian yang dilakukan. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa trainer kit berhasil direalisasikan dan berfungsi dengan baik sebagai media pembelajaran sistem kendali, serta metode Fuzzy memberikan performa pengendalian kecepatan motor yang lebih akurat dibandingkan PID pada implementasi penelitian ini.

Kata Kunci: Trainer Kit, Motor DC, ESP32, PID, Fuzzy Logic Controller.

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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

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

ABSTRACT

The development of industrial automation technology has increased the need for learning media that integrates hardware and control algorithms in real applications. Therefore, this study aims to design, develop, and evaluate an ESP32-based Dual-Control DC Motor Trainer Kit as a practical learning medium for comparing the performance of DC motors under open-loop, PID-controlled, and Fuzzy-controlled conditions. The research method includes hardware design, ESP32 programming, integration of the L298N motor driver, rotary encoders, and a 20×4 I2C LCD, followed by performance testing using various speed setpoints. The tests were carried out under both open-loop and closed-loop conditions using manually tuned PID parameters and a pre-tuned Fuzzy Logic Controller. The results show that, under open-loop conditions, the average percentage error was 18.17% for the PID motor and 22.89% for the Fuzzy motor, indicating that the motor speed could not consistently follow the desired setpoint. After applying the control algorithms, the PID controller with parameters $K_p = 2.4$, $K_i = 5.0$, and $K_d = 0.05$ achieved an average error of 0.93 RPM with an average percentage error of 0.91%, while the Fuzzy controller achieved an average error of 0 RPM with 0% percentage error during the tests. Based on these results, it can be concluded that the developed trainer kit functions well as a learning medium for DC motor control systems, and the Fuzzy controller provides better speed control accuracy than the PID controller in this implementation.

Keywords: *Trainer Kit, DC Motor, ESP32, PID, Fuzzy Logic Controller.*

**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
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
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	4
2.1 <i>State of The Art</i>	4
2.2 Trainer Kit	5
2.3 PID	6
2.4 Fuzzy	6
2.5 IoT & Website	6
2.6 Mikrokontroler ESP32	7
2.7 Motor DC TT GM25 JGA25-370	7
2.8 Rotary Encoder Module (KY-040)	9

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

2.9 Driver Motor L298N.....	9
2.10 Liquid Crystal Display (LCD) I2C 20x4	10
2.11 Light Emitting Diode (LED).....	10
2.12 Resistor 220	11
2.13 <i>Buck Converter</i> LM2596 DC-DC	11
2.14 Power Supply 12V 5A	12
2.15 Fuse.....	13
2.16 Kipas Exhaust 5x5	13
2.17 Proteus 8 Professional.....	13
BAB III PERENCANAAN DAN REALISASI.....	15
3.1 Rancangan Alat.....	15
3.1.1 Deskripsi Alat	16
3.1.2 Spesifikasi Alat	17
3.1.3 Diagram Blok.....	19
3.1.4 Wiring Skematik dan Layout PCB.....	20
3.1.5 Perancangan dan Layout Wiring.....	22
3.1.6 Cara Kerja Alat	23
3.2 Realisasi Alat	27
3.2.1 Pencetakan Desain <i>Printed Circuit Board</i> (PCB).....	27
3.2.2 Perancangan 3D <i>Trainer Kit</i>	28
3.2.3 Pembuatan Box <i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC).....	30
3.2.4 Realisasi <i>Trainer Kit</i>	31
BAB IV PEMBAHASAN.....	33
4.1 Uji Fungsional Alat.....	33
4.1.1 Deskripsi Pengujian	33
4.1.2 Prosedur Pengujian	33
4.1.3 Data Hasil Pengujian.....	34
4.1.4 Analisis Data / Evaluasi	35



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

4.2 Pengujian Kinerja Motor DC Tanpa Kontrol.....	36
4.2.1 Deskripsi Pengujian	37
4.2.2 Prosedur Pengujian	37
4.2.3 Data Hasil Pengujian.....	38
4.2.4 Analisis Data/Evaluasi	39
4.3 Pengujian Kinerja Motor DC dengan Kontrol	40
4.3.2 Deskripsi Pengujian	42
4.3.3 Prosedur Pengujian	42
4.3.4 Data Hasil Pengujian.....	43
4.3.5 Analisis Data / Evaluasi	45
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	53
LAMPIRAN.....	54

**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

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 State of The Art Penelitian Terdahulu	4
Tabel 3. 1 Spesifikasi Komponen Trainer Kit	17
Tabel 3. 2 PINOUT ESP32 pada Trainer Kit.....	23
Tabel 4. 1 Alat dan Bahan Uji Fungsional Alat.....	33
Tabel 4. 2 Data hasil Uji Fungsional Alat.....	34
Tabel 4. 3 Alat dan Bahan Pengujian Kinerja Motor DC Tanpa Kontrol.....	37
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Kinerja Motor DC Tanpa Kontrol.....	38
Tabel 4. 5 Alat dan Bahan Pengujian Kinerja Motor DC Dengan Kontrol	42
Tabel 4. 6 Data Hasil Pengujian Kinerja Motor DC Dengan Kontrol PID.....	43
Tabel 4. 7 Data Hasil Pengujian Kinerja Motor DC Dengan Kontrol Fuzzy.....	44

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mikrokontroler ESP32	7
Gambar 2. 2 Motor DC Encoder	8
Gambar 2. 3 Stator dan Rotor Motor DC	9
Gambar 2. 4 Rotary Encoder Module (KY-040)	9
Gambar 2. 5 Driver Motor L298N	10
Gambar 2. 6 Liquid Crystal Display (LCD) I2C 20x4	10
Gambar 2. 7 Light Emitting Diode (LED)	11
Gambar 2. 8 Resistor 220	11
Gambar 2. 9 Buck Converter LM2596 DC-DC	12
Gambar 2. 10 Power Supply 12V 5A	12
Gambar 2. 11 Fuse	13
Gambar 2. 12 Kipas Exhaust 5x5	13
Gambar 2. 13 Proteus 8 Professional	14
Gambar 3. 1 Blok Diagram Sistem	19
Gambar 3. 2 Wiring Skematik	20
Gambar 3. 3 Layout PCB	21
Gambar 3. 4 PINOUT GPIO ESP32	22
Gambar 3. 5 Flowchart Cara Kerja	26
Gambar 3. 6 Top Layer PCB	27
Gambar 3. 7 Bottom Layer PCB	28
Gambar 3. 8 SolidWorks	29
Gambar 3. 9 Tampak Depan 3D	29
Gambar 3. 10 Tampak Atas	30
Gambar 3. 11 Tampak Samping	30
Gambar 3. 12 Pembuatan Box Polyvinyl Chloride (PVC)	31
Gambar 3. 13 Sisi Depan	32
Gambar 3. 14 Sisi Atas	32
Gambar 3. 15 Sisi Samping	32
Gambar 4. 1 Tampilan RPM Tachometer di Setpoint Rendah	39
Gambar 4. 2 Tampilan RPM Tachometer di Setpoint Tinggi	40
Gambar 4. 3 Tampilan RPM pada Sistem	46
Gambar 4. 4 Tampilan RPM pada Tachometer	46
Gambar 4. 5 Tampilan RPM pada Setpoint Rendah	47
Gambar 4. 6 Pengujian Sistem Kendali Fuzzy	47

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

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Dokumentasi Alat.....	54
Lampiran 1. 2 Program Tanpa Kontrol.....	55
Lampiran 1. 3 POSTER & SOP.....	61
Lampiran Datasheet 2. 1 Motor DC JGS25	63
Lampiran Datasheet 2. 2 Driver Motor L298N.....	66
Lampiran Datasheet 2. 3 Datasheet ESP32.....	67
Lampiran Datasheet 2. 4 Rotary Encoder Module KY-040.....	71
Lampiran Datasheet 2. 5 LCD 20x4 & I2C	74
Lampiran 3. 1 Jobsheet Praktikum.....	78



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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Revolusi Industri 4.0 dan otomasi di era modern menginginkan adanya perubahan dan kemajuan sistem kendali yang dapat beradaptasi dengan mudah dan cepat serta penyelesaian masalah yang tepat. Motor DC merupakan salah satu aktuator yang paling sering digunakan dalam berbagai pemakaian di industri maupun robotika karena komponen ini memiliki karakteristik yang gampang dikontrol dan respons dinamis yang cepat(Almawla et al., 2024). Namun karena motor DC memiliki karakteristik nonlinier yang mempunyai banyak gangguan dari hal kecil maupun hal besar seperti perubahan pada beban, gesekan mekanik, dan ketidakstabilan tegangan suplai, sehingga hal ini membutuhkan sistem kendali yang bisa mempertahankan kecepatan putaran sesuai nilai RPM yang ditetapkan(Hidayati et al., 2024).

Metode kendali yang sering digunakan pada motor DC adalah metode kendali *Proportional Integral Derivative* (PID). Cara kerja dari Metode kendali PID adalah mengatur setpoint dan hasil keluaran menjadi nilai error, metode kendali PID memberikan sinyal dengan cara melalui tiga aksi yaitu *proportional*, *integral*, dan *derivative*(Afrawira et al., 2023). Metode kendali PID digunakan untuk berbagai sistem di industri maupun alat elektronika, meskipun begitu kendali PID ini bergantung pada ketepatannya dalam pengaturan parameter Kp, Ki, dan Kd. Kendali PID memiliki karakteristik nonlinier yang dengan mudahnya mendapatkan gangguan yang berubah-ubah, kendali PID biasanya menghasilkan respons yang kurang bagus meski jarang, contohnya seperti adanya *overshoot* yang besar atau lambatnya waktu pemulihan (*settling time*) system(Firdaus et al., 2022).

Karena PID memiliki keterbatasan, logika *fuzzy* (*Fuzzy Logic Controller/FLC*) adalah kendali logika yang mudah beradaptasi dan fleksibel, terutama untuk rangkaian yang memiliki sistem dengan karakteristik yang sulit, kompleks, dan tidak linier(Manuel et al., 2023). Logika *fuzzy* memakai kendali berbasis aturan (*rule-based*) yang memiliki fungsi yang mirip seperti pengambilan keputusan manusia berdasarkan pengetahuan linguistik(Suwarno et al., 2022). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja PID dan FLC pada kendali kecepatan motor DC, menunjukkan bahwa logika *fuzzy* memberikan respons yang lebih halus dengan *steady-state error* dan *overshoot* yang lebih kecil daripada PID(Ardana et al., 2025).



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

Dalam penerapannya, komponen mikrokontroler yang tepat dan sesuai merupakan hal yang penting untuk membuat sebuah sistem kendali. ESP32 adalah mikrokontroler yang berbasis dual-core bit LX6 yang punya banyak kemampuan komputasi tinggi dan frekuensi clock hingga 240 MHz, lengkap dengan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, juga memberikan banyak antarmuka komunikasi seperti I2C, SPI, UART, dan PWM (Agnes & Heru, 2024). Hal ini menjadikan ESP32 sebagai komponen yang sangat cocok untuk implementasi algoritma kendali PID maupun *fuzzy* secara *real-time* dalam aplikasi trainer kit pembelajaran sistem kendali (Fajar & Rusimanto, 2024).

Untuk menjalankan motor DC, rangkaian ini membutuhkan suplai arus yang cukup untuk menjalankan kedua motornya. Driver motor L298N adalah komponen berbasis *dual H-Bridge* yang bisa menjalankan dua motor DC secara mandiri dengan tegangan 5V hingga 12V dan arus maksimum 2A per kanal. Komponen ini membaca sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dari mikrokontroler ESP32 dan mengkonversinya menjadi *supply* arus yang mampu menggerakkan 2 motor DC sekaligus dan mengatur arah putaran motor (Luqman et al., 2025).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan merealisasikan sebuah *Trainer Kit* Kendali Motor DC *Dual – Control PID – Fuzzy* Berbasis ESP32 dan Visualisasi *Digital Twin* 3D yang mengimplementasikan algoritma kendali PID dan logika *fuzzy* untuk mengatur kecepatan dua buah motor. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, driver motor L298N sebagai penguat daya, LCD I2C 20x4 sebagai antarmuka tampilan parameter sistem secara *real-time*, serta dua buah rotary encoder untuk umpan balik kecepatan atau RPM aktual motor dan mengatur parameter P/Kp, I/Ki, D/Kd. Dilakukannya pengujian ini untuk memberitahu kinerja perangkat keras (*hardware*) yang telah dikerjakan, serta menganalisis dan membandingkan respons dari kedua kendali (*PID-Fuzzy*) yang tanpa control dan yang diberi control. Dengan begitu, *trainer kit* yang diciptakan diharapkan bisa menjadi media pembelajaran yang efektif di bidang sistem kendali pada Program Studi Elektronika Industri, Politeknik Negeri Jakarta.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menguji kinerja motor DC dengan metode *dual-control* PID dan *Fuzzy* berbasis ESP?
2. Bagaimana menguji kinerja motor DC tanpa kontrol?

