

Rancang Bangun *Trainer* Pengendali Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler sebagai Media Pembelajaran Mahasiswa

Achmad Anwari¹ , Lilik Hari Santoso², Kamilah Amaliah Lestari³

¹²³Program Studi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Texmaco, Indonesia
Email: arsawimax@gmail.com, lilik.hs@yahoo.com, kamilahamalia535@gmail.com

Received 22 Februari 2025 | *Revised* 7 Maret 2025 | *Accepted* 21 Maret 2025

ABSTRAK

Modul trainer kendali motor DC berbasis mikrokontroler dirancang dengan 5 modul utama, untuk mendukung pembelajaran kendali motor secara interaktif. Modul 1 memungkinkan kontrol dasar seperti menyalakan dan mematikan motor menggunakan tombol Start dan Stop, dengan informasi status ditampilkan pada LCD. Modul 2 mengatur arah putaran motor, baik maju (forward) maupun mundur (reverse), menggunakan tombol Forward, Reverse, dan Stop sebagai input utama. Modul 3 menyediakan pengaturan kecepatan motor secara manual melalui potensiometer, di mana nilai resistansi diubah menjadi sinyal kontrol untuk driver motor, dan kecepatan motor ditampilkan pada LCD. Modul 4 memberikan pengaturan kecepatan yang lebih presisi menggunakan keypad 4 x 4, dengan informasi seperti kecepatan, arus, dan tegangan ditampilkan secara real time di layar LCD. Modul 5 menggunakan kontrol PID untuk mengatur kecepatan motor sesuai dengan nilai set point yang dimasukkan melalui keypad, sambil memantau parameter seperti tegangan, arus, daya, dan kecepatan motor. Dengan kombinasi fungsi dan fitur ini, trainer dapat memberikan pengalaman belajar yang komprehensif kepada mahasiswa dalam memahami dan mengaplikasikan konsep pengendalian motor DC.

Kata kunci : modul trainer, kecepatan motor, kontrol PID, real time, motor

ABSTRACT

The microcontroller-based DC motor control trainer module is designed with 5 main modules, to support interactive motor control learning. Module 1 allows basic control such as turning the motor on and off using the Start and Stop buttons, with status information displayed on the LCD. Module 2 controls the direction of motor rotation, either forward or reverse, using the Forward, Reverse, and Stop buttons as the main input. Module 3 provides manual motor speed control via a potentiometer, where the resistance value is converted into a control signal for the motor driver, and the motor speed is displayed on the LCD. Module 4 provides more precise speed control using a 4 x 4 keypad, with information such as speed, current, and voltage displayed in real time on the LCD screen. Module 5 uses PID control to adjust the motor speed according to the set point value entered via the keypad, while monitoring parameters such as voltage, current, power, and motor speed. With this combination of functions and features, the trainer can provide a comprehensive learning experience for students in understanding and applying the concept of DC motor control.

Keywords: *trainer module, motor speed, PID control, real time, motor*

1. PENDAHULUAN

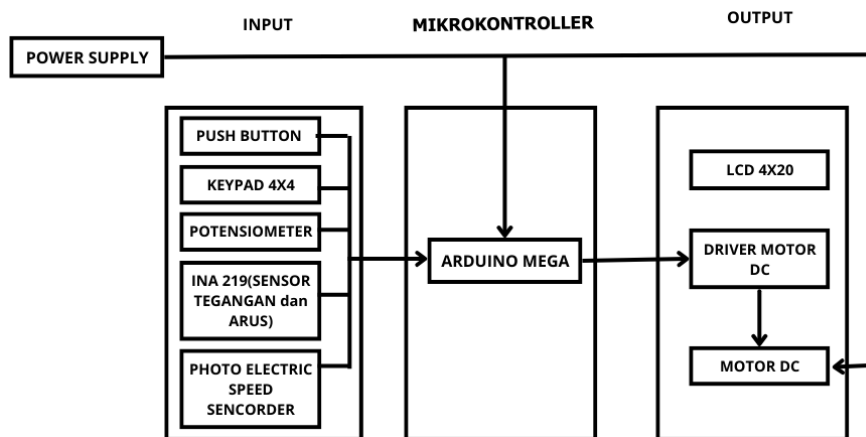
Di era Industri 4.0, kemampuan mengendalikan kecepatan motor DC dengan presisi menjadi krusial untuk efisiensi dan kinerja dalam berbagai aplikasi industri seperti conveyor dan robotika. Dalam pendidikan Teknik Elektro, penguasaan teori dan aplikasi kendali motor DC, termasuk sinyal PWM dan integrasi sensor, adalah kompetensi penting, namun sering kali sulit dihubungkan dengan praktik karena keterbatasan alat laboratorium. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang trainer pengendali kecepatan motor DC berbasis mikrokontroler Arduino Mega sebagai media pembelajaran praktis di Kampus STT Texmaco Subang. Trainer ini diharapkan dapat meningkatkan keterampilan teknis mahasiswa melalui eksperimen langsung dan pemahaman mendalam tentang kendali motor DC dalam konteks industri.

2. METODE

Bab ini menjelaskan proses perancangan modul trainer. Ini mencakup desain sistem desain (*hardware*) dan desain perangkat lunak (*software*). Dalam desain sistem terdapat blok diagram setiap modul beserta penjelasan fitur dan fungsi setiap modul. Dalam desain *hardware* terdapat gambar desain trainer setiap modul beserta dengan *wiring* dan spesifikasi komponennya. Terakhir dalam desain *software* terdapat spesifikasi subsistem mulai dari jenis aplikasi *software* yang digunakan beserta *flowchart* dan penjelasannya.

2.1 Perancangan Diagram Blok Sistem

Diagram sistem pengendali motor DC ini mencakup berbagai komponen dengan fungsi dan fitur yang saling terintegrasi. Fungsi utama dari sistem ini adalah menyediakan kontrol penuh terhadap motor DC, mulai dari mengaktifkan dan menghentikan motor, mengatur arah rotasi, hingga menyesuaikan kecepatan motor semua informasi pengendalian ditampilkan melalui layar *LCD*.



