

Kendali Kecepatan Motor DC Untuk Kendaraan Roda Dua Dengan PWM

Beni Satria¹, Hermansyah Alam², Erpandi D³, Amani Darma Trg^{4*}

^{1,2,3,4}Fakultas Sains Dan Teknologi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia
Email: ¹benisatria@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak

Pada era modern ini, kebutuhan akan kendaraan ramah lingkungan semakin meningkat, seiring dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya menjaga lingkungan dari polusi. Salah satu solusi yang semakin populer adalah penggunaan kendaraan listrik roda dua. Kendaraan listrik ini memanfaatkan motor DC sebagai penggerak utama. Dalam sistem ini, pengendalian kecepatan motor DC menjadi aspek penting untuk memastikan kinerja yang efisien dan responsif. Penelitian ini mengkaji implementasi Pulse Width Modulation (PWM) sebagai metode kendali kecepatan motor DC pada kendaraan listrik roda dua. PWM adalah teknik yang memungkinkan pengendalian daya yang diterima oleh motor dengan cara mengatur lebar pulsa sinyal digital. Dengan metode ini, kecepatan motor dapat dikendalikan secara presisi tanpa kehilangan efisiensi daya yang signifikan. Penelitian ini memfokuskan pada desain dan implementasi sistem kendali kecepatan menggunakan PWM, serta pengujian performa sistem tersebut pada kendaraan listrik roda dua. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan PWM sebagai metode kendali kecepatan motor DC pada kendaraan listrik roda dua mampu memberikan respon yang cepat dan akurat terhadap perubahan kecepatan yang diinginkan. Sistem ini juga terbukti hemat energi dan mampu mengurangi panas yang dihasilkan oleh motor, sehingga memperpanjang umur motor. Dengan demikian, penggunaan PWM dalam sistem kendali kecepatan motor DC pada kendaraan listrik roda dua merupakan solusi yang efektif dan efisien untuk meningkatkan performa dan keandalan kendaraan listrik.

Kata Kunci: Kendaraan Listrik Roda Dua, Motor DC, Kendali Kecepatan, Pulse Width Modulation (PWM)

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, dunia transportasi telah mengalami transformasi yang signifikan, terutama dengan munculnya kendaraan listrik. Salah satu aspek penting dari perubahan ini adalah pengenalan kendaraan listrik roda dua, yang telah menjadi tren menarik dalam industri otomotif. Pengembangan Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk kendaraan listrik roda dua adalah sebuah inovasi penting dalam industri otomotif yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, kinerja, dan daya tahan kendaraan listrik. Dengan menggabungkan teknologi PWM dengan motor DC yang efisien, kendaraan listrik roda dua dapat menghadirkan pengalaman berkendara yang lebih baik, serta kontribusi yang lebih besar terhadap keberlanjutan lingkungan. PWM menawarkan solusi yang cerdas untuk mengendalikan daya yang diberikan ke motor DC dengan cara mengatur durasi pulsa sinyal arus listrik. Pengembangan ini membawa beberapa keuntungan utama bagi kendaraan listrik roda dua yaitu : efisiensi tinggi, responsif dan presisi, perawatan yang lebih mudah, pengurangan emisi dan pengalaman berkendara yang lebih menyenangkan.