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. Bagaimana merancang arsitektur perangkat keras *Trainer Kit* motor DC berbasis ESP32 yang ergonomis, sistematis, dan berfungsi dengan baik?

1.3 Batasan Masalah

Adapun Batasan Masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Fokus pengujian pada perangkat keras dan eksekusi kendali motor di mikrokontroler ESP32.
2. Fokus pengujian *Input Setpoint* dan *Input Parameter* Kp, Ki, Kd terhadap respons RPM Motor DC.
3. Pengujian RPM motor DC berdasarkan nilai PWM tanpa kontrol dan dengan kontrol ESP32.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuktikan secara nyata bahwa *Trainer Kit* ini stabil, presisi, dan bisa digunakan sebagai modul praktik di laboratorium kampus.
2. Merancang perangkat keras *Trainer Kit* yang ergonomis sehingga dapat dibawa untuk pelaksanaan pembelajaran di kelas maupun di laboratorium kampus.
3. Melakukan pengujian dan analisis komparatif performa sistem kendali, khususnya membandingkan kualitas *tuning* PID manual dan *Fuzzy* jika menggunakan kontrol dan tanpa kontrol.

1.5 Luaran

Adapun luaran yang diharapkan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat keras *Trainer Kit* Motor DC *Dual-Control* PID-Fuzzy yang dapat digunakan pada Lab Elektronika Industri untuk pembelajaran bagi mahasiswa.
2. Perangkat lunak embedded berupa program Arduino IDE pada *firmware* ESP32 yang berisi algoritma *Dual-Control* PID-Fuzzy untuk kontrol motor DC.
3. Sistem *website* sebagai aplikasi kontrol motor DC yang dilengkapi dengan grafik respons sistem serta Visualisasi *Digital Twin* 3D untuk menampilkan model 3D motor DC secara sinkron dengan kondisi aktual.
4. Laporan Teknis yang akan memuat metodologi perancangan, hasil pengujian, analisis kinerja setiap metode kontrol serta dokumentasi perancangan alat.
5. Modul pembelajaran yang akan memuat panduan penggunaan alat serta *jobsheet* praktikum.

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

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, realisasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa *Trainer Kit* Kendali Motor DC *Dual-Control* berbasis ESP32 dan Visualisasi *Digital Twin 3D* telah berhasil di rancang dan di realisasikan.

1. *Trainer Kit* Kendali Motor DC *Dual-Control* berbasis ESP32 berhasil direalisasikan sesuai perancangan dengan konfigurasi dua motor DC yang dikendalikan secara independen menggunakan metode PID dan *Fuzzy*. Seluruh komponen utama, seperti ESP32, driver motor L298N, motor DC, *rotary encoder*, LCD I2C 20×4, serta sistem catu daya dapat berfungsi dengan baik *sehingga trainer kit* layak digunakan sebagai media pembelajaran praktikum sistem kendali di laboratorium.
2. Hasil pengujian motor DC tanpa kontrol menunjukkan bahwa kecepatan putaran motor meningkat seiring bertambahnya nilai PWM dan *duty cycle*, namun RPM aktual belum mampu mengikuti nilai *setpoint* secara stabil. Motor mulai berputar pada *setpoint* 58 RPM, sedangkan pada *setpoint* rendah belum mampu menghasilkan torsi awal yang cukup. Selain itu, diperoleh rata-rata *persentase error* sebesar 39,67% pada motor PID dan 43,82% pada motor *Fuzzy*, sehingga menunjukkan bahwa sistem tanpa mekanisme umpan balik masih memiliki *error* yang cukup besar.
3. Hasil pengujian motor DC dengan kontrol menunjukkan bahwa penerapan algoritma PID dan *Fuzzy* mampu meningkatkan akurasi kecepatan motor dibandingkan kondisi tanpa kontrol. Pengendali PID dengan parameter $K_p = 2,4$, $K_i = 5,0$, dan $K_d = 0,05$ menghasilkan rata-rata *error* sebesar 0,93 RPM dengan rata-rata *persentase error* 0,91%, sedangkan metode *Fuzzy* mampu mempertahankan kecepatan motor sesuai *setpoint* dengan rata-rata *error* 0 RPM dan *persentase error* 0% pada pengujian yang dilakukan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kedua metode kontrol mampu meningkatkan kestabilan sistem, dengan metode *Fuzzy* memberikan tingkat akurasi yang lebih tinggi pada *trainer kit* yang direalisasikan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan sebagai pengembangan pada penelitian selanjutnya.

1. Komponen driver motor yang digunakan pada penelitian ini adalah driver motor L298N yang dapat diganti dengan komponen driver motor lainnya seperti BTS7960 atau TB6612FNG yang memiliki efisiensi lebih tinggi sehingga dapat meminimalkan *voltage drop* dan meningkatkan performa motor DC.
2. Penelitian dapat dikembangkan dengan menambahkan variasi beban mekanik pada motor DC sehingga karakteristik respons sistem terhadap perubahan beban dapat dianalisis secara lebih mendalam.
3. Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menerapkan metode kendali cerdas lainnya, seperti *Adaptive PID*, *Neural Network*, atau kombinasi *Fuzzy-PID*, sehingga dapat diperoleh perbandingan performa sistem kendali yang lebih beragam serta meningkatkan kualitas pembelajaran pada bidang sistem kendali dan otomasi industri.

**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



DAFTAR PUSTAKA

- Afrawira, R., Fajar Gumilang, R., Amalia, S., & Bandri, S. (2023). Analisa Perbandingan Pengendali PID pada Motor DC Menggunakan Metode Ziegler-Nichols dan Trial and Error. *R2J*, 5(3). <https://doi.org/10.38035/rj.v5i3>
- Agnes, E., & Heru, R. (2024). Rancang Bangun PID Controller Pada Level Simulator Berbasis ESP32. *INHARDWARE: Journal of Instrumentation and Hardware*, 2(1), 30–36. <https://doi.org/10.53026/inhardware.v2i1.16>
- Ahmad Syafi'i, Abdul Hamid Kurniawan, & Rusda. (2024). Alat Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis ESP32 Desa Purwajaya. *PoliGrid*, 5(2). <https://doi.org/10.46964/poligrid.v5i2.47>
- Akbar, I., Ismail, N., Rachmilda, T. D., Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung, J., & Kunci, K. (2021). *Design of Angle Position and Temporary Velocity Detector Using Rotary Encoder KY-040*.
- Almawla, A. M., Hussein, M. J., & Abdullah, A. T. (2024). A Comparative Study of DC Motor Speed Control Techniques Using Fuzzy, SMC and PID. *Journal European Des Systemes Automates*, 57(2), 397–406. <https://doi.org/10.18280/jesa.570209>
- Ardana, D. E., Maulana, Z., & Wibisono, G. (2025). Digital PID Trainer Based On Arduino For DC Motor Speed Control With Ziegler Nichols Method. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 14. <https://doi.org/10.25077/10.25077/jnte.v14n3.1301.2025>
- Arifianto, T., Nopriyanto, W., Fara Prihandini, T., Jundi Abyan, N., Silk Moonlight, Lady, Elektro Perkeretaapian, T., & Perkeretaapian Indonesia Madiun, P. (2023). APLIKASI PERHITUNGAN RESISTANSI RESISTOR MENGGUNAKAN AUGMENTED REALITY Resistor Resistance Calculation Applications Using Augmented Reality. *Jurnal Ilmiah Intech: Information Technology Journal of UMUS*, 5(2), 130–142.
- Azim, F., Ullah, A., Jufrizel, J., & Faizal, A. (2024). Implementasi Kendali PID Pada Kecepatan Motor DC Sebagai Media Pembelajaran Berbasis Arduino Dan LabVIEW. *Journal of Telecommunication Electronics and Control Engineering (JTECE)*, 6(2), 139–151. <https://doi.org/10.20895/jtece.v6i2.1461>
- Dewi, K., Varera Varadiba, A., Fatiwara Michrun, A., Teknik Elektro, J., & Negeri Ujung Pandang, P. (2022). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2022-Teknik Elektronika*.
- Dian Mahardi, R., Sunuharjo, L., Hendrawan, D., Agri Wahyuadi, R., Prakosa Adhi Nugraha, S., Electrical Engineering, D., & Tinggi Teknik Pati, S. (2024). Desain Perancangan Buck Converter Berbasis IC LM2596. In *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan* (Vol. 7).
- Fajar, & Rusimamto, P. W. (2024). Rancang+Bangun+Sistem+Kendali+Kecepatan+Putaran+Motor+DC+Menggunakan+PID+Controller+_ Jurnal 9. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO UNESA*, 13.
- Firdaus, F., Priatna, E., Hiron, N., & Busaeri, N. (2022). PROTOTYPE SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR DC DENGAN PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE (PID) CONTROLLER. In *JOURNAL OF ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING (JEEE)* (Vol. 32, Number 1). Oktober.

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

Hidayati, Q., Prasetyo, E., Teknik, J., Politeknik, E., & Balikpapan, N. (2024). *Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Fuzzy-PID* (Vol. 4, Number 1).

Luqman, M., Anggraheny, B., Herwandi, H., & Murtono, A. (2025). Aplikasi dan unjuk kerja motor driver L-298 dan BTS7960 sebagai power switching pada inverter. *JURNAL ELTEK*, 23(1), 9–15. <https://doi.org/10.33795/eltek.v23i1.6656>

Manuel, N. L., İnanç, N., & Lüy, M. (2023). Control and performance analyses of a DC motor using optimized PIDs and fuzzy logic controller. *Results in Control and Optimization*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100306>

Pangaribowo, T., Gunardi, Y., Hajar, M. H. I., Andika, J., Dani, A. W., & Sirait, F. (2022). Pelatihan Perancangan Rangkaian Elektronika dengan Menggunakan Software Proteus untuk Siswa PKBM Wiyata Utama Jakarta Barat. *Jurnal Abdidas*, 3(1), 191–197. <https://doi.org/10.31004/abdidas.v3i1.557>

Reza, M., Putera, A. N., Hidayat, R., & Karawang, S. (2022). *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi) KENDALI KECEPATAN MOTOR DC MENGGUNAKAN PENGENDALI PID DENGAN ENCODER SEBAGAI FEEDBACK*.

Suwarno, I., Finayani, Y., Rahim, R., Alhamid, J., & Al-Obaidi, A. R. (2022). Controllability and Observability Analysis of DC Motor System and a Design of FLC-Based Speed Control Algorithm. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(2), 227–235. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i2.10741>

**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 RIWAYAT HIDUP

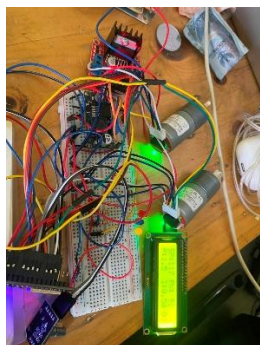


Penulis yang bernama lengkap Tiar Rizky Budiyo lahir di Kota Bekasi, Kecamatan Bekasi Utara pada tanggal 09 September 2005. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Budiyo dan Ibu Maya Hartika. Penulis memulai pendidikan TK Islam Assa'diyah Babelan (2010-2011), melanjutkan ke SDIT Widya Duta Bekasi (2011-2015), berpindah ke SD Pertiwi Teladan Metro Lampung (2015-2017), kemudian melanjutkan ke SMP Islam PB Soedirman Bekasi (2017-2020), lalu melanjutkan ke SMKN 5 Bekasi (2020-2023), hingga akhirnya menempuh pendidikan di perguruan tinggi Politeknik Negeri Jakarta Program Studi Elektronika Industri (2023-2026).