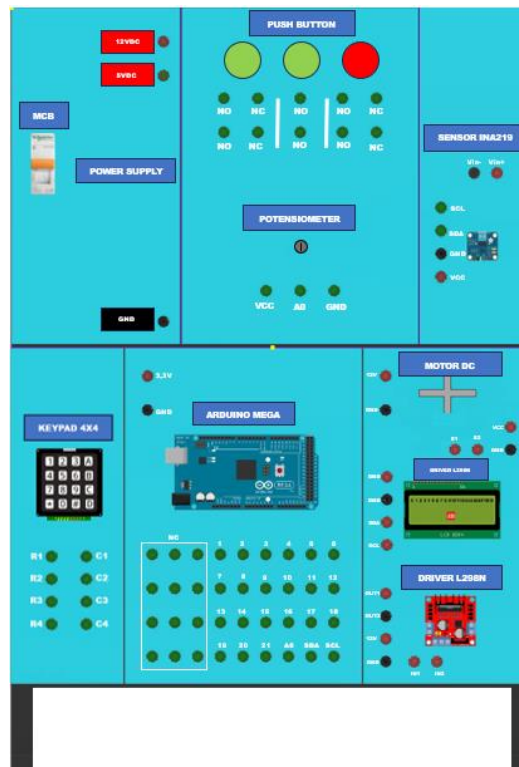
Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem

Fitur yang disediakan meliputi penggunaan *power supply* untuk memberikan tegangan DC yang stabil, dengan pembagian 5V untuk Arduino dan LCD, serta 12V untuk *driver* motor. Komponen *input* seperti *push button*, *keypad* 4x4, *potensiometer*, sensor INA219, dan *photo electric speed encoder* memberikan fleksibilitas dalam memberikan masukan ke sistem. *Mikrokontroler* Arduino Mega menjadi pusat kendali, memproses semua sinyal *input* dan menghasilkan *output* berupa sinyal PWM untuk *driver* motor L293N. LCD 4x20 sebagai bagian *output* menampilkan informasi operasional motor, sementara *driver* motor memungkinkan perubahan arah dan kecepatan motor sesuai perintah. Modul ini dibagi menjadi lima bagian, tiap bagian modul mempunyai fungsi sebagai berikut :

1. Modul 1 *Start* dan *Stop* Motor DC
2. Modul 2 *Forward* dan *Reverse* Motor DC
3. Modul 3 Pengatur Kecepatan Menggunakan *Potensiometer*
4. Modul 4 Pengendali Kecepatan Menggunakan *Keypad*
5. Modul 5 Monitoring Arus, Tegangan, dan Kecepatan pada LCD

2.2 Desain Perangkat Keras

Seperti pada gambar 2.11 diperlihatkan desain trainer yang dirancang sebagai alat pembelajaran untuk pengendalian kecepatan motor DC berbasis *mikrokontroler* Arduino. Bagian atas dilengkapi MCB sebagai pengaman, *push button* sebagai tombol yang bisa di pungsikan untuk *stop*, *star*, *farward* ataupun *reverse*, kemudian ada juga sensor INA219 yang berfungsi sebagai sensor tengagan dan arus. Bagian tengah ada *potensiometer*, lalu dibagian bawah ada *keypad* 4x4, Arduino mega 2560, *driver* motor lcd, *photoelectric encorder* dan motor DC. Desain ini mempermudah mahasiswa memahami konsep kontrol motor secara praktis dengan komponen yang mudah diakses dan dipantau.



Gambar 2.2 Desain Perangkat Keras

Pada tabel 2.1 merupakan spesifikasi dari komponen yang digunakan untuk membuat trainer pengendali kecepatan motor DC.

Tabel 2.1 Spesifikasi komponen

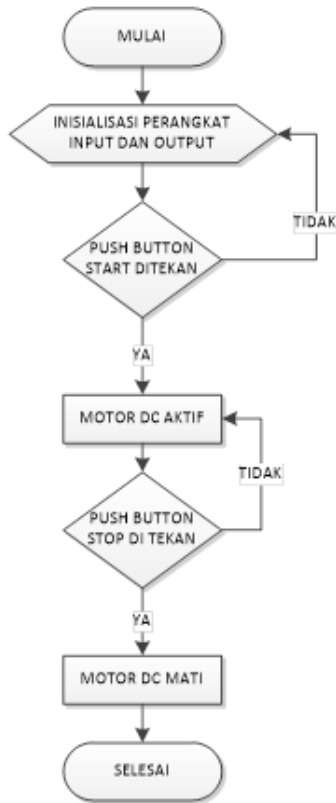
NO	JENIS KOMPONEN	FUNGSI	TEGANG AN KERJA	ARUS	DAYA MAKSIMU M
1	Arduino Mega 2560	<i>Mikrokontroler</i> untuk mengontrol sistem	5V	20 mA	0.1 W

NO	JENIS KOMPONEN	FUNGSI	TEGANGAN KERJA	ARUS	DAYA MAKSIMUM
2	<i>Keypad 4x4</i>	<i>Input</i> data untuk mengatur kecepatan motor	5V	< 1 mA	0.005 W
3	<i>Potensiometer</i>	Pengatur manual untuk mengatur kecepatan motor	5V	< 1 mA	0.005 W
4	Sensor INA219	Mengukur tegangan dan arus motor DC	3.3V / 5V	< 1 mA	0.005 W
5	<i>Photoelectric Speed Encoder</i>	Mengukur kecepatan putar motor DC	5-24V	< 10 mA	0.24 W
6	<i>Driver Motor L293N</i>	Mengontrol arah dan kecepatan motor DC	4.5-36V	Hingga 2A	72 W (pada 36V)
7	LCD 4x20	Menampilkan data tegangan, arus, daya, dan kecepatan motor	5V	20-25 mA	0.125 W
8	Motor DC	Aktuator untuk menghasilkan putaran mekanik	12V	1-2A	24 W (pada 12V, 2A)
9	<i>Push button</i>	Memberikan perintah <i>ON/OFF</i> atau arah putaran motor	5V	< 1 mA	0.005 W
10	<i>Power supply</i>	Sumber daya untuk seluruh rangkaian	12V	Hingga 2A	24 W

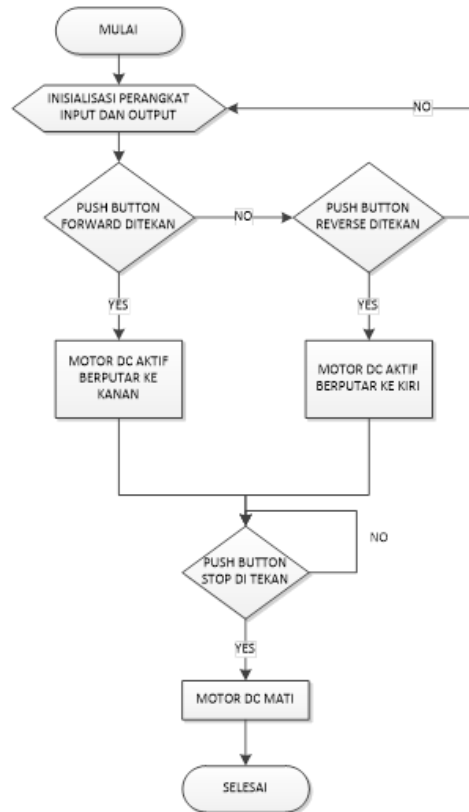
2.3. Desain Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak akan dibagi menjadi 5 modul sesuai dengan fungsi dari lima modul trainer tersebut. Koding program dibuat dengan menggunakan editor Arduino IDE jenis *mikrokontroler* Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama. Arduino IDE digunakan untuk menulis, mengunggah, dan menguji kode program yang mengatur fungsi *input*, proses, dan *ouput* pada sistem, termasuk implementasi kontrol PID untuk pengendalian motor DC. Algoritma dari kelima modul tersebut dijelaskan pada *flowchart* berikut :