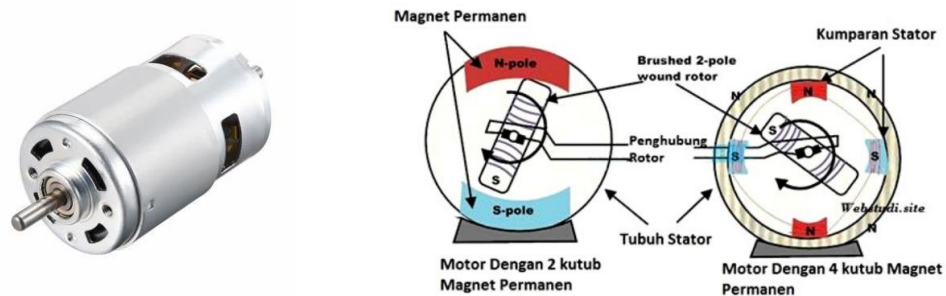
2. TINJAUAN TEORITIS

2.1 Riset Awal Penggunaan PWM dalam Kendali Motor DC

Studi awal tentang penggunaan PWM dalam pengendalian motor DC dilakukan pada tahun 1970-an. Penelitian ini menggali potensi teknik PWM dalam mengendalikan kecepatan motor DC dengan variasi lebar pulsa dan periode, yang memungkinkan untuk pengaturan yang lebih halus dan akurat. PWM bekerja dengan membagi periode waktu tertentu menjadi beberapa bagian, di mana sinyal daya dinyalakan (*on*) atau dimatikan (*off*) untuk mengendalikan jumlah daya yang diberikan kepada motor. Semakin lebar pulsa yang diberikan (*on-time*), semakin besar daya yang diterima motor. Ini memungkinkan pengendalian kecepatan motor dengan mengubah perbandingan antara waktu sinyal dinyalakan dan dimatikan. Salah satu keuntungannya adalah efisiensi yang tinggi karena daya yang diberikan hanya dikontrol dengan mengubah lebar pulsa, bukan dengan mengubah tegangan atau arus secara langsung. Hal ini mengurangi pemborosan energi dalam bentuk panas. Selain itu, kontrol yang presisi memungkinkan kecepatan motor yang stabil dan akurat sesuai dengan kebutuhan [1]. Dalam konteks kendaraan listrik roda dua, pengaturan kecepatan motor DC dengan PWM menjadi sangat penting. Pengendalian yang akurat dan responsif diperlukan untuk memberikan pengalaman berkendara yang aman dan nyaman. Selain itu, dalam kendaraan listrik, teknik ini juga dapat digunakan untuk mengatur regenerasi energi saat pengereman, yang dapat meningkatkan efisiensi secara keseluruhan [2].

2.2 Motor DC

Motor DC (*Direct Current*) adalah jenis motor listrik yang mengubah energi listrik arus searah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran atau gerakan. Motor ini sangat populer dan banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari mainan anak-anak hingga kendaraan listrik dan peralatan industri. Berikut adalah beberapa aspek penting mengenai motor DC [3].



Gambar 2.1 Bentuk fisik dan konstruksi motor DC

Pengendalian Kecepatan

Kecepatan motor DC dapat dikendalikan melalui beberapa metode, antara lain :

1. **Pengaturan Tegangan:** Mengubah tegangan input ke motor untuk mengontrol kecepatannya.
2. **Pulse Width Modulation (PWM):** Metode yang mengontrol daya yang diterima motor dengan mengatur lebar pulsa sinyal digital, sehingga menghasilkan kontrol kecepatan yang presisi dan efisien.

Aplikasi Motor DC

- **Kendaraan Listrik:** Sebagai penggerak utama dalam skuter listrik, mobil listrik, dan sepeda listrik.
- **Robotika:** Digunakan dalam robot untuk menggerakkan roda dan aktuator.

Persamaan Motor DC

Motor DC dapat dijelaskan melalui beberapa persamaan yang menggambarkan hubungan antara tegangan, arus, kecepatan, dan torsi. Berikut adalah beberapa persamaan penting yang digunakan untuk memahami dan menganalisis kinerja motor DC:

1. Persamaan Tegangan Armatur

Tegangan total yang diberikan pada terminal armatur motor DC dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$V = E + I_a R_a \quad (1)$$

dimana :

- V adalah tegangan terminal armatur (volt).
- E adalah gaya gerak listrik balik (back EMF) (volt).
- I_a adalah arus armatur (ampere).
- R_a adalah resistansi armatur (ohm).

2. Persamaan Gaya Gerak Listrik Balik (Back EMF)

Back EMF (E) yang dihasilkan dalam motor DC sebanding dengan kecepatan rotasi rotor (ω) dan konstanta back EMF (k_E):

$$E = k_E \cdot \omega \quad (2)$$

Di mana:

- E adalah back EMF (volt).
- k_E adalah konstanta back EMF (volt/rad/s atau volt/(rpm)).
- ω adalah kecepatan sudut rotor (rad/s atau rpm).