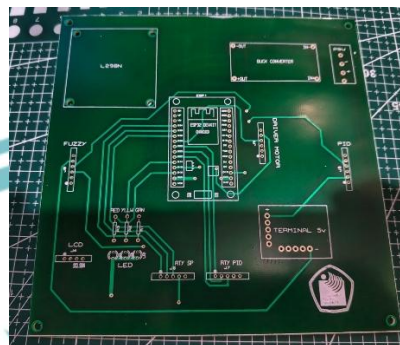
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

LAMPIRAN

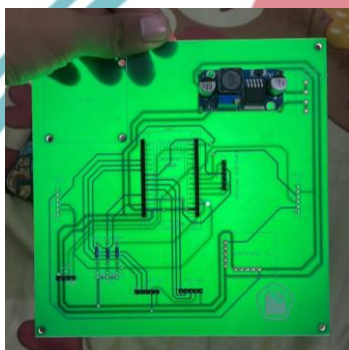
Lampiran 1. 1 Dokumentasi Alat



Uji Wiring Menggunakan Breadboard



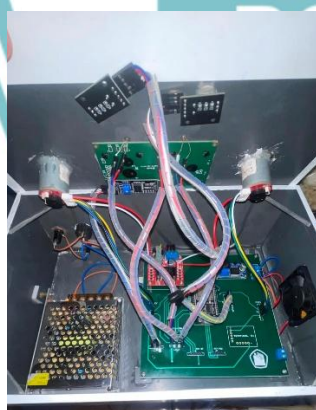
Cetakan PCB sebelum dipasang komponen



Penampakan seluruh jalur PCB 2 layer



Pemasangan seluruh komponen ke trainer kit



Finishing alat trainer kit



Pengujian alat di kampus

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

Lampiran 1. 2 Program Tanpa Kontrol

```
* PENGUJIAN MOTOR DC TANPA KONTROL
* Trainer Kit PID-Fuzzy ESP32

* Setpoint diatur oleh rotary encoder → dikonversi langsung
* menjadi PWM tetap → dikirim ke motor.
* RPM dibaca HANYA untuk ditampilkan, TIDAK ADA feedback,
* TIDAK ADA koreksi PWM berdasarkan RPM.
*
* LCD 20x4:
* Baris 1: Setpoint & Duty Cycle
* Baris 2: RPM Motor 1 & PWM Motor 1
* Baris 3: RPM Motor 2 & PWM Motor 2
* Baris 4: Status Open-Loop

#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <soc/gpio_struct.h>

#define ENC_SP_A    34
#define ENC_SP_B    35
#define ENC_SP_BTN  32

#define MOTOR1_IN1  16
#define MOTOR1_IN2  17
#define MOTOR1_ENA   4
#define MOTOR1_ENC_A 18
#define MOTOR1_ENC_B 19

#define MOTOR2_IN3  33
#define MOTOR2_IN4  12
#define MOTOR2_ENB   5
#define MOTOR2_ENC_A 23
#define MOTOR2_ENC_B 15

#define PWM_FREQ    1000
#define PWM_RESOLUTION 8
#define ENCODER_PPR  341
#define SAMPLE_TIME_MS 50
#define MAX_SETPOINT 250
#define MIN_SETPOINT 0
#define DEBOUNCE_MS 250
#define LCD_INTERVAL 300
#define SERIAL_INTERVAL 500
#define PWM_MIN      35

#define GPIO_READ(pin) ((GPIO.in  >> (pin))    & 0x1)
#define GPIO_READ_H(pin) ((GPIO.in1.val >> ((pin) - 32)) & 0x1)

float calcRPM(volatile long &encCount, unsigned long dt_ms);
void setMotor1(int pwm);
```

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

```

void setMotor2(int pwm);
void updateLCD();
void processEncSP();
void processButtons();

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);

// Setpoint -- INI yang bergerak saat encoder diputar
int setpoint = 0;

// PWM aktual yang dikirim ke motor (= setpoint, tanpa olahan lain)
int pwm1_actual = 0;
int pwm2_actual = 0;

// RPM -- HANYA untuk ditampilkan, tidak dipakai untuk apapun lagi
float motor1_rpm_filt = 0.0f;
float motor2_rpm_filt = 0.0f;

// Duty Cycle untuk tampilan
float duty1 = 0.0f;
float duty2 = 0.0f;

volatile long motor1_enc_count = 0;
volatile long motor2_enc_count = 0;
volatile int enc_sp_delta = 0;
volatile int enc_sp_last_a = 0;

unsigned long lastControlTime = 0;
unsigned long lastLCDTime = 0;
unsigned long lastSerialTime = 0;
unsigned long lastBtnTime = 0;

void IRAM_ATTR isr_enc_sp() {
  int a = GPIO_READ_H(ENC_SP_A);
  int b = GPIO_READ_H(ENC_SP_B);
  if (a != enc_sp_last_a) {
    enc_sp_last_a = a;
    enc_sp_delta += (b != a) ? 1 : -1;
  }
}

void IRAM_ATTR isr_motor1_enc() {
  if (GPIO_READ(MOTOR1_ENC_B)) motor1_enc_count++;
  else motor1_enc_count--;
}

void IRAM_ATTR isr_motor2_enc() {
  if (GPIO_READ(MOTOR2_ENC_B)) motor2_enc_count++;
  else motor2_enc_count--;
}

void processEncSP() {

```

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 (enc_sp_delta == 0) return;

portDISABLE_INTERRUPTS();
int delta  = enc_sp_delta;
enc_sp_delta = 0;
portENABLE_INTERRUPTS();

int new_sp = setpoint + delta;
if (new_sp > MAX_SETPOINT) new_sp = MAX_SETPOINT;
if (new_sp < MIN_SETPOINT) new_sp = MIN_SETPOINT;

if (new_sp != setpoint) {
    setpoint = new_sp;

    // PWM = Setpoint, langsung, tanpa target RPM, tanpa feedback
    setMotor1(setpoint);
    setMotor2(setpoint);

    Serial.print(">> Setpoint diubah: ");
    Serial.println(setpoint);
}

}

void processButtons() {
    unsigned long now = millis();
    if (digitalRead(ENC_SP_BTN) == LOW) {
        if ((now - lastBtnTime) > DEBOUNCE_MS) {
            lastBtnTime = now;
            setpoint = 0;
            setMotor1(0);
            setMotor2(0);
            motor1_rpm_filt = 0.0f;
            motor2_rpm_filt = 0.0f;
            Serial.println("RESET: Setpoint = 0, Motor Berhenti");
        }
    }
}

float calcRPM(volatile long &encCount, unsigned long dt_ms) {
    portDISABLE_INTERRUPTS();
    long count = encCount;
    encCount = 0;
    portENABLE_INTERRUPTS();

    if (dt_ms == 0) return 0.0f;
    return fabsf((float)count / (float)ENCODER_PPR
        / (dt_ms / 1000.0f) * 60.0f);
}

void setMotor1(int pwm) {
    pwm = constrain(pwm, 0, 255);
    if (pwm > 0 && pwm < PWM_MIN) pwm = PWM_MIN;
    digitalWrite(MOTOR1_IN1, pwm > 0 ? HIGH : LOW);
}

```

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

```

digitalWrite(MOTOR1_IN2, LOW);
ledcWrite(MOTOR1_ENA, pwm);
pwm1_actual = pwm;
duty1      = (pwm / 255.0f) * 100.0f;
}

void setMotor2(int pwm) {
  pwm = constrain(pwm, 0, 255);
  if (pwm > 0 && pwm < PWM_MIN) pwm = PWM_MIN;
  digitalWrite(MOTOR2_IN3, pwm > 0 ? HIGH : LOW);
  digitalWrite(MOTOR2_IN4, LOW);
  ledcWrite(MOTOR2_ENB, pwm);
  pwm2_actual = pwm;
  duty2      = (pwm / 255.0f) * 100.0f;
}

void updateLCD() {
  char buf[21];

  float avg_duty = (duty1 + duty2) / 2.0f;

  // Baris 1: Setpoint (BERGERAK saat encoder diputar) & Duty Cycle
  lcd.setCursor(0, 0);
  snprintf(buf, sizeof(buf), "SP:%3d  DC:%5.1f%% ",
    setpoint, avg_duty);
  lcd.print(buf);

  // Baris 2: RPM & PWM Motor 1
  lcd.setCursor(0, 1);
  snprintf(buf, sizeof(buf), "M1 RPM:%6.1f PWM:%3d",
    motor1_rpm_filt, pwm1_actual);
  lcd.print(buf);

  // Baris 3: RPM & PWM Motor 2
  lcd.setCursor(0, 2);
  snprintf(buf, sizeof(buf), "M2 RPM:%6.1f PWM:%3d",
    motor2_rpm_filt, pwm2_actual);
  lcd.print(buf);

  // Baris 4: Status
  lcd.setCursor(0, 3);
  if (setpoint == 0)
    snprintf(buf, sizeof(buf), "STATUS: MOTOR STOP ");
  else
    snprintf(buf, sizeof(buf), "MODE : OPEN-LOOP ");
  lcd.print(buf);
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(300);

  Wire.begin(21, 22);

```

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

```

lcd.begin();
lcd.backlight();
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0); lcd.print(" PENGUJIAN MOTOR DC ");
lcd.setCursor(0, 1); lcd.print(" TANPA KONTROL  ");
lcd.setCursor(0, 2); lcd.print(" OPEN - LOOP  ");
lcd.setCursor(0, 3); lcd.print(" ESP32 Trainer Kit ");
delay(2000);
lcd.clear();

pinMode(MOTOR1_IN1, OUTPUT); pinMode(MOTOR1_IN2, OUTPUT);
pinMode(MOTOR2_IN3, OUTPUT); pinMode(MOTOR2_IN4, OUTPUT);
digitalWrite(MOTOR1_IN1, LOW); digitalWrite(MOTOR1_IN2, LOW);
digitalWrite(MOTOR2_IN3, LOW); digitalWrite(MOTOR2_IN4, LOW);

ledcAttach(MOTOR1_ENA, PWM_FREQ, PWM_RESOLUTION);
ledcAttach(MOTOR2_ENB, PWM_FREQ, PWM_RESOLUTION);
ledcWrite(MOTOR1_ENA, 0);
ledcWrite(MOTOR2_ENB, 0);

pinMode(MOTOR1_ENC_A, INPUT_PULLUP); pinMode(MOTOR1_ENC_B,
INPUT_PULLUP);
pinMode(MOTOR2_ENC_A, INPUT_PULLUP); pinMode(MOTOR2_ENC_B,
INPUT_PULLUP);

pinMode(ENC_SP_A, INPUT_PULLUP);
pinMode(ENC_SP_B, INPUT_PULLUP);
pinMode(ENC_SP_BTN, INPUT_PULLUP);

enc_sp_last_a = GPIO_READ_H(ENC_SP_A);

attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(ENC_SP_A), isr_enc_sp, CHANGE);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(MOTOR1_ENC_A), isr_motor1_enc,
RISING);
attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(MOTOR2_ENC_A), isr_motor2_enc,
RISING);

lastControlTime = millis();
lastLCDTime = millis();

Serial.println("=====");
Serial.println(" PENGUJIAN MOTOR DC TANPA KONTROL (OPEN-LOOP)");
Serial.println("=====");
Serial.println("PID : OFF");
Serial.println("FUZZY: OFF");
Serial.println("RPM hanya untuk monitoring, TIDAK ADA koreksi PWM");
Serial.println("=====");
Serial.println("FORMAT DATA: SP,DUTY%,RPM1,PWM1,RPM2,PWM2");
Serial.println("=====");
}

void loop() {
  unsigned long now = millis();

```

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

```
// 1. Proses encoder setpoint (PWM langsung disamakan dengan setpoint)
processEncSP();

// 2. Proses tombol reset
processButtons();

// 3. Baca RPM HANYA untuk monitoring/tampilan
if ((now - lastControlTime) >= SAMPLE_TIME_MS) {
    unsigned long dt = now - lastControlTime;
    lastControlTime = now;

    float rpm1 = calcRPM(motor1_enc_count, dt);
    float rpm2 = calcRPM(motor2_enc_count, dt);