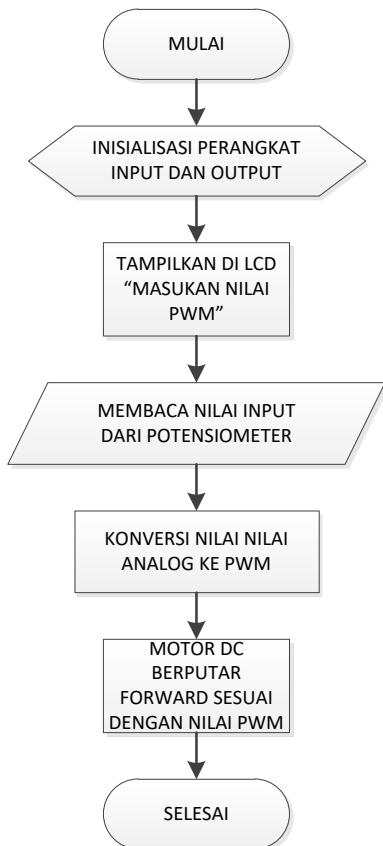
Rancang Bangun *Trainer* Pengendali Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler sebagai Media Pembelajaran Mahasiswa



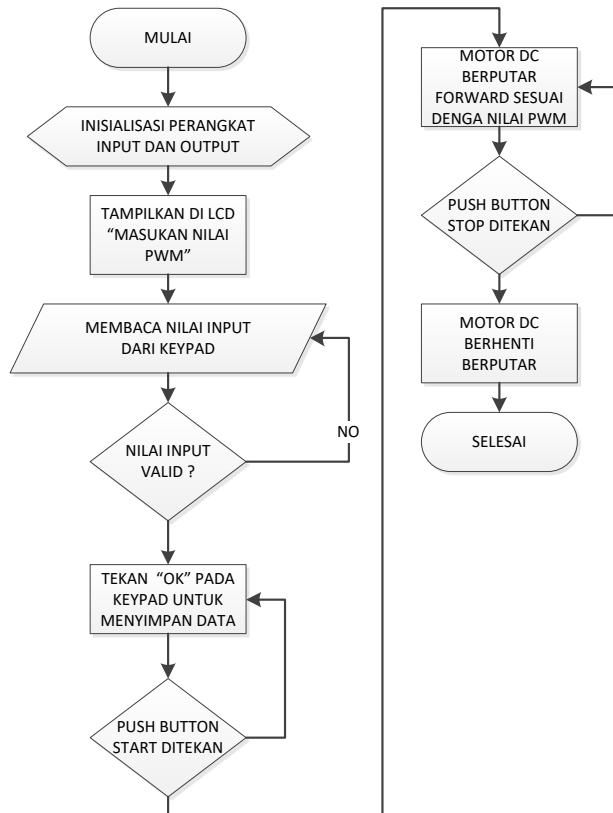
Gambar 2.3 *flowchart* modul 1



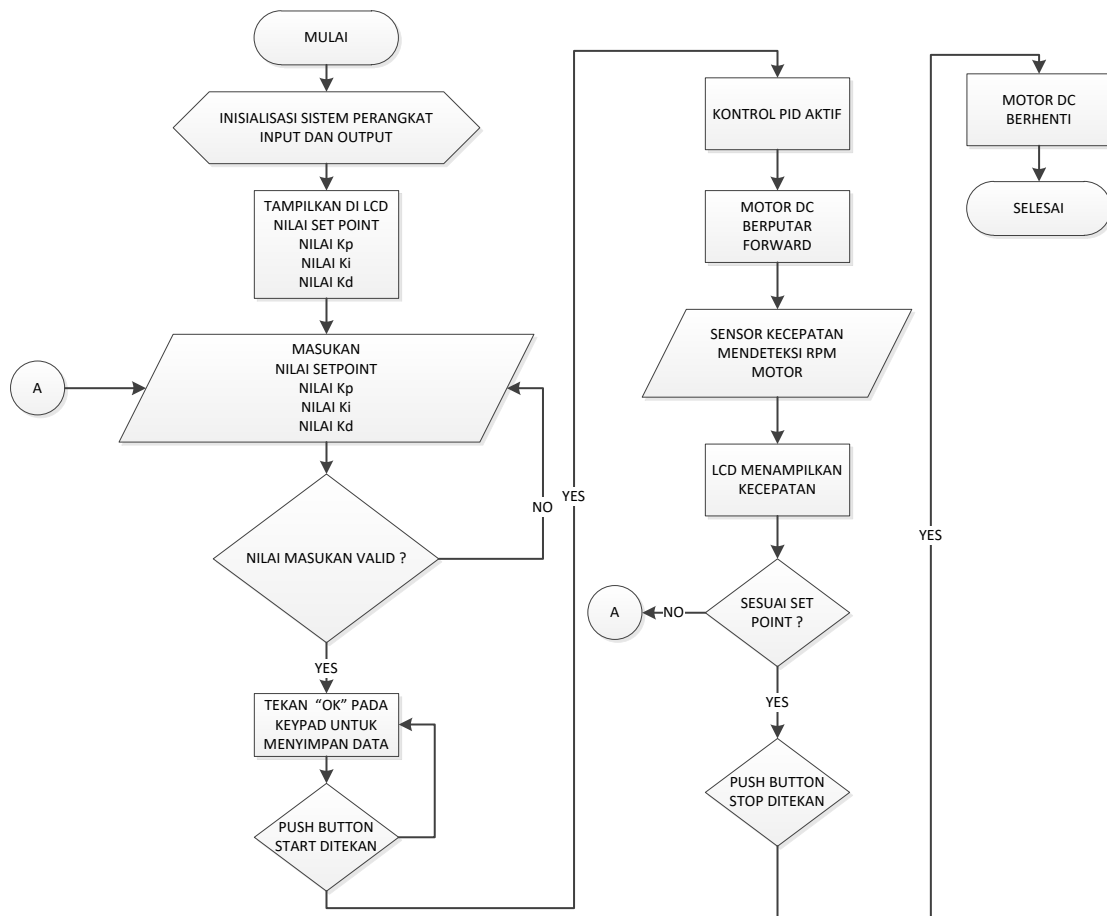
Gambar 2.4 *flowchart* modul 2



Gambar 2.5 *flowchart* modul 3



Gambar 2.6 *flowchart* modul 4

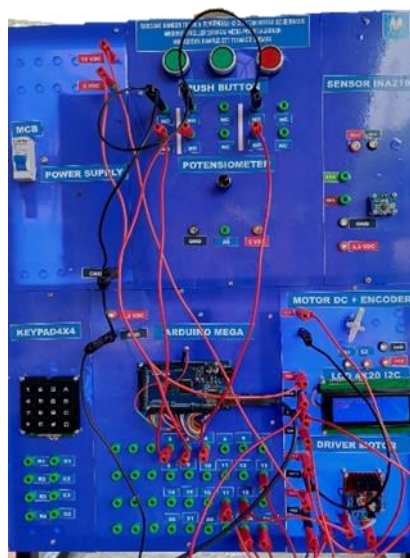


Gambar 2.7 *flowchart* modul 5

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan

Pada gambar berikut diperlihatkan hasil akhir dan fungsi dari setiap modul dari perancangan modul trainer keseluruhan.



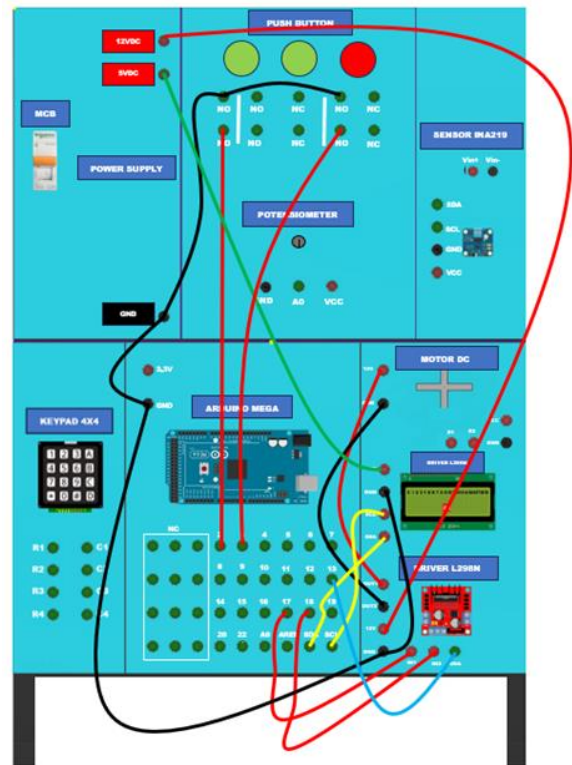
Gambar 3.1. Modul Trainer

Adapun fitur dan fungsi dari kelima modul tersebut adalah sebagai berikut :

1. Modul 1 Start dan Stop Motor DC

Fungsi dan fitur utama untuk mengatur operasi dasar motor seperti menyalakan, mematikan, serta memantau statusnya. Pada bagian input, sistem dilengkapi dengan tombol Start dan Stop yang memungkinkan pengguna untuk dengan mudah mengontrol motor. Tombol Start digunakan untuk mengaktifkan motor, sedangkan tombol Stop berfungsi untuk mematikan motor jika diperlukan. Sinyal dari tombol-tombol ini dikirim ke bagian proses, yaitu Arduino Mega, yang bertindak sebagai pengolah data utama. Arduino memproses sinyal input dan memberikan perintah yang tepat kepada driver motor untuk mengontrol kondisi motor.