3. Persamaan Kecepatan Motor

Dengan menggantikan persamaan back EMF ke dalam persamaan tegangan armatur, kita mendapatkan:

$$V = k_E \cdot \omega + I_a \cdot R_a \quad (3)$$

Dengan mengisolasi kecepatan (ω):

$$\omega = \frac{V - I_a R_a}{k_E} \quad (4)$$

4. Persamaan Torsi Motor

Torsi (T) yang dihasilkan oleh motor DC sebanding dengan arus armatur (I_a) dan konstanta torsi (k_T):

$$T = k_T \cdot I_a \quad (5)$$

Di mana:

- T adalah torsi (Nm).
- k_T adalah konstanta torsi (Nm/ampere atau $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$).

5. Persamaan Daya Mekanik

Daya mekanik (P_m) yang dihasilkan oleh motor dapat dinyatakan sebagai:

$$P_m = T \cdot \omega \quad (6)$$

6. Efisiensi Motor

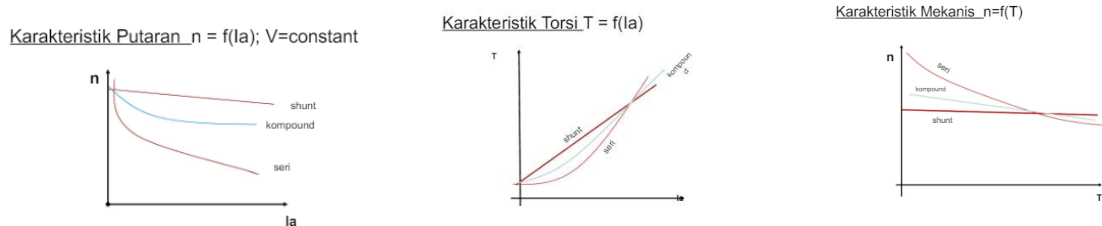
Efisiensi (η) dari motor DC dapat dihitung dengan membandingkan daya keluaran mekanik dengan daya masukan listrik:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{input}} = \frac{T \cdot \omega}{V \cdot I_a} \quad (7)$$

Persamaan-persamaan di atas memberikan dasar yang kuat untuk memahami dan menganalisis kinerja motor DC. Dengan menggunakan persamaan ini, kita dapat menghitung berbagai parameter penting seperti tegangan, arus, kecepatan, torsi, dan efisiensi motor. Pengetahuan ini sangat berguna dalam desain dan implementasi sistem kendali motor DC, seperti pada kendaraan listrik, peralatan industri, dan aplikasi robotika.

2.3 Kurva Karakteristik Motor DC

Kurva karakteristik motor DC menggambarkan hubungan antara berbagai parameter operasi seperti kecepatan, torsi, arus, dan efisiensi. Kurva ini sangat penting dalam memahami kinerja motor di berbagai kondisi beban dan menentukan aplikasi yang paling sesuai. Berikut adalah beberapa kurva karakteristik utama yang umum digunakan untuk menganalisis motor DC.

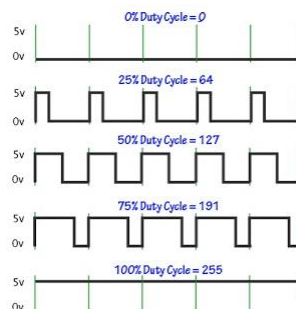


Gambar 2.2 Kurva karakteristik motor DC

Kurva karakteristik motor DC memberikan wawasan mendalam tentang bagaimana motor akan berperilaku di bawah berbagai kondisi operasi. Dengan memahami kurva ini, kita dapat memilih motor yang tepat untuk aplikasi tertentu, mengoptimalkan kinerja, dan memastikan keandalan dan efisiensi sistem yang digunakan.

2.4 PULSE WIDTH MODULATION (PWM)

PWM bekerja dengan membagi periode waktu menjadi dua komponen utama: periode saat sinyal dinyalakan (*on-time*) dan periode saat sinyal dimatikan (*off-time*). Lebar pulsa adalah perbandingan antara waktu sinyal dinyalakan dan off-time dalam satu periode. Dengan mengubah lebar pulsa, kita mengubah persentase waktu di mana sinyal dinyalakan, yang pada gilirannya mengubah rata-rata daya yang diberikan [5].



