

# Rancang Bangun Sistem Throttle Brushless DC Motor pada Kursi Roda Elektrik

## Design of Throttle System for a Brushless DC Motor in an Electric Wheelchair

Ferdinand Natanael<sup>1</sup>, Bagus Made Arthaya<sup>2</sup>, Faisal Wahab<sup>3\*</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Katolik Parahyangan; email: faisal.wahab@unpar.ac.id

[Dikirimkan: 16 Januari 2025, Direvisi: 28 Mei 2025, Diterima: 31 Mei 2025]

Corresponding Author: Faisal Wahab

**INTISARI** — Kursi roda elektrik merupakan alat bantu mobilitas yang dirancang untuk mendukung aktivitas individu dengan disabilitas fisik, khususnya mereka yang mengalami keterbatasan dalam bergerak. Alat ini terdiri dari beberapa komponen utama, seperti rangka mekanis dengan empat roda dua roda penggerak yang dikendalikan oleh motor listrik dan dua roda caster di bagian depan, serta sistem pengendali berupa *joystick*, baterai sebagai sumber daya, dan tempat duduk yang dirancang untuk kenyamanan pengguna. Dengan semakin berkembangnya teknologi, penting untuk mengintegrasikan sistem kontrol yang lebih efisien dan akurat dalam kursi roda elektrik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem *throttle* dan tachometer berbasis sensor Hall pada kursi roda elektrik, guna meningkatkan kemampuan kontrol dan akurasi pergerakan kursi roda. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk menggerakkan kursi roda ke depan, belok ke kanan, dan belok ke kiri hanya dengan menggunakan *joystick*. Metodologi yang digunakan mencakup modifikasi kerangka kursi roda konvensional, integrasi motor BLDC, perancangan sistem *throttle*, serta penerapan sensor Hall untuk pengukuran kecepatan rotasi roda secara real time. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem takometer berbasis sensor Hall memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dengan kesalahan pengukuran hanya sebesar 0,32% jika dibandingkan dengan alat ukur standar. Motor BLDC yang digunakan mampu menghasilkan kecepatan putaran maksimum sebesar 450 RPM. Temuan ini membuktikan bahwa sistem yang dikembangkan dapat meningkatkan kinerja dan keandalan kursi roda elektrik, serta memberikan kenyamanan dan kemandirian yang lebih baik bagi penggunanya.

**KATA KUNCI** — *Joystick*, Kursi Roda Elektrik, Motor BLDC, Sensor Hall, Tachometer, *Throttle*.

**ABSTRACT** — An electric wheelchair is a mobility aid designed to support the activities of individuals with physical disabilities, particularly those who have difficulty moving independently. This device consists of several main components, including a mechanical frame with four wheels two drive wheels powered by electric motors and two caster wheels at the front as well as a control system in the form of a joystick, a battery as the power source, and a seat designed for user comfort. With the advancement of technology, it is essential to integrate more efficient and accurate control systems into electric wheelchairs. This study aims to design and develop a throttle and tachometer system based on a Hall-effect sensor for electric wheelchairs to enhance movement control and accuracy. The system allows users to operate the wheelchair to move forward, turn right, and turn left using only the joystick. The methodology includes modifying a conventional wheelchair frame, integrating a BLDC motor, designing the throttle system, and implementing a Hall-effect sensor for real-time wheel rotation speed measurement. The results show that the Hall-effect sensor-based tachometer system demonstrates a high level of accuracy, with a measurement error of only 0.32% compared to standard measuring instruments. The BLDC motor used in the system is capable of reaching a maximum rotational speed of 450 RPM. These findings prove that the developed system improves the performance and reliability of electric wheelchairs while providing better comfort and independence for users.