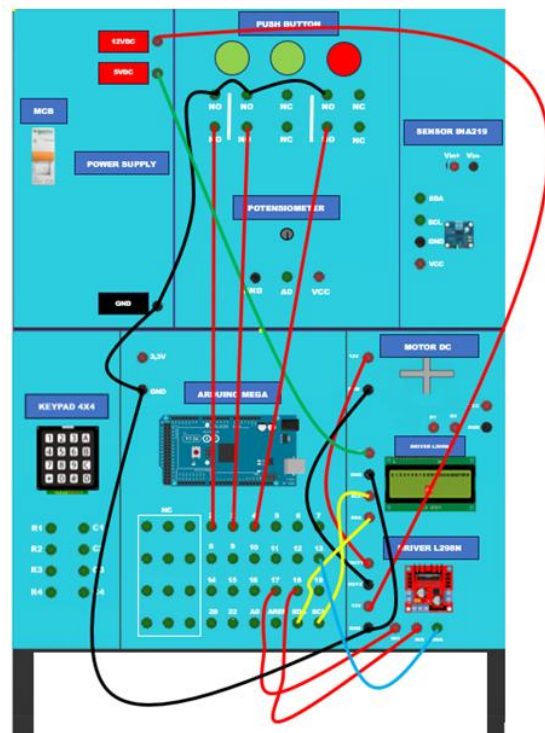
Pada bagian output, driver motor DC menerima perintah dari Arduino untuk mengaktifkan atau menonaktifkan motor. Layar LCD 4 x 20 yang berfungsi menampilkan informasi status sistem.



Gambar 3.2. Mode Pengujian fungsi modul 1

2. Modul 2 Forward dan Reverse Motor DC

Fungsi utama untuk mengendalikan arah putaran motor DC, apakah ingin maju (forward) atau mundur (reverse). Fitur yang dimiliki mencakup alur pengendalian arah putaran motor dengan menggunakan Arduino Mega sebagai pengendali utama. Pada bagian Input, terdapat tiga push button yang masing-masing memiliki fungsi spesifik, tombol Forward untuk memutar motor ke arah maju, tombol Reverse untuk memutar motor ke arah mundur, dan tombol Stop untuk menghentikan motor. Ketika salah satu tombol ditekan, sinyal dikirimkan ke bagian Process, yaitu Arduino Mega, yang memproses sinyal tersebut dan menentukan instruksi yang akan diberikan kepada driver motor. Di bagian Output, driver motor DC menerima perintah dari Arduino untuk mengatur arah putaran motor sesuai dengan masukan dari tombol yang ditekan, memungkinkan motor untuk bergerak maju, mundur, atau berhenti dengan mudah dan aman. Layar LCD 4x20