Gambar 2.3 Bentuk gelombang PWM

Salah satu keuntungan utama PWM adalah efisiensi energi yang tinggi. Dalam banyak kasus, seperti pengaturan kecepatan motor atau pencahayaan LED, perangkat akan beroperasi dengan baik bahkan jika diberikan daya yang

lebih rendah secara rata-rata. Dengan mengatur waktu di mana perangkat dinyalakan, tetapi tetap mempertahankan tegangan yang relatif konstan, efisiensi energi dapat ditingkatkan [6].
Persamaan dasar untuk PWM melibatkan beberapa konsep utama, yaitu periode (T), frekuensi (f), dan duty cycle (D).

1. **Periode (T):**

- Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus lengkap dari sinyal PWM.
- Satuan periode adalah detik (s).
- Persamaan untuk periode adalah:

$$T = \frac{1}{f} \quad (8)$$

2. **Frekuensi (f):**

- Frekuensi adalah jumlah siklus PWM per detik.
- Satuan frekuensi adalah Hertz (Hz).
- Persamaan untuk frekuensi adalah:

$$f = \frac{1}{T} \quad (9)$$

3. **Duty Cycle (D):**

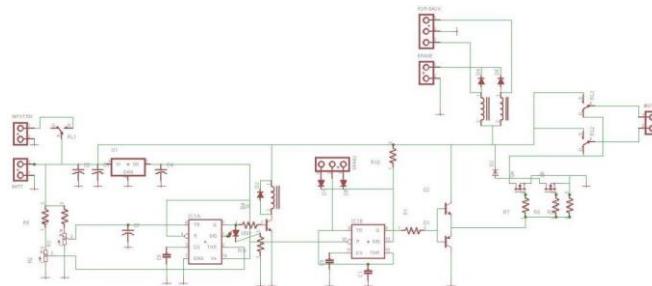
- Duty cycle adalah persentase dari satu periode di mana sinyal PWM berada pada level tinggi (ON).
- Duty cycle dinyatakan dalam persen (%).
- Persamaan untuk duty cycle adalah:

$$D = \left(\frac{t_{on}}{T} \right) \times 100\% \quad (10)$$

1. Di mana t_{on} adalah waktu dalam satu periode ketika sinyal berada pada level tinggi.

Dalam aplikasi PWM, nilai duty cycle menentukan berapa lama sinyal berada pada level tinggi dalam satu periode. Sebagai contoh, jika duty cycle adalah 50%, maka sinyal akan berada pada level tinggi selama setengah dari total periode dan sisanya pada level rendah.

2.5 RANGKAIAN PEMBANGKIT PWM



Gambar 2.4 Rangkaian pembangkit PWM

Rangkaian diatas dapat memberikan gambaran tentang teknik PWM pada driver motor DC. IC556 yang merupakan dual 555 diset sebagai astabil multivibrator dengan frekuensi kerja tetap (nilai RC tetap) dengan output diberikan ke rangkaian driver motor DC sederhana dengan mosfet. Konsep dasar kontrol PWM menggunakan rangkaian diatas terletak pada penambahan dua buah diode yang mengendalikan proses charge dan discharge kapasitor 0,1uF. Posisi tuas potensiometer 100K yang terhubung dengan dua buah diode tersebut akan menentukan waktu charge atau discharge kapasitor 0,1uF. Bentuk gelombang charge dan discharge terhadap output astabil multivibrator NE556 sebagai kontrol PWM driver motor DC pada gambar 2.3. Dengan rangkaian ini maka proses pengaturan motor DC dapat lebih smooth dan responsif.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 PENDEKATAN PENELITIAN

Pendekatan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi Masalah: Yaitu tujuan dari pengaturan motor menggunakan PWM, misalnya, untuk meningkatkan efisiensi energi, mengontrol kecepatan motor, atau mengurangi getaran.