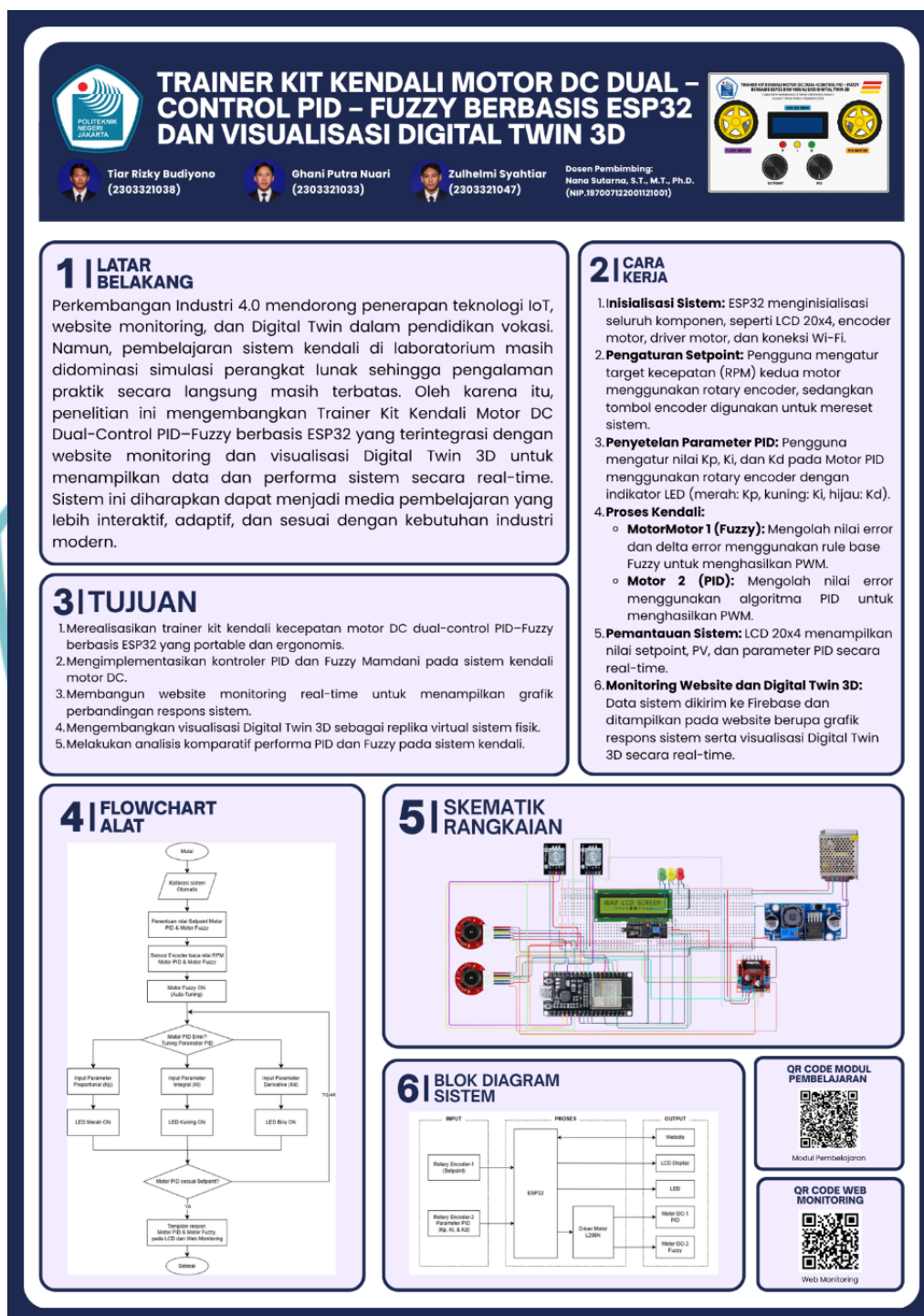
    motor1_rpm_filt = 0.7f * motor1_rpm_filt + 0.3f * rpm1;
    motor2_rpm_filt = 0.7f * motor2_rpm_filt + 0.3f * rpm2;
}

// 4. Serial output
if ((now - lastSerialTime) >= SERIAL_INTERVAL) {
    lastSerialTime = now;
    Serial.print("DATA:");
    Serial.print(setpoint);      Serial.print(",");
    Serial.print(duty1, 1);      Serial.print(",");
    Serial.print(motor1_rpm_filt, 1); Serial.print(",");
    Serial.print(pwm1_actual);    Serial.print(",");
    Serial.print(motor2_rpm_filt, 1); Serial.print(",");
    Serial.println(pwm2_actual);
}