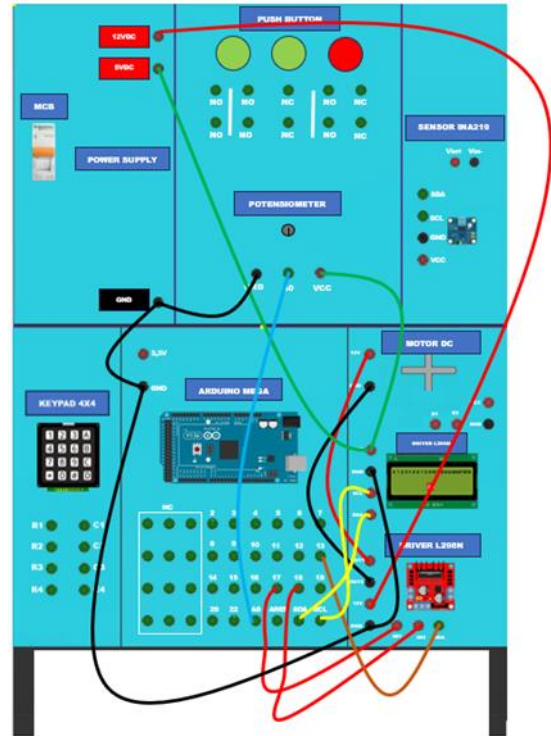
Gambar 3.3. Mode Pengujian fungsi modul 2

yang berfungsi menampilkan informasi status sistem.

3. Modul 3 Pengatur Kecepatan Menggunakan Potensiometer

Fungsi utama sistem ini adalah mengatur kecepatan motor DC berdasarkan nilai resistansi yang diatur melalui potensiometer. Potensiometer bertindak sebagai input yang memberikan nilai analog ke Arduino Mega. Arduino Mega kemudian memproses sinyal tersebut untuk menghasilkan sinyal kontrol yang akan diteruskan ke driver motor DC, sehingga kecepatan motor DC dapat diatur sesuai dengan nilai yang diinputkan.

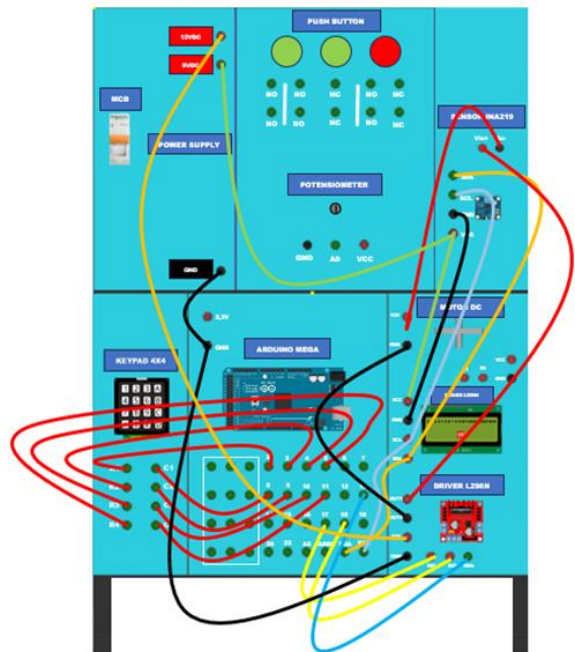
Sistem ini juga dilengkapi dengan LCD sebagai fitur tambahan yang berfungsi untuk menampilkan informasi, seperti kecepatan motor. Power supply digunakan untuk memberikan daya ke seluruh komponen sistem, termasuk potensiometer, Arduino Mega, driver motor, dan LCD. Dengan integrasi ini, pengguna dapat mengatur kecepatan motor DC dengan mudah dan memonitor informasi penting melalui layar LCD.



Gambar 3.4. Mode Pengujian fungsi modul 3

4. Modul 4 Pengendali Kecepatan Menggunakan Keypad

Fungsi utama untuk Memberikan opsi tambahan untuk mengatur kecepatan motor melalui input angka yang lebih presisi dibandingkan potensiometer. Fitur Modul 4 ini menunjukkan sistem pengaturan kecepatan motor DC menggunakan keypad sebagai input utama. Pada bagian input, keypad 4x4 berfungsi untuk mengirim perintah kecepatan yang diinginkan oleh pengguna ke Arduino Mega. sensor INA219 untuk mengukur tegangan dan arus, serta photoelectric speed encoder yang memberikan umpan balik kecepatan aktual motor. Kemudian, di bagian process, Arduino Mega memproses data dari keypad dan sensor INA219, mengatur sinyal yang dikirim ke driver motor sesuai nilai kecepatan yang dimasukkan.



Gambar 3.5. Mode Pengujian fungsi modul 4

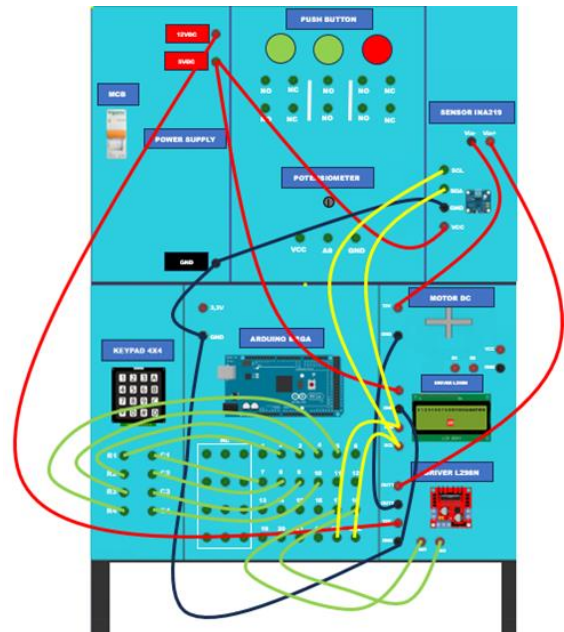
Bagian ouput terdiri dari motor DC yang kecepatan putarannya diatur oleh driver

motor, dan LCD 4x20 yang menampilkan nilai kecepatan yang sedang diatur, arus dan tegangan. Fitur utama dari modul ini adalah pengguna dapat secara langsung mengatur dan melihat kecepatan motor melalui keypad dan LCD.

5. Modul 5 Monitoring Arus, Tegangan, dan Kecepatan pada LCD

Fungsi utama Menyediakan informasi mengenai kondisi operasional motor, seperti arus, tegangan, daya, dan kecepatan menggunakan kontrol PID. Fitur Modul 5 ini menjelaskan sistem kendali kecepatan motor DC berbasis Arduino Mega yang dilengkapi dengan kontrol PID. Input meliputi keypad 4x4 untuk memasukkan nilai setpoint kecepatan, sensor INA219 untuk mengukur tegangan dan arus, serta photoelectric speed encoder yang memberikan umpan balik kecepatan aktual motor. Proses terjadi di Arduino Mega, yang mengolah data input, menjalankan algoritma PID untuk menghitung error antara setpoint dan kecepatan aktual, serta menghasilkan sinyal PWM untuk mengontrol driver motor DC.