2. Studi Literatur: Untuk memahami konsep dasar PWM, prinsip kerja motor listrik, dan aplikasi PWM dalam kendaraan listrik atau sistem lainnya.
3. Perancangan Rangkaian PWM: Rancang rangkaian PWM yang sesuai dengan spesifikasi motor dan kendaraan listrik, termasuk pemilihan komponen elektronik yang tepat.
4. Simulasi: Gunakan perangkat lunak simulasi seperti MATLAB/Simulink atau LTspice untuk menguji kinerja rangkaian PWM dalam mengatur kecepatan motor dan memprediksi efisiensi energi.
5. Implementasi dan Pengujian: Bangun rangkaian PWM sesuai desain dan uji kinerjanya pada motor listrik. Catat data pengukuran seperti kecepatan motor, arus, tegangan, dan efisiensi energi.
6. Analisis Data: Analisis data hasil pengujian untuk mengevaluasi kinerja rangkaian PWM, termasuk efisiensi energi, respons kecepatan, dan kestabilan sistem.

Kesimpulan dan Rekomendasi: Kesimpulan berdasarkan hasil analisis data dan diskusikan implikasinya terhadap penggunaan PWM dalam pengaturan motor. Dan rekomendasi untuk pengembangan lebih lanjut

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Analisis korelasi untuk memahami seberapa kuat hubungan antara dua variabel (misalnya, *duty cycle* dan kecepatan putaran motor). Korelasi dapat membantu Anda menentukan apakah ada hubungan linier antara variabel-variabel tersebut. *Duty cycle* adalah rasio waktu di mana sebuah sinyal aktif terhadap total periode waktu. Dalam konteks motor DC, *duty cycle* umumnya terkait dengan kendali PWM (*Pulse Width Modulation*), yang digunakan untuk mengatur kecepatan putaran motor [9].

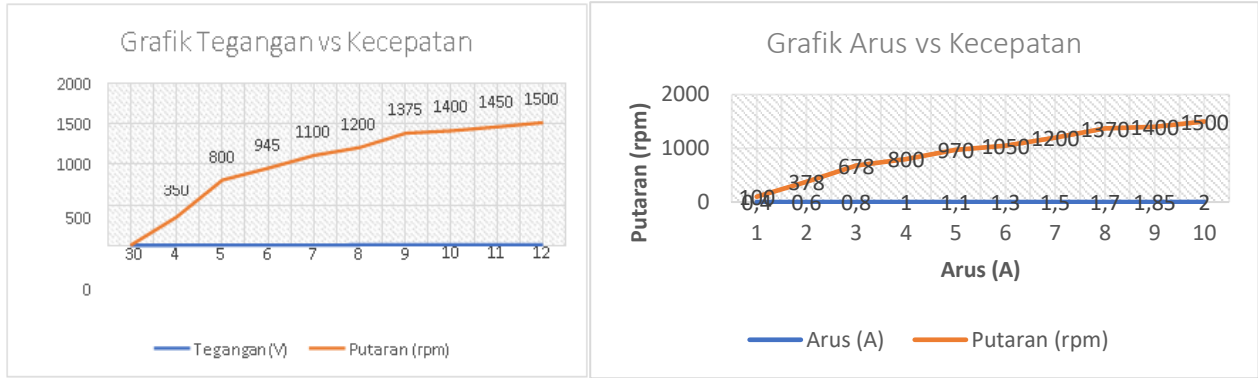


Gambar 4.1 Grafik korelasi antara duty cycle dan putaran motor dc

Hasil pengujian ini dibuat dalam tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tegangan vs Kecepatan Motor DC

No	Tegangan (V)	Putaran (rpm)
1	3	0
2	4	350
3	5	800
4	6	945
5	7	1100
6	8	1200
7	9	1375
8	10	1400
9	11	1450
10	12	1500



Gambar 4.2 Grafik Tegangan vs kecepatan dan Arus vs Kecepatan

4.2 Pembahasan

Dari pengujian diatas dapat dilihat korelasi antara variasi tegangan input dengan variasi kecepatan motor dc. Semakin tinggi tegangan yang diberikan maka akan semakin cepat pula putaran motor dc. Demikian jug halnya dengan arus input yang berbanding lurus dengan teganan input yang diberikan ke motor dc. Hal ini dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.2.