// 5. LCD update
if ((now - lastLCDTime) >= LCD_INTERVAL) {
    lastLCDTime = now;
    updateLCD();
}
}
```

Lampiran 1. 3 POSTER & 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

SOP PENGGUNAAN ALAT

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://transmota-labs.webapp>

Lampiran Datasheet 2. 1 Motor DC JGS25

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.openpulse.com/blog/products-page/25d-gearmotors/jga25-371-dc-gearmotor-encoder-126-rpm-12-v-24-v-text=This JGA25-371 DC ge...](https://www.openpulse.com/blog/products-page/25d-gearmotors/jga25-371-dc-gearmotor-encoder-126-rpm-12-v-24-v-text=This%20JGA25-371%20DC%20ge...) 1/2

Model: JGA25-371		Data Sheet										
Voltage		No Load			Load			Stall		Reducer		Weight
Workable	Rated	Speed	Current	Speed	Current	Torque	Output	Torque	Current	Ratio	Size	Unit
Range	Volt V	rpm	mA	rpm	mA	kg·cm	W	kg·cm	A		mm	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

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





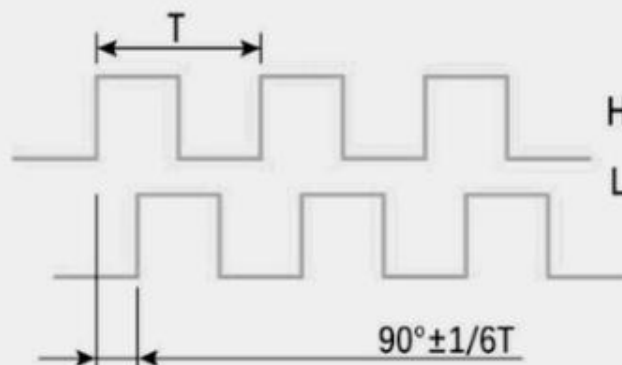
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

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



JAKARTA

Hak Cipta :

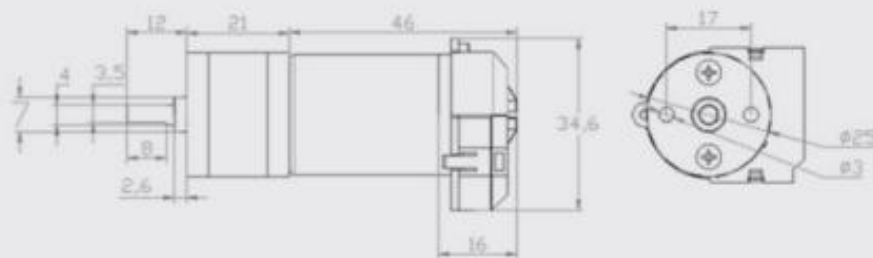
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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



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:



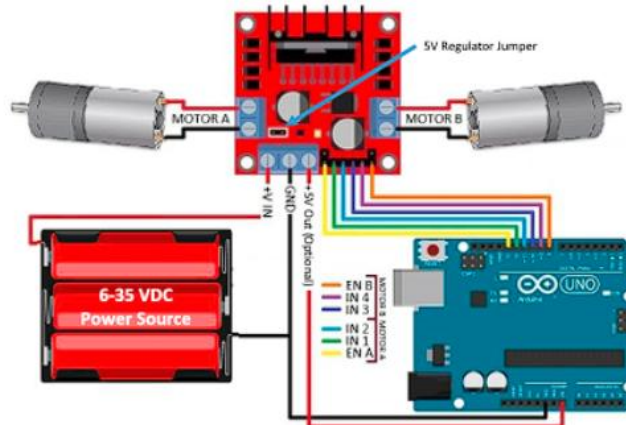
Lampiran Datasheet 2. 2 Driver Motor L298N

L298N DC Motor Driver

Specs

Input Voltage: 6-35 VDC
 Motor Drive Voltage: 0-35 VDC
 Driver Current: 2A MAX Continuous per channel (25W max power dissipation)
 Logic Voltage: 2-5V On/High, <2V Off/Low
 Max Current Output of 5V OUT: 500mA*** (See important note at bottom)

The L298N motor driver can control one or two motors. It requires a power source (6-35V DC) and PWM / digital signals to control rotational speed and direction. To use the motor driver, follow the wiring diagram below (any micro controller will work, not just an Arduino).



Minimum Connections

- Connect terminals labeled "+12V" and "GND" to 6-35V power supply positive and negative. Remember to connect the microcontroller ground as well. The red LED light indicates that the board is receiving power and should illuminate.
- Connect the motor output Positive and Negative terminals to the motor.
- Logic connections as detailed in the tables below (5V MAX)

Fixed Speed Operation (Full speed, forward or reverse)

- Verify that the 5V Regulator Jumper and both ENA and ENB jumpers are in place.
- For forward rotation, connect pin IN1 (or IN3 for motor B) to a +5V source (such as a digital pin on a microcontroller or a power supply). For reverse rotation, connect pin IN2 (or IN4 for motor B) to a +5V source. This will operate the motor at full speed either forward or reverse.

IN1 (IN3)	IN2 (IN4)	ENABLE A/B	Motor Output
5 volts	0 volts	5 volts*	Full speed Forward
0 volts	5 volts	5 volts*	Full speed Reverse

*Use the provided jumpers to pull the front Enable A/B pin up to 5 volts using the 5 volts provided by the rear pin.

Variable Speed Operation

To control motor speed, you must use a PWM signal. Speed is proportional to % Duty Cycle. You cannot use analog voltage to control speed. Connect logic pins as shown in tables below

Control method 1: Speed proportional to PWM on IN1/IN2. (Method 1 is better for slower speeds but requires two PWM signals per motor for Forward/Reverse)

IN1 (IN3)	IN2 (IN4)	ENABLE A/B	Motor Output
PWM (1.5 kHz, 5V Amp., 2.5 V Offset)	0 volts	5 volts*	Variable speed Fwd.
0 volts	PWM (1.5 kHz, 5V Amp., 2.5 V Offset)	5 volts*	Variable speed Rev.

*Use the provided jumpers to pull the front Enable A/B pin up to 5 volts using the 5 volts provided by the rear pin.

Control method 2: Speed proportional to PWM on ENABLE A/B. (Method 2 requires only one PWM signal per motor, however there is significant power loss causing you to lose the bottom half of the motor RPM range)

IN1 (IN3)	IN2 (IN4)	ENABLE A/B	Motor Output
5 volts	0 volts	PWM (1.5 kHz, 5V Amp., 2.5 V Offset)	Variable speed Forward
0 volts	5 volts	PWM (1.5 kHz, 5V Amp., 2.5 V Offset)	Variable speed Reverse

*Remove the provided jumpers on the Enable A/B pins and instead connect the PWM signal on the front pin.

Troubleshooting

Motor makes a "whining" noise and does not spin

This usually occurs when the motor is not receiving sufficient voltage to move. Try increasing your duty cycle.

Motor is weak at low speeds or low Duty Cycle

If you are currently controlling the motor using Method 2 above, try using Method 1. Method 1 allows for a lower Duty Cycle before the motor cuts off. If using Method 1 is not possible, try decreasing the voltage supplied to the board so the motor receives a lower voltage at a higher duty cycle.

*****NOTE ON 5V OUTPUT MAX CURRENT:** If you are using the 5V OUTPUT to supply power to some external load, you must not exceed 12V on the +VIN connection. You cannot go up to the 35V listed above. Doing so will overheat the 5V regulator and temporarily disable the chip. Current capacity at 12V is 500mA.

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

Lampiran Datasheet 2. 3 Datasheet ESP32

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_CH0, 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, TOUCH9, 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_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, F-SPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPICQ, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
SHD/SD2 ²	17	I/O	GPIO9, SD_DATA2, SPIHD, HS1_DATA2, U1RXD
SWP/SD3 ²	18	I/O	GPIO10, SD_DATA3, SWP, HS1_DATA3, U1TXD
SCS/CMD ²	19	I/O	GPIO11, SD_CMD, SPICSS0, HS1_CMD, U1RTS
SCK/CLK ²	20	I/O	GPIO6, SD_CLK, SPICLK, HS1_CLK, U1CTS
SDO/SD0 ²	21	I/O	GPIO7, SD_DATA0, SPIQ, HS1_DATA0, U2RTS
SDI/SD1 ²	22	I/O	GPIO8, SD_DATA1, SPID, HS1_DATA1, U2CTS
IO15	23	I/O	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICSS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPWP, 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, HSPHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
IO16	27	I/O	GPIO16, HS1_DATA4, U2RXD, EMAC_CLK_OUT
IO17	28	I/O	GPIO17, HS1_DATA5, U2TXD, EMAC_CLK_OUT_180
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICSS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPICQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPHD, EMAC_TX_EN
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2

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



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

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*.

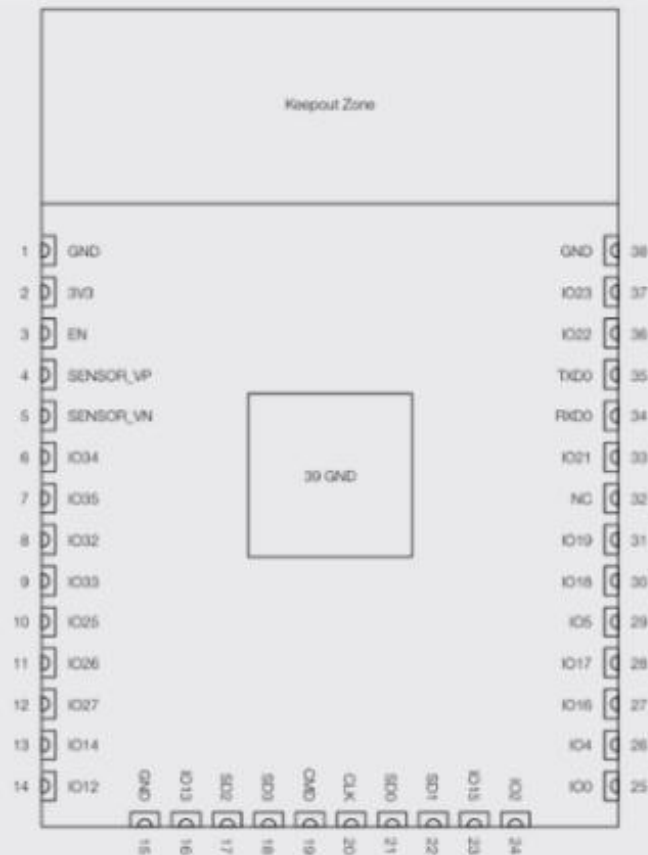


Figure 1: ESP32-WROOM-32 Pin Layout (Top View)

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*.



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

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_{output}^1	Cumulative IO output current	-	1,100	mA
T_{store}	Storage temperature	-40	105	°C

1. The module worked properly after a 24-hour test in ambient temperature at 25 °C, and the IOs in three domains (VDD3P3_RTC, VDD3P3_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.

2. Please see Appendix IO_MUX of *ESP32 Datasheet* for IO's 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	$0.75 \times VDD^1$	-	$VDD^1 + 0.3$	V
V_{IL}	Low-level input voltage	-0.3	-	$0.25 \times VDD^1$	V
I_{IH}	High-level input current	-	-	50	nA
I_{IL}	Low-level input current	-	-	50	nA
V_{OH}	High-level output voltage	$0.8 \times VDD^1$	-	-	V
V_{OL}	Low-level output voltage	-	-	$0.1 \times VDD^1$	V
I_{OH}	High-level source current ($VDD^1 = 3.3$ V, $V_{OH} \geq 2.64$ V, output drive strength set to the maximum)	VDD3P3_CPU power domain ^{1, 2}	-	40	mA
		VDD3P3_RTC power domain ^{1, 2}	-	40	mA
		VDD_SDIO power domain ^{1, 3}	-	20	mA



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

6 RF Characteristics

This section contains tables with RF characteristics of the Espressif 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 ($\pm 5\%$) 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

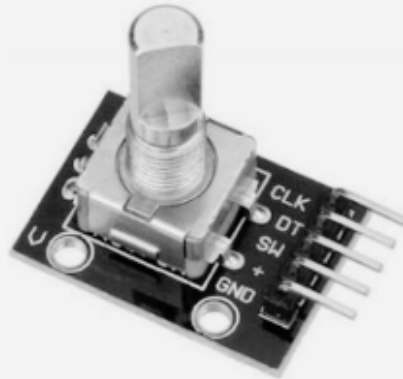
Cont'd on next page

Lampiran Datasheet 2. 4 Rotary Encoder Module KY-040

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