Ouput berupa informasi yang ditampilkan pada LCD 4x20, termasuk tegangan, arus, daya, dan kecepatan, serta aksi driver yang mengatur motor DC agar berjalan sesuai kecepatan yang diinginkan. Kombinasi komponen ini memastikan sistem dapat bekerja dengan presisi dan stabilitas tinggi.



Gambar 3.6. Mode Pengujian fungsi modul 5

3.2. Pengujian Fungsi Modul Trainer

Berikut adalah hasil dari pengujian fungsi dari 5 modul trainer yang telah diperlihatkan pada sub bagian hasil perancangan.

1. Pengujian modul ke-1 *Start stop*

Sistem kendali dasar motor DC dapat berfungsi dengan baik menggunakan dua tombol push button yaitu tombol *Start (ON)* tombol *Stop (OFF)*. Pengujian respon sistem terhadap input tombol dan kestabilan tegangan keluaran pada motor DC.

Tabel 3.1 Hasil pengujian modul ke-1

NO	KONDISI	PWM	TEKANAN TOMBOL	TEGANGAN OUTPUT MOTOR (V)	RPM	KETERANGAN
1	Motor dalam keadaan mati	0	Tidak ditekan	0	0	Motor berhenti, tegangan 0 V
2	Motor	255	Start	10,68	5181	Motor berputar searah

NO	KONDISI	PWM	TEKANAN TOMBOL	TEGANGAN OUTPUT MOTOR (V)	RPM	KETERANGAN
	dinyalakan					jarum jam, tegangan stabil
3	Motor dihentikan	0	Stop	0	0	Motor mati, tegangan kembali 0 V

2. Pengujian modul ke-2 *forward* dan *reverse*

Menggunakan dua tombol *push button* untuk mengatur arah putaran motor, yaitu maju (*forward*), mundur (*reverse*), dan tombol (*stop*). Tujuan memastikan bahwa motor DC dapat beroperasi sesuai dengan perintah tombol, dengan tegangan output yang stabil dan arah putaran yang sesuai. Pengujian dilakukan dengan memantau tegangan output motor dan memastikan kestabilannya selama operasi.

Table 3.2 hasil perancangan modul ke-2

No.	Kondisi	Tekanan Tombol	PWM	Tegangan Output Motor (V)	Arah Putaran Motor	RPM	Keterangan
1	Motor dalam keadaan mati	Tidak ditekan	0	0	Tidak ada	0	Motor berhenti, tegangan 0 V.
2	Motor berjalan maju	Forward	255	10,69	Maju	5181	Motor bergerak maju stabil.
3	Motor berjalan mundur	stop	0	0	Tidak ada	0	Motor berhenti, tegangan 0 V.
4	Motor berhenti	Reverse	255	10,69	mundur	5406	Motor bergerak mundur stabil.

3. Pengujian modul ke-3 potensiometer

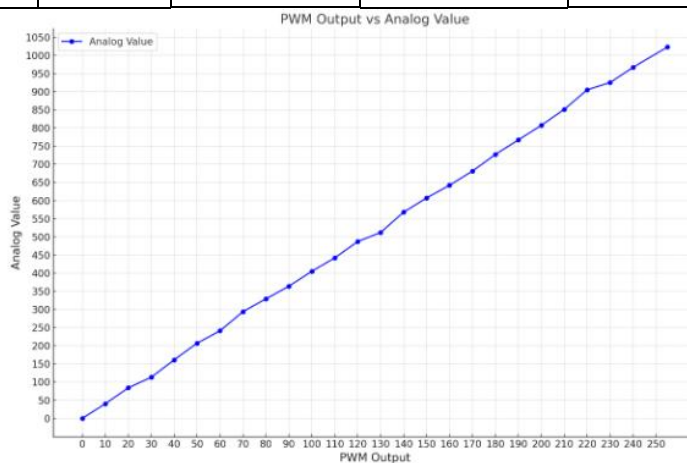
Pengendalian kecepatan motor DC dilakukan menggunakan potensiometer sebagai input untuk menentukan nilai PWM. Potensiometer menghasilkan tegangan analog yang kemudian diubah oleh mikrokontroler menjadi sinyal PWM untuk mengatur kecepatan motor. Tegangan output driver dan kecepatan motor diukur sebagai parameter kinerja. Dalam tabel ini, disajikan hubungan antara tegangan output potensiometer, nilai PWM, tegangan output driver, dan kecepatan motor yang dihasilkan.

Table 3.3 Hasil pengujian modul ke-3

NO	PWM OUTPUT (0-255)	ANALOG VALUE (0-1023)	TAHANAN OUPUT POTENSIOMETER (OHM)	TEGANGAN MOTOR DC(V)	TEGANGAN OUTPUT POTENSIOMETE R (V)	KECEPATAN MOTOR (RPM)
1	0	0	0	0	0	0
2	10	40	2,40	0,009	0,21	0
3	20	84	4,60	0,03	0,42	0
4	30	113	8,40	0,09	0,56	0

Rancang Bangun *Trainer* Pengendali Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler sebagai Media Pembelajaran Mahasiswa

NO	PWM OUTPUT (0-255)	ANALOG VALUE (0-1023)	TAHANAN OUPUT POTENSIOMETER (OHM)	TEGANGAN MOTOR DC(V)	TEGANGAN OUTPUT POTENSIOMETE R (V)	KECEPATAN MOTOR (RPM)
5	40	161	9,60	0,16	0,8	0
6	50	207	12,00	1,27	1,01	0
7	60	241	13,60	1,32	1,19	1022
8	70	294	15,70	2,0	1,42	1735
9	80	329	17,20	4,0	1,59	1959
10	90	364	19,70	4,45	1,79	2518
11	100	405	21,20	5,6	1,97	2981
12	110	442	21,20	6,04	2,18	3090
13	120	487	22,80	6,65	2,37	3448
14	130	512	24,70	7,12	2,6	3716
15	140	568	27,20	7,57	2,75	3955
16	150	607	29,20	7,9	2,93	4027
17	160	642	30,00	8,07	3,14	4244
18	170	681	32,20	8,43	3,35	4300
19	180	727	34,30	8,55	3,55	4359
20	190	767	36,00	8,8	3,74	4479
21	200	807	38,00	9,9	3,97	4576
22	210	851	39,70	9,06	4,16	4627
23	220	905	41,60	9,2	4,33	4703
24	230	925	42,00	9,44	4,53	4769
25	240	967	45,10	9,52	4,72	4844
26	255	1023	48,40	10,34	5,04	5181