Sehingga dapat dinilai bahwa sistem kontrol ini mempunyai hubungan yang linier antara tegangan input dan dan arus input dengan kecepatan motor dc.

5. KESIMPULAN

Adapun simpulan dari penelitian ini adalah :

1. Sistem kontrol kecepatan motor dc yang dirancangn sudah bekerja sesuai dengan yang diinginkan.
2. Terdapat korelasi yang linier antara tegangan input dan kecepatan putaran motor.
3. Demikian juga korelasi antara arus input dengan kecepatan motor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akbar, D., & Riyadi, S. (2019). *Pengaturan Kecepatan Pada Motor Brushless Dc (Bldc) Menggunakan Pwm (Pulse Width Modulation)*.255–262. <https://doi.org/10.5614/sniko.2018.30>
- [2] Astuti, P., & Masdi, H. (2022). Sistem Kendali Kecepatan Motor BLDC Menggunakan PWM Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 3(1),120.135. <http://jtein.ppi.unp.ac.id/index.php/JTEIN/article/view/216>
- [3] Candra, T. Y., & Ta'ali. (2020). Sistem Pengendali Kecepatan Motor DC Penguatan Terpisah Berbeban dengan Teknik Kontrol PWM Berbasis Arduino. *Jtev (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 06(01), 199–210. <https://doi.org/https://doi.org/10.24036/jtev.v6i1.107877>
- [4] Hidayati, Q., & Prasetyo, M. E. (2016). Pengaturan Kecepatan Motor DC dengan Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Fuzzy-PID. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.32487/jtt.v4i1.123>
- [5] I.S, R., & Hartono. (2018). Rancang Bangun Pulse Width Modulation (PWM) Sebagai Pengatur Kecepatan Motor DC Berbasis Mikrokontroler Arduino. *Jurnal Penelitian*, 3(1), 50– 58. <https://doi.org/10.46491/jp.v3e1.31.50-58>
- [6] Muis, A. (2020). Rancang Bangun Konveyor Pengirim Makanan Pada Restoran Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Metode Pwm. *Sinusoida*, XXII(3). <https://ejournal.istn.ac.id/index.php/sinusoida/article/view/753%0Ahttps://ejournal.istn.ac.id/index.php/sinusoida/article/download/753/557>
- [7] Budijanto, A. (2018, September). Pengaturan kecepatan motor dc pada robot line follower menggunakan pulse width modulation (pwm). In *Seminar Nasional Sistem Informasi (SENASIF)* (Vol. 2, pp. 1162-1169).
- [8] Ma'arif, A., ISTIARNO, R., & SUNARDI, S. (2021). Kontrol proporsional integral derivatif (pid) pada kecepatan sudut motor dc dengan pemodelan identifikasi sistem dan tuning. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(2), 374.
- [9] Ali, A., Muhammad, H., & M Ilham, R. (2024). *Pengendalian Kecepatan Motor DC menggunakan PWM (Pulse Width Modulation)* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat).
- [10] Septiarini, A. D. (2018). *Pemodelan matematika kecepatan motor DC menggunakan identifikasi dengan metode 2S* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

- [11] Wardani, R., Tharo, Z., & Fahreza, M. (2023). Analisis Konsumsi Energi Listrik pada Penggunaan Lift Penumpang di Rumah Sakit Adam Malik Medan. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 5(1), 39-48.
- [12] Aryza, S., & Lubis, Z. (2019, November). Enhanced of Speed Monitoring Brushless DC (BLDC) Equipment and Controller Based on Arduino. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1361, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- [13] Siagian, P., Alam, H., & Putra, R. R. (2023). Potensi Energi Angin Kecepatan Rendah Untuk Pembangkit Listrik Dengan Modifikasi Turbin Jenis Icwind. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 6(2), 757-763.
- [14] Amini, A. A., Siagian, P., & Aryza, S. (2024). Rancang Bangun Mesin Pengiris dan Penggoreng Umbi-Umbian Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(2), 8399-8407.