The KY-040 rotary encoder is a rotary input device (as in knob) that provides an indication of how much the knob has been rotated AND what direction it is rotating in. It's a great device for stepper and servo motor control. You could also use it to control devices like digital potentiometers.



SKU: [ASS-1058](#)

Brief Data:

- Operating voltage: 5V.
- Pulses/360° Rotation: 20.
- Output: 2-bit gray code
- Mechanical Angle: 360° continuous.
- With built in push button switch (push to operate)
- Dimensions: (30 x 18 x 30) mm.
- Compatible with Arduino/Raspberry Pi controller board.

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

A rotary encoder has a fixed number of positions per revolution. These positions are easily felt as small "clicks" you turn the encoder. The KY-040 module has thirty of these positions. On one side of the switch there are three pins. They are normally referred to as A, B and C. In the case of the KY-040, they are oriented as shown. Inside the encoder there are two switches. Once switch connects pin A to pin C and the other switch connects pin B to C.



In each encoder position, both switches are either opened or closed. Each click causes these switches to change states as follows:

- If both switches are closed, turning the encoder either clockwise or counterclockwise one position will cause both switches to open
- If both switches are open, turning the encoder either clockwise or counterclockwise one position will cause both switches to close.

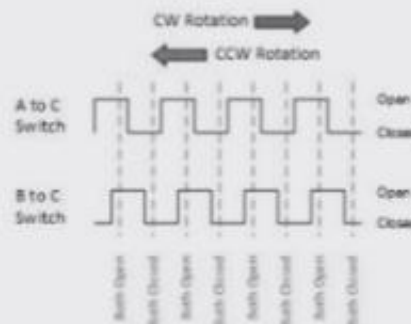
The illustration below is representative of how the switch is constructed.



As you can see, the angular position of the A terminal and the B terminal is such that:

- Rotating the switch clockwise will cause the switch connecting A and C to change states first.
- Rotating the switch counterclockwise will cause the switch connecting B and C to change states first.

If we were to represent the opening and closing of the switches as wave forms, it would look something like this.



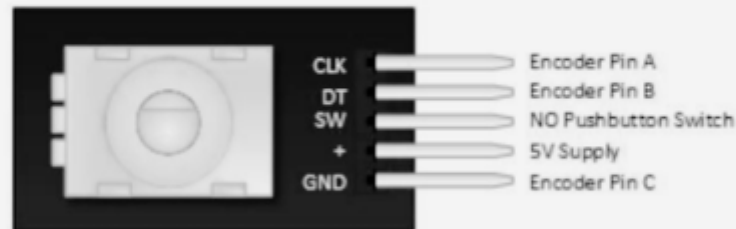
Hak Cipta :

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

Essentially, determining which switch changed states first is how the direction of rotation is determined. If A changed states first, the switch is rotating in a clockwise direction. If B changed states first, the switch is rotating in a counter clockwise direction.

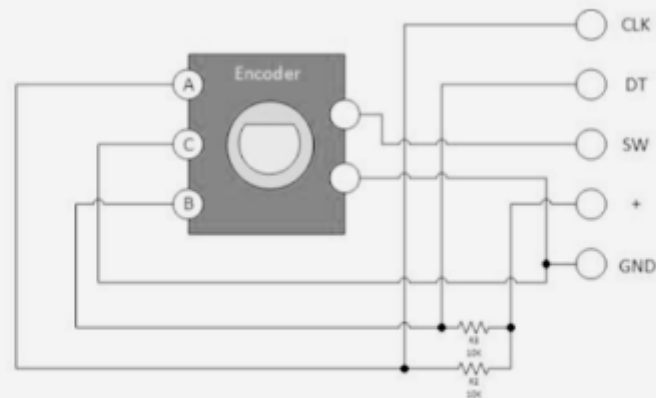
Pin Assignment:

The pin outs for this rotary encoder are identified in the illustration below.



The module is designed so that a low is output when the switches are closed and a high when the switches are open. The low is generated by placing a ground at Pin C and passing it to the CLK and DT pins when switches are closed. The high is generated with a 5V supply input and pull-up resistors, such that CLK and DT are both high when switches are open. Note previously mentioned is the existence of a push button switch that is integral to the encoder. If you push on the shaft, a normally open switch will close. The feature is useful if you want to change switch function. For example, you may wish to have the ability to between coarse and fine adjustments.

Rotary Encoder Schematic:



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

Lampiran Datasheet 2. 5 LCD 20x4 & I2C

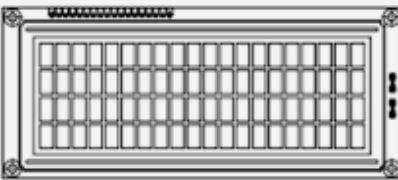


www.vishay.com

LCD-020N004L

Vishay

20 x 4 Character LCD



FEATURES

- Type: Character
- Display format: 20 x 4 characters
- Built-in controller: ST 7066 (or equivalent)
- Duty cycle: 1/16
- 5 x 8 dots includes cursor
- + 5 V power supply (also available for + 3 V)
- LED can be driven by pin 1, pin 2, pin 15, pin 16 or A and K
- N.V. optional for + 3 V power supply
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

MECHANICAL DATA

ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	146.0 x 62.5	mm
Viewing Area	123.5 x 43.0	
Dot Size	0.92 x 1.10	
Dot Pitch	0.98 x 1.16	
Mounting Hole	139.0 x 55.5	
Character Size	4.84 x 9.22	

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	V_{DD} to V_{SS}	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	V_i	- 0.3	-	V_{DD}	

Note

- $V_{SS} = 0$ V, $V_{DD} = 5.0$ V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT
			MIN.	TYP.	MAX.	
Input Voltage	V_{DD}	$V_{DD} = + 5$ V	4.7	5.0	5.3	V
		$V_{DD} = + 3$ V	2.7	3.0	5.3	
Supply Current	I_{DD}	$V_{DD} = + 5$ V	-	8.0	10.0	mA
		- 20 °C	5.0	5.1	5.7	V
		0 °C	4.6	4.8	5.2	
		25 °C	4.1	4.5	4.7	
		50 °C	3.9	4.2	4.5	
		70 °C	3.7	3.9	4.3	
LED Forward Voltage	V_f	25 °C	-	4.2	4.6	V
LED Forward Current	I_f	25 °C	-	540	1080	mA
EL Power Supply Current	I_{EL}	$V_{EL} = 110$ V _{AC} , 400 Hz	-	-	5.0	mA

OPTIONS

PROCESS COLOR						BACKLIGHT			
TN	STN Gray	STN Yellow	STN Blue	FSTN B&W	STN Color	None	LED	EL	CCFL
x	x	x	x	x		x	x	x	

For detailed information, please see the "Product Numbering System" document.

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE

Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DD RAM Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	10	11	12	13
DD RAM Address	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F	50	51	52	53
DD RAM Address	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F	20	21	22	23	24	25	26	27
DD RAM Address	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F	60	61	62	63	64	65	66	67

Revision: 09-Oct-12

1

Document Number: 37314

For technical questions, contact: displays@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc?99912

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



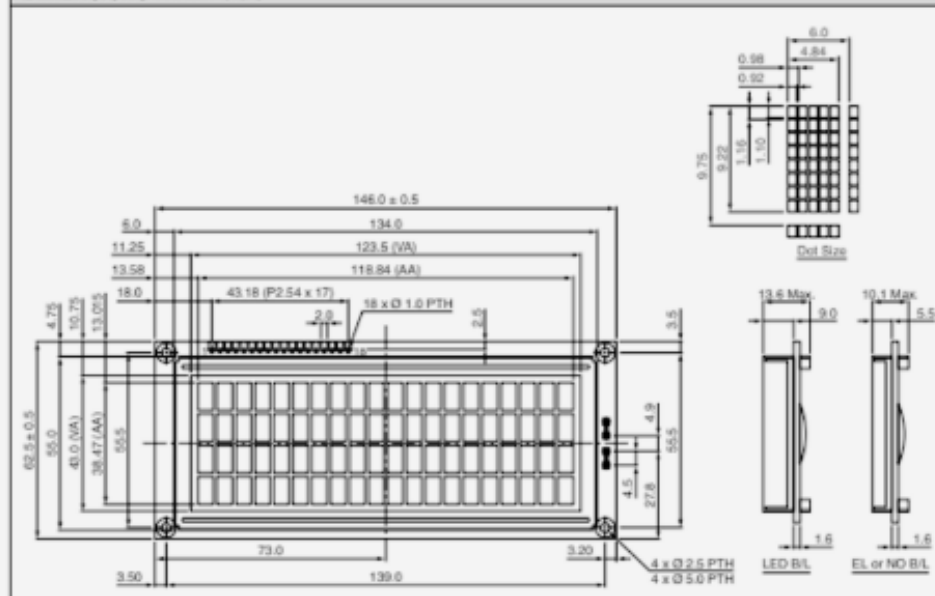
www.vishay.com

LCD-020N004L

Vishay

INTERFACE PIN FUNCTION		
PIN NO.	SYMBOL	FUNCTION
1	V _{SS}	Ground
2	V _{DD}	+ 3 V or + 5 V
3	V ₀	Contrast adjustment
4	RS	H/L register select signal
5	R/W	H/L read/write signal
6	E	H → L enable signal
7	DB0	H/L data bus line
8	DB1	H/L data bus line
9	DB2	H/L data bus line
10	DB3	H/L data bus line
11	DB4	H/L data bus line
12	DB5	H/L data bus line
13	DB6	H/L data bus line
14	DB7	H/L data bus line
15	A	Power supply for LED (4.2 V)
16	K	Power supply for B/L (0 V)
17	NC/V _{BE}	NC or negative voltage output
18	NC	NC connection

DIMENSIONS in millimeters



Revision: 09-Oct-12

2

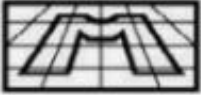
Document Number: 37314

For technical questions, contact: displays@vishay.com

THIS DOCUMENT IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE. THE PRODUCTS DESCRIBED HEREIN AND THIS DOCUMENT ARE SUBJECT TO SPECIFIC DISCLAIMERS, SET FORTH AT www.vishay.com/doc/791000

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



MANTECH ELECTRONICS

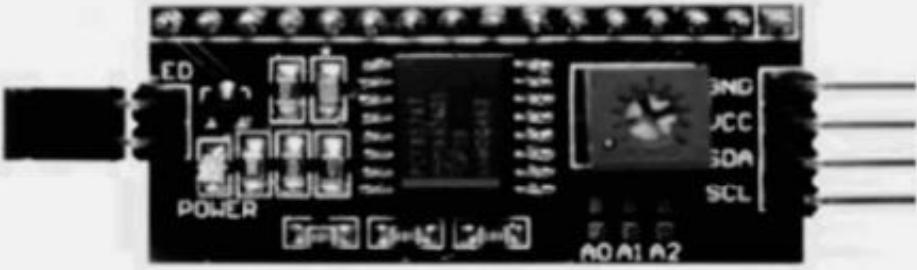
International Components Distributor
A MOBICON COMPANY

TEL JHB : (011) 493-8307
CAPE : (021) 535-3100
KZN : (031) 309-7686

FAX : (011) 493-0319

sales@mantech.co.za
www.mantech.co.za

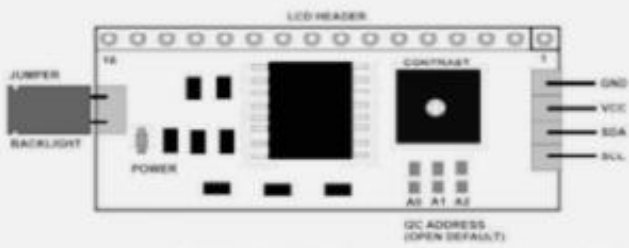
I2C interface for LCD



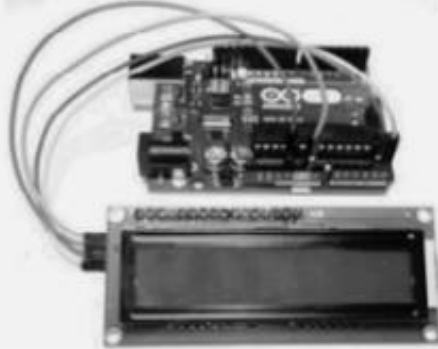
Description:
This LCD2004 is a great I2C interface for 2x16 and 4x20 LCD displays. With the limited pin resources, your project may be out of resources using normal LCD shield. With this I2C interface LCD module, you only need 2 lines (I2C) to display the information. If you already has I2C devices in your project, this LCD module actually cost no more resources at all. Fantastic for Arduino based projects.

Specification:
Compatible with 16x2 and 20x4 LCD's
Default I2C Address = 0x27
Address selectable - Range 0x20 to 0x27

Board Layout:



I2C Address Setup:



© Copyright 2017 , Mantech Electronics (Pty) Ltd. All rights reserved.
A MOBICON Company.

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

The LCD2004 board utilized the PCF8574 I/O expander. This nifty little chip provides eight bits of parallel I/O addressable by a I2C bus address -- 0x00 to 0x27. SainSmart tied all address leads to Vcc, so the LCD2004 board's I2C address is permanently fixed at hex 27. This is rather limiting since no additional LCD2004s can be added to the bus. Anyway, you simply address the board and write an eight bit value which is then presented on the output pins of the PCF8574, which, in this case, are connected to the HD44780 based LCD screen.

INPUTS			I2C SLAVE ADDRESS
A2	A1	A0	
L	L	L	0x20
L	L	H	0x21
L	H	L	0x22
L	H	H	0x23
H	L	L	0x24
H	L	H	0x25
H	H	L	0x26
H	H	H	0x27

H = Open Jumper L = Close Jumper