Gambar 3.7 grafik perbandingan pwm output dengan analog value

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara PWM Output dan Analog Value, di mana hubungan tersebut bersifat hampir linear. Sumbu horizontal (X) mewakili nilai PWM Output dalam rentang 0 hingga 255, sedangkan sumbu vertikal (Y) menunjukkan nilai

analog dalam rentang 0 hingga 1023. Setiap peningkatan nilai PWM secara proporsional meningkatkan nilai analog yang dihasilkan. Secara matematis, nilai analog dapat dibuktikan dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Analog Value} = K \times \text{PWM Output} \quad (1)$$

Dimana :

$$K = \frac{\text{Analog maksimum}}{\text{PWM maksimum}} = \frac{1023}{225} \approx 4.0118$$

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara tegangan motor DC dan tegangan output potensiometer. Data menunjukkan pola yang sebagian besar linier, meskipun terdapat beberapa variasi kecil pada nilai tertentu. Secara umum, peningkatan tegangan pada motor DC menyebabkan peningkatan tegangan pada potensiometer. Hubungan linier sebagian dapat ditunjukkan dengan persamaan dasar:

$$V_{\text{pot}} = K \times V_{\text{motor}} \quad (2)$$

Keterangan:

- V_{pot} = tegangan potensiometer (V)
- V_{motor} = tegangan di motor DC (V)
- K = konstanta proporsionalitas (tanpa satuan)

4. Pengujian modul ke-4 keypad

Menggunakan *keypad* sebagai *input* untuk mengatur nilai PWM, dengan pengukuran tegangan dan arus menggunakan sensor INA219. Pengguna untuk memasukkan nilai PWM secara langsung, memberikan fleksibilitas pada pengendalian kecepatan. INA219 digunakan untuk memantau parameter kelistrikan (tegangan dan arus).

Table 3.4 Hasil pengujian modul ke-4

NO	PWM	RPM	VOUT INA219	VOUT MULTIMETER	IOUT INA19	IOUT MULTIMETER	DEVIASI VOUT	DEVIASI IOUT
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10	0	0,71	0,02	0,01	0	0,69	-0,69
3	20	0	0,57	0,05	0,02	0	0,52	-0,52
4	30	0	0,98	0,11	0,03	0	0,87	-0,87
5	40	0	1,13	0,18	0,05	0	0,95	-0,95
6	50	0	1,22	0,28	0,09	0	0,94	-0,94
7	60	617	1,61	1,74	1,62	0	-0,13	0,13
8	70	1454	2,15	3,25	0,08	0	-1,1	1,1
9	80	1978	3,11	4,3	0,09	0	-1,19	1,19
10	90	2421	3,98	5,17	0,09	0	-1,19	1,19
11	100	2769	4,47	5,93	0,11	0	-1,46	1,46
12	110	3141	5,72	6	0,12	0	-0,28	0,28
13	120	3421	6,42	7,16	0,12	0	-0,74	0,74
14	130	3633	7,12	7,52	0,12	0	-0,4	0,4
15	140	3843	7,46	8,02	0,12	0	-0,56	0,56
16	150	3988	8,3	8,38	0,12	0,12	-0,08	0,2

NO	PWM	RPM	VOUT INA219	VOUT MULTIMETER	IOUT INA19	IOUT MULTIMETER	DEVIASI VOUT	DEVIASI IOUT
17	160	4153	8,92	8,59	0,12	0,12	0,33	-0,21
18	170	4248	9,02	8,85	0,12	0,12	0,17	-0,05
19	180	4354	9,12	9,07	0,12	0,12	0,05	0,07
20	190	4440	9,5	9,26	0,12	0,12	0,24	-0,12
21	200	4537	9,79	9,37	0,12	0,12	0,42	-0,3
22	210	4630	9,74	9,58	0,12	0,12	0,16	-0,04
23	220	4692	9,86	9,7	0,14	0,12	0,16	-0,04
24	230	4769	9,97	9,86	0,12	0,12	0,11	0,01
25	240	4848	10,8	10,01	0,12	0,12	0,79	-0,67
26	255	5179	10,7	10,68	0,12	0,12	0,02	0,1

Table 3.5 Hasil perbandingan RPM potensiometer dan RPM keypad

NO	PWM	RPM MENGUNAKAN POTENSIOETER	RPM MENGUNAKAN KEYPAD	DEVIASI
1	0	0	0	0
2	10	0	0	0
3	20	0	0	0
4	30	0	0	0
5	40	0	0	0
6	50	0	0	0
7	60	1022	617	405
8	70	1735	1454	281
9	80	1959	1978	-19
10	90	2518	2421	97
11	100	2981	2769	212
12	110	3090	3141	-51
13	120	3448	3421	27
14	130	3716	3633	83
15	140	3955	3843	112
16	150	4027	3988	39
17	160	4244	4153	91
18	170	4300	4248	52
19	180	4359	4354	5
20	190	4479	4440	39
21	200	4576	4537	39
22	210	4627	4630	-3
23	220	4703	4692	11
24	230	4769	4769	0
25	240	4844	4848	-4
26	255	5160	5179	2

Untuk mengukur perbedaan kinerja antara potensiometer dan keypad, digunakan rumus persentase perbedaan RPM, yaitu:

$$\text{Presentase perbedaan} = \frac{\text{RPM maksimum} - \text{RPM yang diukur}}{\text{RPM yang diukur}} \times 100\% \quad (3)$$

5. Pengujian modul ke-5 kontrol PID

Pengaturan kecepatan motor DC menggunakan kontrol PID, yang memastikan kecepatan

motor mencapai *set point* secara akurat dan stabil meskipun terjadi perubahan beban atau gangguan.