**KEYWORDS** — Joystick, Electric Wheelchair, BLDC Motor, Hall Sensor, Tachometer, Throttle.

### I. PENDAHULUAN

Penyandang disabilitas adalah individu yang mengalami keterbatasan atau kehilangan kesempatan untuk berpartisipasi dalam kehidupan masyarakat sehari-hari akibat gangguan fisik (kecacatan), psikis atau adanya halangan sosial [1]. Salah satu contohnya adalah kesulitan berjalan yang dapat diatasi dengan menggunakan alat bantu mobilitas seperti tongkat berjalan atau kursi roda [2]. Penggunaan kursi roda tidak hanya membantu individu bersosial, tetapi juga mendukung mereka untuk bersosialisasi, mendapatkan edukasi dan mengembangkan kemandirian. Kursi roda manual pada umumnya digerakkan menggunakan tangan sebagai penggerak utama, sehingga dalam kondisi tertentu pengguna mungkin memerlukan bantuan orang lain untuk mengoperasikan kursi roda tersebut [3]. Pengembangan kursi roda telah mencakup penambahan komponen elektrik, seperti motor yang berfungsi sebagai penggerak utama [4]. Kursi roda elektrik (*power wheelchair*) dirancang untuk penyandang disabilitas yang mengalami kesulitan berjalan dan kekurangan kekuatan atau koordinasi untuk mengoperasikan kursi roda manual tetapi memiliki kemampuan kognitif yang cukup baik untuk navigasi. Kondisi ini ditemukan pada para penderita *cerebral palsy*.

Kursi roda elektrik memiliki komponen dasar berupa rangka mekanik (*chassis*) dengan empat roda, terdiri dari dua roda penggerak yang terhubung dengan motor listrik dan dua buah roda kastor yang terpasang pada kanan dan kiri kursi. Komponen lainnya meliputi baterai sebagai sumber daya, pengontrol yang berfungsi sebagai pengendali motor dan sebagai antarmuka antara manusia dan mesin (umumnya berupa *joystick*), dan tempat duduk untuk kenyamanan pengguna. Penelitian terkait kursi roda elektrik ini telah banyak dilakukan, seperti pada studi [5] [6] yang sebagian besar masih berupa purwarupa atau dalam bentuk robot mobil (*mobile robot*). Selain itu, penelitian lain umumnya motor penggerak berupa motor DC magnet tetap [7], [8], yang dipasang pada rangka kursi dan dihubungkan ke roda melalui mekanisme roda gigi cacing (*worm gear*) [9]. Namun, sistem gerak ini memiliki keterbatasan dalam hal akselerasi, dan efisiensi [10]. Sebagai solusi untuk mengatasi masalah tersebut, motor DC tanpa sikat (*brushless DC motor*) dapat digunakan, karena menawarkan efisiensi yang lebih tinggi dan performa yang lebih baik dibandingkan dengan motor DC konvensional [11].

Pada beberapa tahun terakhir, penggunaan motor arus searah tanpa sikat, atau disebut motor *Brushless DC* (BLDC) telah berkembang secara pesat. Perkembangan ini didorong oleh meningkatnya kebutuhan dalam berbagai industri, seperti otomotif [12], robotika [13], penerbangan, eksplorasi luar angkasa, hingga peralatan rumah tangga. Motor BLDC termasuk dalam kategori motor arus searah (*direct current, DC*), dengan perbedaan utama dibandingkan motor DC konvensional terletak pada komponen yang dinamakan sikat (*brush*). Pada motor DC konvensional, sikat berfungsi sebagai media penghubung arus listrik menuju komutator dan kumparan. Namun, penggunaan sikat ini memiliki sejumlah kelemahan, seperti menimbulkan gesekan yang memperpendek usia motor, serta menghasilkan *noise*. Untuk mengatasi hal keterbatasan tersebut, dikembangkanlah motor DC tanpa sikat (*brushless*) motor BLDC [14]. Selain tidak menggunakan sikat, motor BLDC memiliki perbedaan lain dibandingkan motor DC biasa, yaitu membutuhkan sistem kontrol yang lebih kompleks [15]. Sistem ini diperlukan untuk mengatur pengalihan arus listrik secara elektronik, menggantikan fungsi sikat pada motor DC konvensional, sehingga motor BLDC mampu memberikan efisiensi dan keandalan yang lebih tinggi. Berdasarkan Tabel I, perbandingan performa antara jenis motor DC konvensional dengan motor BLDC menunjukkan bahwa motor BLDC memiliki keunggulan signifikan. Keunggulan tersebut meliputi efisiensi yang lebih tinggi, masa pakai lebih panjang, tingkat kebisingan rendah, dan karakteristik torsi-kecepatan yang baik [16].