```
// Arduino Code
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,2,1,0,4,5,6,7,3, POSITIVE); // Initialize LCD Display at address 0x27
// unmodified backpack

void setup() {
  // activate LCD module
  lcd.begin (16,2); // for 16 x 2 LCD module
  lcd.setBacklightPin(3,POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
}

void loop() {
  lcd.home (); // set cursor to 0,0
  lcd.print(" Hello, world!");
  lcd.setCursor (0,1); // go to start of 2nd line
  lcd.print(millis());
  delay(1000);
  lcd.setBacklight(LOW); // Backlight off
  delay(500);
  lcd.setBacklight(HIGH); // Backlight on

  delay(1000);
} // END

Check for more info at
https://arduino-info.wikispaces.com/LCD-Blue-I2C

© Copyright 2017 , Mantech Electronics (Pty) Ltd. All rights reserved.
A MOBITRON Company.
```

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



MODUL PRAKTIKUM

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

Tugas Akhir

Disusun oleh:

Ghani Putra Nuari (2303321033)
Tiar Rizky Budiyo (2303321038)
Zulhelmi Syahtiar (2303321047)

JOBSHEET 1: Pengenalan Komponen dan Sistem

Mata Kuliah :

Semester :

Hari/Tanggal :

Nama/Kelompok :

A. Tujuan

1. Mengenal dan memahami komponen-komponen utama Trainer Kit Kendali Motor DC Dual-Control PID-Fuzzy.
2. Memahami fungsi dan cara kerja masing-masing komponen dalam sistem kendali.
3. Mampu melakukan identifikasi komponen hardware dan software yang digunakan.
4. Memahami konfigurasi wiring dan koneksi antar komponen dalam sistem.
5. Mampu melakukan inisialisasi dan pengujian awal sistem Trainer Kit.

B. Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan Pengujian

No	Nama Alat/Bahan	Jenis	Jumlah
1	Trainer Kit Kendali Motor DC Dual Control PID-Fuzzy	-	1
2	Laptop/HP		1
3	Lembar pengamatan (Jobsheet)		1

C. Prosedur Kerja

1. Lakukan pemeriksaan visual terhadap seluruh komponen Trainer Kit. Pastikan tidak ada komponen yang rusak, kabel putus, atau sambungan longgar.
2. Identifikasi dan catat setiap komponen pada Tabel Identifikasi Komponen berikut. Tuliskan nama komponen, fungsi, dan spesifikasi teknisnya.
3. Periksa koneksi wiring antara ESP32, Driver Motor L298N, kedua Motor DC, Rotary Encoder, dan LCD Display. Pastikan semua kabel terhubung sesuai dengan wiring diagram.
4. Hubungkan kabel power supply 220V AC ke Trainer Kit. Pastikan tegangan output power supply menunjukkan 12V DC menggunakan multimeter.

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





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

5. Hubungkan kabel data USB Type-C dari ESP32 ke laptop. Buka software Arduino IDE dan pastikan Board Manager ESP32 Dev Module terdeteksi pada port yang sesuai.
6. Nyalakan Trainer Kit dengan menekan tombol power. Amati proses inisialisasi pada LCD Display. Pastikan LCD menampilkan pesan inisialisasi berhasil dan status koneksi Wi-Fi.
7. Uji fungsi Rotary Encoder 1 dengan memutarnya searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam. Amati perubahan nilai Setpoint pada LCD Display.
8. Uji fungsi Rotary Encoder 2 dengan menekan push button untuk bergantian memilih parameter Kp, Ki, dan Kd. Pastikan LED indikator menyala sesuai dengan parameter yang dipilih.
9. Uji fungsi kedua Motor DC dengan memberikan nilai Setpoint 50 RPM. Amati apakah kedua motor berputar sesuai dengan target kecepatan.
10. Uji koneksi Wi-Fi dengan membuka browser dan mengakses alamat website monitoring. Pastikan data real-time muncul pada grafik dan Visualisasi Digital Twin 3D berputar sesuai kecepatan motor.
11. Matikan sistem dengan urutan yang benar: matikan power supply, lalu cabut kabel data daya.

D. Tabel Pengujian

Tabel 2. Tabel Identifikasi Komponen

No	Nama Komponen	Fungsi	Spesifikasi Teknis
1	ESP32		
2	Driver		
3	Motor DC PID		
4	Motor DC Fuzzy		
5	Rotary Encoder 1 (Setpoint)		
6	Rotary Encoder (Parameter PID)		
7	LCD Display		
8	LED Indikator Merah		
9	LED Indikator Kuning		
10	LED Indikator Hijau		

Tabel 3. Tabel Pengujian Fungsi Komponen

No	Komponen yang diuji	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Power Supply		
2	ESP32 (Boot & Wi-Fi)		
3	Motor DC PID		
4	Motor DC Fuzzy		
5	Rotary Encoder 1 (Setpoint)		
6	Rotary Encoder 2 (Parameter PID)		

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

E. Pertanyaan

1. Jelaskan fungsi utama dari masing-masing komponen berikut: ESP32, Driver Motor L298N, dan Motor DC dengan Encoder!
2. Mengapa dalam sistem ini digunakan dua buah Rotary Encoder? Jelaskan perbedaan fungsi Rotary Encoder 1 dan Rotary Encoder 2!
3. Apa yang dimaksud dengan feedback control dalam sistem kendali Motor DC? Jelaskan peran sensor encoder sebagai feedback!
4. Mengapa LED Indikator menggunakan tiga warna berbeda (Merah, Kuning, Biru)? Jelaskan masing-masing fungsinya!
5. Jelaskan cara kerja sistem secara singkat mulai dari input (Setpoint) hingga output (gerakan motor)!
6. Apa perbedaan antara kontrol PID dan kontrol Fuzzy dalam konteks pengaturan kecepatan Motor DC?
7. Mengapa ESP32 dipilih sebagai mikrokontroler utama dalam sistem ini dibandingkan dengan mikrokontroler lain seperti Arduino Uno?
8. Jelaskan konsep Digital Twin 3D dan bagaimana implementasinya pada Trainer Kit ini!



**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

JOBSHEET 2: Tuning PID Manual dengan Rotary Encoder

Mata Kuliah :

Semester :

Hari/Tanggal :

Nama/Kelompok :

A. Tujuan

1. Memahami konsep dan prinsip kerja kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) pada pengaturan kecepatan Motor DC.
2. Mampu melakukan tuning parameter PID (K_p , K_i , K_d) secara manual menggunakan metode Trial and Error melalui Rotary Encoder.
3. Menganalisis pengaruh perubahan masing-masing parameter PID terhadap respons sistem (Overshoot, Rise Time, Settling Time, Steady-State Error).
4. Memahami hubungan antara parameter K_p , K_i , dan K_d dalam mencapai respons sistem yang optimal hingga mampu menentukan nilai parameter PID optimal untuk berbagai kondisi Setpoint.

B. Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan Pengujian

No	Nama Alat/Bahan	Jenis	Jumlah
1	Trainer Kit Kendali Motor DC Dual Control PID-Fuzzy	-	1
2	Laptop/HP		1
3	Lembar pengamatan (Jobsheet)		1

C. Prosedur Kerja

Metode Trial and Error adalah metode tuning parameter PID dengan melakukan penyesuaian nilai K_p , K_i , dan K_d secara bertahap sambil mengamati respons sistem. Prosedur umum tuning PID dengan metode Trial and Error adalah sebagai berikut:

1. Nyalakan Trainer Kit dan pastikan sistem berjalan normal. Hubungkan ESP32 ke laptop menggunakan kabel data USB Type-C.

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. Buka software MATLAB dan buat "New Script". Ketik kode Python untuk mengambil data respons Motor DC PID dari ESP32, lalu tekan "Run" untuk eksekusi.
3. Atur nilai Setpoint (SP) = 100 RPM menggunakan Rotary Encoder 1. Pastikan nilai SP tampil pada LCD Display dan grafik MATLAB.
4. Tahap 1 - Tuning Kp: Tekan push button pada Rotary Encoder 2 hingga LED Merah menyala (mode Kp). Atur $K_i = 0$ dan $K_d = 0$ terlebih dahulu. Naikkan nilai Kp secara bertahap (misal: 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0) sambil mengamati respons motor pada grafik MATLAB. Catat nilai Kp yang menghasilkan respons dengan overshoot minimal namun rise time yang cukup cepat.
5. Tahap 2 - Tuning Ki: Setelah Kp ditentukan, tekan push button hingga LED Kuning menyala (mode Ki). Naikkan nilai Ki secara bertahap (misal: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5) sambil mengamati penghilangan steady-state error. Catat nilai Ki yang menghilangkan steady-state error tanpa menyebabkan overshoot berlebihan.
6. Tahap 3 - Tuning Kd: Setelah Kp dan Ki ditentukan, tekan push button hingga LED Biru menyala (mode Kd). Naikkan nilai Kd secara bertahap (misal: 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5) sambil mengamati pengurangan overshoot dan settling time. Catat nilai Kd yang menghasilkan respons paling optimal.
7. Lakukan pengujian ulang dengan kombinasi parameter yang telah ditentukan. Amati dan catat nilai Overshoot (%), Rise Time (detik), Settling Time (detik), dan Steady-State Error (RPM) pada Tabel Hasil Akhir Tuning.
8. Ulangi prosedur tuning untuk Setpoint yang berbeda: 50 RPM, 100 RPM, 150 RPM, dan 200 RPM. Catat hasilnya pada tabel pengujian.

D. Tabel Pengujian

Tabel 2. Tabe Pengujian Tuning Parameter Kp ($K_i=0$, $K_d=0$)

No	Nilai Kp	SP (RPM)	PV (RPM)	Overshoot (%)	Keterangan
1					
2					
3					
4					
5					

Tabel 3. Tabe Pengujian Tuning Parameter Ki ($K_i=Optimal$, $K_d=0$)

No	Nilai Ki	SP (RPM)	PV (RPM)	Overshoot (%)	Keterangan
1					
2					
3					
4					
5					

Tabel 4. Tabel Pengujian Tuning Parameter Kd (Ki=Optimal, Ki=Optimal)

No	Nilai Ki	SP (RPM)	PV (RPM)	Overshoot (%)	Keterangan
1					
2					
3					
4					
5					

E. Tabel Hasil Akhir Tuning

Tabel 5. Tabel Pengujian Tuning Parameter PID Berbagai Setpoint

No	Setpoint	Kp	Ki	Kd	Keterangan
1					
2					
3					
4					
5					

F. Pertanyaan

1. Jelaskan pengaruh peningkatan nilai Kp terhadap respons sistem Motor DC! Mengapa nilai Kp yang terlalu tinggi dapat menyebabkan sistem tidak stabil?
2. Apa yang dimaksud dengan steady-state error? Bagaimana parameter Ki membantu menghilangkan steady-state error?
3. Jelaskan fungsi parameter Kd dalam mengurangi overshoot! Mengapa Kd tidak boleh terlalu besar?
4. Berdasarkan hasil pengujian Anda, berapakah nilai Kp, Ki, dan Kd optimal untuk Setpoint 100 RPM? Jelaskan alasan pemilihan nilai tersebut!
5. Bandingkan respons sistem untuk Setpoint 50 RPM dan 200 RPM! Apakah parameter PID yang sama menghasilkan kinerja yang sama baiknya untuk kedua Setpoint? Jelaskan!
6. Jelaskan kelebihan dan kekurangan metode Trial and Error dalam tuning parameter PID!
7. Apa yang terjadi jika Ki ditambahkan sebelum Kp ditentukan? Jelaskan fenomena yang mungkin terjadi!
8. Gambarkan kurva respons sistem ideal (tidak ada overshoot, settling time cepat, steady-state error nol) dan bandingkan dengan kurva respons hasil pengujian Anda!

JOBSHEET 3: Analisis Respon Fuzzy Logic Controller

Mata Kuliah :

Semester :

Hari/Tanggal :

Nama/Kelompok :

A. Tujuan

1. Memahami konsep dan prinsip kerja Fuzzy Logic Controller (FLC) pada pengaturan kecepatan Motor DC.
2. Menganalisis efektivitas membership function dan rule base Fuzzy dalam mengatasi steady-state error.
3. Mampu menganalisis respons sistem Fuzzy terhadap berbagai kondisi setpoint dan gangguan beban.
4. Membandingkan karakteristik respons Fuzzy dengan kontrol PID yang telah dipelajari pada Jobsheet 2.
5. Memahami keunggulan Fuzzy Logic Controller dalam menangani non-linearitas dan ketidakpastian sistem.

B. Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan Pengujian

No	Nama Alat/Bahan	Jenis	Jumlah
1	Trainer Kit Kendali Motor DC Dual Control PID-Fuzzy	-	1
2	Laptop/HP		1
3	Lembar pengamatan (Jobsheet)		1

C. Prosedur Kerja

1. Nyalakan Trainer Kit dan pastikan sistem berjalan normal. Hubungkan ESP32 ke laptop menggunakan kabel data USB Type-C.
2. Buka software MATLAB dan buat "New Script". Ketik kode Python untuk mengambil data respons Motor DC Fuzzy dari ESP32, lalu tekan "Run" untuk eksekusi.
3. Atur mode operasi ke Mode Fuzzy Only agar hanya Motor Fuzzy yang beroperasi. Motor Fuzzy berjalan dengan parameter pre-tuned yang telah ditentukan dalam program.

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

4. Atur nilai Setpoint (SP) = 100 RPM menggunakan Rotary Encoder 1. Amati respons Motor Fuzzy pada grafik MATLAB dan catat nilai PV (Process Variable) setiap 1 detik hingga sistem mencapai steady state.
5. Hitung nilai Overshoot (%), Rise Time (detik), Settling Time (detik), dan Steady-State Error (RPM) dari kurva respons yang diperoleh. Catat hasilnya pada Tabel Pengujian Respon Fuzzy.
6. Ulangi pengujian untuk Setpoint yang berbeda: 50 RPM, 100 RPM, 150 RPM, 200 RPM, dan 250 RPM. Catat hasilnya pada tabel pengujian.
7. Lakukan pengujian gangguan beban: Set Setpoint = 150 RPM, tunggu hingga sistem stabil, kemudian berikan gangguan beban ringan pada poros Motor Fuzzy dengan menahannya secara perlahan selama 3-5 detik. Lepaskan gangguan dan amati respons pemulihan sistem. Catat nilai PV sebelum, saat, dan sesudah gangguan pada Tabel Pengujian Gangguan Beban.
8. Lakukan pengujian perubahan Setpoint bertahap: Mulai dari 0 RPM, naikkan Setpoint menjadi 50 RPM, tunggu stabil, naikkan ke 100 RPM, 150 RPM, 200 RPM, dan 250 RPM secara bertahap. Amati respons transisi setiap perubahan Setpoint. Catat hasilnya pada Tabel Pengujian Perubahan Setpoint.

D. Tabel Pengujian Respon Fuzzy

Tabel 1. Pengujian Respon Fuzzy

No	Setpoint (RPM)	PV (RPM)	Overshoot (%)	Rise Time (s)	Settling Time (s)
1	50				
2	100				
3	150				
4	200				
5	250				

E. Tabel Pengujian Gangguan Beban

Tabel 2. Pengujian Gangguan Beban

No	Waktu (s)	Kondisi	PV (RPM)	Keterangan
1	0-10	Sebelum Gangguan		Sistem stabil
2	10-13	Saat Gangguan		Berikan beban ringan
3	13-15	Saat Gangguan		Tahan beban
4	15-20	Setelah Gangguan Dilepaskan		Amati pemulihan
5	20-30	Setelah Stabil		Sistem kembali stabil

F. Tabel Pengujian Perubahan Setpoint

Tabel 3. Pengujian Perubahan Setpoint

No	Setpoint Awal (RPM)	Setpoint Baru (RPM)	Waktu Transisi (s)	Overshoot (%)	Settling Time (s)
1	0	50			
2	50	100			
3	100	150			
4	150	200			
5	200	250			

6	250	300			
---	-----	-----	--	--	--

G. Pertanyaan

1. Jelaskan perbedaan utama antara kontrol PID dan kontrol Fuzzy dalam menangani non-linearitas sistem Motor DC!
2. Berdasarkan hasil pengujian, bagaimana respons Motor Fuzzy terhadap perubahan Setpoint? Apakah terdapat overshoot yang signifikan? Jelaskan!
3. Analisis hasil pengujian gangguan beban! Bagaimana kemampuan Fuzzy Logic Controller dalam menangani gangguan beban dibandingkan dengan kontrol PID yang telah Anda pelajari?
4. Jelaskan konsep membership function dan rule base dalam Fuzzy Logic Controller! Bagaimana kedua komponen tersebut bekerja bersama untuk menghasilkan sinyal kontrol?