Tabel 3. 6 hasil pengujian modul ke-5

NO	RPM	KP	KI	KD	RISE TIME (DETIK)	SETTLING TIME (DETIK)	STEADY-STATE ERROR (%)	OVER-SHOT(%)
1	1000	0,06	0,03	0,001	11	3	0,8	4
2	2000	0,06	0,03	0,001	11	3	0,009	1,5
3	3000	0,06	0,03	0,001	11	2	0,008	0,6
4	4000	0,06	0,03	0,001	13	2	0,001	0,25
5	5000	0,06	0,03	0,001	8	1	0,0088	0,01

Dari tabel tersebut ditunjukkan hasil pengujian respon sistem pengendali kecepatan motor DC menggunakan kontrol PID dengan variasi kecepatan *setpoint* (RPM). Parameter PID yang digunakan, yaitu KP = 0,06, KI = 0,03, dan KD = 0,001, tetap konstan pada setiap pengujian. Sistem memiliki *rise time* yang stabil pada *setpoint* 1000 – 3000 RPM (11 detik), meningkat pada 4000 RPM (13 detik), dan menurun pada 5000 RPM (8 detik), yang menunjukkan pengaruh karakteristik motor pada beban tinggi. Settling time berada dalam rentang 1–3 detik, menandakan sistem dapat mencapai kondisi stabil dengan cepat. *Steady-state error* sangat kecil, kurang dari 1% pada seluruh *setpoint*, yang menunjukkan tingkat akurasi sistem yang sangat baik. Selain itu, overshoot sistem juga rendah, dengan nilai tertinggi 4% pada *setpoint* 1000 RPM dan semakin menurun pada kecepatan yang lebih tinggi, mencerminkan kontrol yang stabil dan responsif. Dibawah ini adalah rumus menghitung *error* dan *overshoot*:

$$ERROR = \left(\frac{SETPOINT - KECEPATAN AKTUAL}{SETPOINT} \right) \times 100\% \quad (4)$$

Contoh perhitungan dengan *setpoint* 1000RPM:

$$ERROR = \left(\frac{1000 - 911,30}{1000} \right) \times 100\% = 0,8\%$$

$$OVERSHOT = \left(\frac{KECEPATAN MAKSIMUM - SETPOINT}{SETPOINT} \right) \times 100\% \quad (5)$$

4. KESIMPULAN

1. Modul Trainer pengendali kecepatan motor DC berbasis mikrokontroler jenis Arduino Mega telah berhasil memenuhi kebutuhan sebagai media pembelajaran interaktif, meskipun terdapat gangguan atau perubahan beban.
2. Trainer ini memberikan manfaat besar bagi mahasiswa karena dapat membantu mereka memahami prinsip dasar pengendalian motor DC secara teori dan praktik. Pemilihan Mikrokontroler jenis Arduino Mega memberikan fleksibilitas serta kemudahan dalam pengembangan sistem, dengan biaya yang relatif terjangkau. Namun, alat ini dirancang khusus untuk skala laboratorium kampus, sehingga belum mendukung aplikasi yang lebih luas seperti sistem kendali berbasis jaringan atau skala industri yang lebih besar.

5. DAFTAR RUJUKAN

- [1] M. Elisabeth Tri Yekti Handayani, Siti Nursetiawati, "Pengembangan Modul Pembelajaran Sanggul Modern," J. Ilm. Wahana Pendidik. <https://jurnal.unibrah.ac.id/index.php/JIWP>, vol. 6, no. 3, pp. 317–322, 2020, doi: 10.5281/zenodo.3360401.
- [2] A. S. Pratama, "Rancang Bangun Trainer Kendali Motor Dc Berbasis Programmable Logic Controller," no. 2, pp. 517–524, 2024.

- [3] I. M. Parsa, "MOTOR-MOTOR LISTRIK," no. March, 2018.
- [4] F. F. Alanro and H. Supriyono, "Trainer Praktikum Pengendali Kecepatan Motor DC dengan PID Berbasis Arduino," pp. 1–16, 2023, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/114002>
- [5] P. Sokibi et al., "Perancangan Prototype Sistem Peringatan," vol. 10, no. 1, pp. 11–22, 2020.
- [6] A. Jupri Berutu, A. Pranata, and M. Yetri, "Proses Sistem Irigasi Pada lahan Jagung Berbasis Arduino," J. Sist. Komput. Triguna Dharma (JURSIK TGD), vol. 1, no. 3, pp. 81–86, 2022, doi: 10.53513/jursik.v1i3.5278.
- [7] M. Arduino, "Rancang bangun pulse width modulation (pwm) sebagai pengatur kecepatan motor dc berbasis mikrokontroler arduino," pp. 50–58.
- [8] R. Juliansyah, E. Fitriani, N. Paramita, and ..., "Rancang Bangun Sistem Kontrol Motor Feeder dan Monitoring Pakan Ikan Nila Berbasis Smart Relay Zelio," J. Pendidik. ..., vol. 8, pp. 11157–11167, 2024, [Online]. Available: <https://www.jptam.org/index.php/jptam/article/view/14054%0Ahttps://www.jptam.org/index.php/jptam/article/download/14054/10820>
- [9] U. M. P. Azza Maulina, Vavanni (2021) SISTEM MONITORING UNTUK MENENTUKAN KESIAPAN LAHAN TANAM PADI BERDASARKAN NILAI EC TANAH MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED. Skripsi (S1) thesis, "SISTEM MONITORING UNTUK MENENTUKAN KESIAPAN LAHAN TANAM PADI BERDASARKAN NILAI EC TANAH MENGGUNAKAN ALGORITMA RULE BASED," Apl. dan Anal. Lit. Fasilkom UI, pp. 4–25, 2021, [Online]. Available: <https://123dok.com/document/yer4810q-bab-landasan-teori.html>
- [10] D. A. Arif Rahman Abdillah and dan A. A. Rahma, "Sistem Monitoring Arus, Tegangan, Dan Rpm Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (Pltb) Portabel Berbasis Internet of Things (IoT)," Telkom Purwokerto Univ. Univ. di Purwokerto, Jawa Teng., vol. 5, no. 1, pp. 1689–1699, 2021.
- [11] A. P. Zanofo, R. Arrahman, M. Bakri, and A. Budiman, "Pintu Gerbang Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno R3," J. Tek. dan Sist. Komput., vol. 1, no. 1, pp. 22–27, 2020, doi: 10.33365/jtikom.v1i1.76.
- [12] L. Geng, G. Cao, C. Shang, and H. Ding, "Absolute Photoelectric Encoder Based on Position-Sensitive Detector Sensor," Electron., vol. 13, no. 8, 2024, doi: 10.3390/electronics13081446.
- [13] U. M. IRWANDI, "SISTEM KENDALI LENGAN ROBOT 4 DOF MELALUI PUSH BUTTON DAN BLUETOOTH (JOYSTICK, TERMINAL, VOICE)," Galang Tanjung, no. 2504, pp. 1–9, 2024.
- [14] S. A. A. I. Muhammad Irhas1, Iftitah2, "Penggunaan Kontrol PID Dengan Berbagai Metode Untuk Analisis Pengaturan Kecepatan Motor DC," 1Jurusan Fis. Fak. Sains dan Teknol. UIN Alauddin Makassar, p. 4, 2020.