5. Mengapa metode Fuzzy Mamdani dipilih dalam sistem ini? Jelaskan kelebihan metode Mamdani dibandingkan dengan metode Sugeno!
6. Berdasarkan Tabel Rule Base 5×5, jelaskan logika di balik aturan IF-THEN untuk kondisi Error = NB dan Delta Error = PB!
7. Apa yang dimaksud dengan proses defuzzification? Jelaskan metode Center of Gravity (COG) yang digunakan dalam sistem ini!
8. Bandingkan nilai Steady-State Error antara Motor Fuzzy dan Motor PID (dari Jobsheet 2) untuk Setpoint yang sama! Apa kesimpulan Anda?

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

JOBSHEET 4: Perbandingan Dual-Control PID vs Fuzzy

Mata Kuliah :

Semester :

Hari/Tanggal :

Nama/Kelompok :

A. Tujuan

1. Membandingkan kinerja metode kontrol PID dan Fuzzy Logic Controller secara simultan dalam kondisi operasi yang identik.
2. Menganalisis parameter respons sistem (Overshoot, Rise Time, Settling Time, Steady-State Error) dari kedua metode kontrol untuk berbagai kondisi Setpoint.
3. Mengevaluasi kemampuan kedua metode kontrol dalam menangani perubahan Setpoint dan gangguan beban.
4. Menentukan metode kontrol yang paling optimal untuk berbagai kondisi operasi Motor DC.
5. Memahami kelebihan dan kekurangan masing-masing metode kontrol dalam aplikasi praktis.

B. Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan Pengujian

No	Nama Alat/Bahan	Jenis	Jumlah
1	Trainer Kit Kendali Motor DC Dual Control PID-Fuzzy	-	1
2	Laptop/HP		1
3	Lembar pengamatan (Jobsheet)		1

C. Prosedur Kerja

1. Nyalakan Trainer Kit dan pastikan sistem berjalan normal dalam Mode Normal (Dual-Control Simultan). Hubungkan ESP32 ke laptop menggunakan kabel data USB Type-C.
2. Buka software MATLAB dan buat "New Script". Ketik kode Python untuk mengambil data respons Motor DC PID dan Motor DC Fuzzy dari ESP32 secara simultan, lalu tekan "Run" untuk eksekusi.
3. Atur nilai Setpoint (SP) = 100 RPM menggunakan Rotary Encoder 1. Pastikan kedua motor (PID dan Fuzzy) beroperasi dengan Setpoint yang sama.

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. Lakukan tuning parameter PID (K_p , K_i , K_d) menggunakan Rotary Encoder 2 hingga respons Motor PID mendekati optimal. Gunakan hasil tuning dari Jobsheet 2 sebagai referensi awal.
5. Amati dan catat nilai PV (Process Variable) Motor PID dan Motor Fuzzy setiap 1 detik hingga kedua sistem mencapai steady state. Hitung nilai Overshoot (%), Rise Time (detik), Settling Time (detik), dan Steady-State Error (RPM) untuk kedua motor.
6. Ulangi pengujian untuk Setpoint yang berbeda: 50 RPM, 100 RPM, 150 RPM, 200 RPM, dan 250 RPM. Pastikan parameter PID di-tune ulang untuk setiap Setpoint jika diperlukan.
7. Lakukan pengujian multi-Setpoint bertahap: Mulai dari 0 RPM, naikan ke 50 RPM, 100 RPM, 150 RPM, 200 RPM, dan 250 RPM secara bertahap dengan interval 30 detik. Amati dan catat respons transisi kedua motor pada setiap perubahan Setpoint.
8. Lakukan pengujian gangguan beban: Set Setpoint = 150 RPM, tunggu hingga kedua sistem stabil, kemudian berikan gangguan beban ringan pada poros Motor PID dan Motor Fuzzy secara bergantian selama 3-5 detik. Amati dan catat respons pemulihan kedua motor.

D. Tabel Pengujian Perbandingan Dual-Control

Tabel 2. Perbandingan Dual-Control

No	Setpoint (RPM)	Parameter	PID	Fuzzy	Lebih Baik	Keterangan
1	100	Overshoot (%)				
2	100	Rise Time (s)				
3	100	Settling Time (s)				
4	100	Steady-State Error (RPM)				
5	100	PWM Output (rata-rata)				
6	100	Kestabilan				

E. Tabel Pengujian Multi-Setpoint

Tabel 3. Pengujian Multi Setpoint

No	Setpoint (RPM)	PV PID (RPM)	PV Fuzzy (RPM)	Error PID (RPM)	Error Fuzzy (RPM)
1	50				
2	100				
3	150				
4	200				
5	250				
6	300				

F. Pertanyaan

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

1. Berdasarkan hasil pengujian, metode kontrol mana (PID atau Fuzzy) yang memberikan overshoot lebih kecil? Jelaskan mengapa demikian!
2. Bandingkan nilai Rise Time antara Motor PID dan Motor Fuzzy! Metode mana yang lebih cepat mencapai Setpoint? Jelaskan faktor yang mempengaruhi!
3. Apakah parameter PID yang optimal untuk Setpoint 100 RPM juga optimal untuk Setpoint 200 RPM? Jelaskan fenomena yang terjadi!
4. Jelaskan mengapa Motor Fuzzy tidak memerlukan tuning manual seperti Motor PID! Apa kelebihan dan kekurangan dari pendekatan ini?
5. Berdasarkan pengujian multi-Setpoint, bagaimana kemampuan adaptasi kedua metode kontrol terhadap perubahan Setpoint yang cepat?
6. Jika Anda diminta memilih metode kontrol untuk aplikasi industri yang memerlukan presisi tinggi dan beban yang bervariasi, metode mana yang akan Anda pilih? Jelaskan alasannya!
7. Buatlah kesimpulan komprehensif berdasarkan seluruh data pengujian! Mana metode kontrol yang lebih unggul secara keseluruhan dan dalam kondisi apa masing-masing metode lebih unggul?

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

JOBSHEET 5: Monitoring IoT dan Visualisasi Digital Twin 3D

Mata Kuliah :

Semester :

Hari/Tanggal :

Nama/Kelompok :

A. Tujuan

1. Memahami konsep Internet of Things (IoT) dalam sistem monitoring dan kontrol jarak jauh.
2. Mampu mengakses dan menggunakan platform website monitoring untuk melihat data real-time dari Trainer Kit.
3. Menganalisis komunikasi data real-time antara ESP32 dan platform website menggunakan protokol WebSocket.
4. Memahami konsep Digital Twin 3D dan mampu mengamati visualisasi model 3D Motor DC yang tersinkronisasi dengan kondisi aktual.
5. Mengevaluasi kualitas komunikasi data berdasarkan parameter latensi dan kestabilan koneksi.
6. Mampu menggunakan mode simulasi (offline) sebagai alternatif pembelajaran ketika Trainer Kit tidak tersedia.

B. Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan Pengujian

No	Nama Alat/Bahan	Jenis	Jumlah
1	Trainer Kit Kendali Motor DC Dual Control PID-Fuzzy	-	1
2	Laptop/HP		1
3	Lembar pengamatan (Jobsheet)		1

C. Prosedur Kerja

1. Nyalakan Trainer Kit dan pastikan sistem berjalan normal. Pastikan ESP32 berhasil terhubung ke jaringan Wi-Fi (indikator LED Wi-Fi pada ESP32 berhenti berkedip dan menyala terus).
2. Buka browser web pada laptop dan akses alamat website monitoring yang telah dikonfigurasi (misal: alamat IP lokal ESP32 atau domain website).
3. Amati tampilan utama website yang terdiri dari: (a) Panel Grafik Real-Time menampilkan kurva SP, PV PID, dan PV Fuzzy; (b) Panel Data Numerik menampilkan nilai SP, PV PID, PV Fuzzy, Kp, Ki, Kd, dan PWM; (c) Panel

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

Visualisasi Digital Twin 3D menampilkan model 3D Motor DC yang berputar.

4. Atur nilai Setpoint = 100 RPM menggunakan Rotary Encoder 1 pada Trainer Kit. Amati perubahan grafik real-time pada website. Pastikan kurva PV PID dan PV Fuzzy mengikuti nilai SP.
5. Lakukan tuning parameter PID menggunakan Rotary Encoder 2. Amati perubahan nilai Kp, Ki, Kd pada panel data numerik website dan bagaimana perubahan tersebut mempengaruhi kurva grafik.
6. Amati Visualisasi Digital Twin 3D. Pastikan model 3D Motor DC berputar dengan kecepatan yang sinkron dengan kecepatan aktual motor fisik. Catat apakah terdapat delay atau ketidaksesuaian antara kecepatan model 3D dan motor fisik.
7. Lakukan pengujian latensi data: Catat waktu (dalam detik) antara perubahan Setpoint pada Trainer Kit hingga perubahan tersebut terlihat pada grafik website. Ulangi 10 kali dan hitung rata-rata latensi.
8. Lakukan pengujian stabilitas koneksi: Biarkan sistem berjalan selama 10 menit dengan Setpoint = 150 RPM. Catat berapa kali koneksi terputus (jika ada) dan berapa lama waktu pemulihan koneksi.
9. Uji mode simulasi (offline): Matikan Trainer Kit (power off). Buka mode simulasi pada website. Amati apakah grafik dan Digital Twin 3D masih berjalan dengan data simulasi internal. Bandingkan hasil simulasi dengan data aktual dari Trainer Kit.
10. Lakukan pengujian multi-device: Akses website monitoring dari perangkat lain (smartphone/tablet) yang terhubung ke jaringan Wi-Fi yang sama. Pastikan data yang ditampilkan konsisten antar perangkat.

D. Tabel Pengujian Komunikasi Data

Tabel 2. Pengujian Komunikasi Data

No	Parameter Data	Nilai pada LCD	Nilai pada Website	Selisih
1	Setpoint (SP) RPM			
2	PV Motor PID (RPM)			
3	PV Motor Fuzzy (RPM)			
4	Nilai Kp			
5	Nilai Ki			
6	Nilai Kd			

E. Tabel Pengujian Latensi Data

Tabel 3. Tabel Latensi Data

No	Waktu Perubahan Setpoint	Waktu Muncul di Website	Latensi (detik)
1			
2			
3			

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			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
Rata-rata			

F. Tabel Pengujian Mode Operasi

Tabel 4. Pengujian Mode Operasi

No	Mode Operasi	Status (Berhasil/Gagal)	Keterangan
1	Mode Normal (Dual-Control)	☐ Berhasil ☐ Gagal	
2	Mode PID Only	☐ Berhasil ☐ Gagal	
3	Mode Fuzzy Only	☐ Berhasil ☐ Gagal	
4	Mode IoT Monitoring	☐ Berhasil ☐ Gagal	
5	Mode Simulasi (Offline)	☐ Berhasil ☐ Gagal	

G. Pertanyaan

1. Jelaskan konsep Internet of Things (IoT) dan bagaimana implementasinya pada Trainer Kit ini!
2. Apa yang dimaksud dengan protokol WebSocket? Mengapa WebSocket dipilih sebagai protokol komunikasi data real-time antara ESP32 dan website?
3. Berdasarkan hasil pengujian latensi data, berapakah rata-rata latensi komunikasi data? Apakah latensi tersebut masih dapat diterima untuk aplikasi monitoring real-time? Jelaskan!
4. Jelaskan konsep Digital Twin 3D! Bagaimana data dari sensor encoder Motor DC digunakan untuk mengontrol animasi rotasi model 3D pada website?
5. Bandingkan data yang ditampilkan pada LCD Display dengan data pada website! Apakah terdapat perbedaan? Jika ya, jelaskan kemungkinan penyebabnya!
6. Apa kelebihan dan kekurangan mode simulasi (offline) dibandingkan dengan mode aktual (online)? Dalam kondisi apa mode simulasi lebih bermanfaat?
7. Jelaskan bagaimana sistem memastikan sinkronisasi data antara hardware (Trainer Kit) dan software (Website) secara real-time!



8. Bagaimana cara kerja sistem kontrol jarak jauh melalui website? Jelaskan alur data dari perubahan Setpoint di website hingga perubahan kecepatan motor fisik!

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

JOBSHEET 6: Tuning PID Menggunakan Digital Twin 3D

Mata Kuliah :

Semester :

Hari/Tanggal :

Nama/Kelompok :

A. Tujuan

1. Memahami konsep Digital Twin sebagai representasi virtual dari sistem fisik dalam sistem kendali.
2. Mampu melakukan tuning parameter PID (K_p , K_i , dan K_d) menggunakan model Digital Twin 3D.
3. Menganalisis pengaruh perubahan parameter PID terhadap karakteristik respon sistem, meliputi Overshoot, Rise Time, Settling Time, dan Steady-State Error.
4. Mengevaluasi sinkronisasi antara Digital Twin dan trainer kit selama proses monitoring dan pengendalian.
5. Memahami pemanfaatan Digital Twin sebagai media pembelajaran interaktif pada sistem kendali.

B. Alat dan Bahan

Tabel 1. Alat dan Bahan Pengujian

No	Nama Alat/Bahan	Jenis	Jumlah
1	Trainer Kit Kendali Motor DC Dual Control PID-Fuzzy	-	1
2	Laptop/HP		1
3	Mouse (Disarankan)		
4	Lembar pengamatan (Jobsheet)		1

C. Prosedur Kerja

1. Nyalakan Trainer Kit dan pastikan sistem berjalan normal serta ESP32 telah terhubung ke jaringan Wi-Fi.
2. Buka website monitoring melalui browser, kemudian pilih ESP32 Mode.
3. Pastikan Digital Twin 3D telah tersinkronisasi dengan kondisi trainer kit.
4. Atur nilai Setpoint sebesar 100 RPM dengan mengklik knob Setpoint pada Digital Twin.
5. Amati respon awal sistem hingga mencapai kondisi tunak (steady state).
6. Klik knob PID pada model Digital Twin untuk memilih parameter K_p , K_i , atau K_d .

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

7. Gunakan scroll wheel pada mouse untuk mengubah nilai parameter PID secara bertahap.
8. Setelah setiap perubahan parameter, amati perubahan respon sistem pada grafik monitoring dan catat nilai Overshoot, Rise Time, Settling Time, serta Steady-State Error.
9. Ulangi proses tuning hingga diperoleh respon sistem yang optimal.
10. Lakukan pengujian kembali pada Setpoint 50 RPM, 150 RPM, 200 RPM, dan 250 RPM, kemudian bandingkan hasil respon sistem untuk setiap Setpoint.
11. Setelah praktikum selesai, hentikan proses pengendalian dan tutup website monitoring.

Catatan: Penggunaan mouse disarankan agar proses tuning melalui knob PID lebih mudah dan presisi. Hindari melakukan perubahan parameter secara berlebihan karena pada ESP32 Mode, setiap perubahan akan langsung diterapkan pada trainer kit.

D. Tabel Pengujian Tuning PID Menggunakan Digital Twin

Tabel 2. Pengujian Tuning PID Menggunakan Digital Twin

No	Setpoint (RPM)	Kp	Ki	Kd
1	50			
2	100			
3	150			
4	200			
5	250			

E. Tabel Pengujian Sinkronisasi Digital Twin

Tabel 3. Pengujian Sinkronisasi Digital Twin

No	Parameter Pengamatan	Hasil	Keterangan
1	Setpoint pada Digital Twin sesuai dengan Trainer Kit		
2	Perubahan Kp berhasil diterapkan		
3	Perubahan Ki berhasil diterapkan		
4	Perubahan Kd berhasil diterapkan		
5	Putaran model 3D sinkron dengan motor DC		

F. Pertanyaan

1. Jelaskan konsep Digital Twin dan perannya dalam sistem kendali Motor DC.



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

2. Mengapa tuning parameter PID pada Digital Twin harus dilakukan secara bertahap?
3. Bagaimana pengaruh perubahan nilai K_p , K_i , dan K_d terhadap respon sistem berdasarkan hasil pengujian?
4. Mengapa penggunaan mouse lebih disarankan dibandingkan touchpad saat melakukan tuning pada Digital Twin?
5. Apakah Digital Twin mampu menampilkan kondisi trainer kit secara sinkron selama proses pengendalian? Jelaskan berdasarkan hasil pengamatan.
6. Apa keuntungan menggunakan Digital Twin sebagai media pembelajaran dibandingkan metode tuning menggunakan Rotary Encoder?
7. Mengapa Digital Twin tidak boleh dimainkan atau dioperasikan secara sembarangan ketika sistem berada pada ESP32 Mode?

Berdasarkan hasil praktikum, jelaskan kelebihan dan keterbatasan penggunaan Digital Twin sebagai antarmuka monitoring dan tuning parameter PID.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**