TABEL I  
PERBANDINGAN MOTOR DC DENGAN MOTOR BLDC

Performa	Jenis Motor	
	Motor DC	Motor BLDC
Efisiensi (%)	<90	95-97
Keandalan	Baik	Sangat Baik
Disipasi panas	Kurang baik	Baik
Ukuran motor	Besar, berat	Kecil, ringan
Performa (kecepatan tinggi)	Kurang Baik	Baik

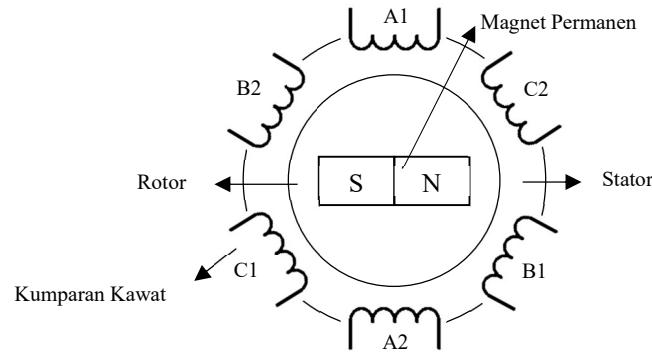
Pada motor BLDC, diperlukan rangkaian tambahan berupa modul inverter tiga fasa untuk memungkinkan motor beroperasi dengan baik [17]. Dalam aplikasi kendaraan seperti sepeda motor dan mobil listrik, pengaturan kecepatan biasanya dilakukan melalui sistem *throttle* [18][19]. Namun, untuk kebutuhan kursi roda elektrik, diperlukan sistem *throttle* yang dirancang khusus agar dapat menyesuaikan dengan karakteristik dan kebutuhan spesifik pengguna. Sistem *throttle* yang dirancang harus mampu mengatur kecepatan motor secara digital dan memberikan kemudahan kendali bagi pengguna dengan keterbatasan fisik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *throttle* untuk motor BLDC pada kursi roda elektrik. Untuk menguji kinerja sistem *throttle* yang dikembangkan, diperlukan pemrosesan data dari sensor Hall yang terletak di bagian internal motor BLDC. Sensor ini digunakan untuk mendapatkan informasi kecepatan motor secara real-time dan akurat, sehingga sistem dapat memberikan umpan balik yang sesuai dalam pengaturan kecepatan. Hasil pengolahan data ini menjadi dasar evaluasi efektivitas sistem *throttle* dalam mendukung kinerja kursi roda elektrik secara keseluruhan.

## II. METODE PENELITIAN

### A. MOTOR BRUSHLESS

Motor *Brushless DC* (BLDC) terdiri dari dua komponen utama, yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian motor yang bersifat statis dan terdiri dari kumparan kawat, sedangkan rotor merupakan bagian motor yang berputar dan terdiri dari magnet permanen. Jumlah magnet pada rotor mempengaruhi performa torsi serta kecepatan maksimum motor [17]. Rotasi pada motor BLDC dihasilkan melalui interaksi antara magnet permanen pada rotor dan medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan kawat pada stator yang terinduksi arus listrik. Kutub magnet yang berbeda akan menghasilkan gaya tarik-menarik, sementara kutub yang sama akan menghasilkan gaya tolak-menolak. Kecepatan rotasi motor dapat dikendalikan dengan mengatur aliran arus listrik yang melewati stator.

Pada Gambar 1 menunjukkan konstruksi motor BLDC. Ketika kumparan B1 dan B2 dialiri arus listrik, keduanya menghasilkan medan magnet dengan kutub selatan (S) dan utara (N) secara berurutan. Medan magnet ini kemudian menarik kutub berlawanan dari magnet permanen yang terpasang pada rotor, sehingga menyebabkan rotor bergerak. Proses yang sama terjadi secara bergantian pada kumparan A1-A2 dan C1-C2, membentuk pola medan magnet berurutan yang terus berubah. Pergantian arus pada kumparan-kumparan tersebut dikendalikan secara presisi oleh rangkaian inverter tiga fasa. Dengan pengaturan arus yang tepat, medan magnet yang dihasilkan oleh stator akan selalu berada sedikit di depan posisi rotor, sehingga rotor terus tertarik dan berputar. Pola kerja ini menghasilkan gerakan rotasi yang kontinu dan efisien pada motor BLDC [20].



Gambar 1. Konstruksi Motor BLDC

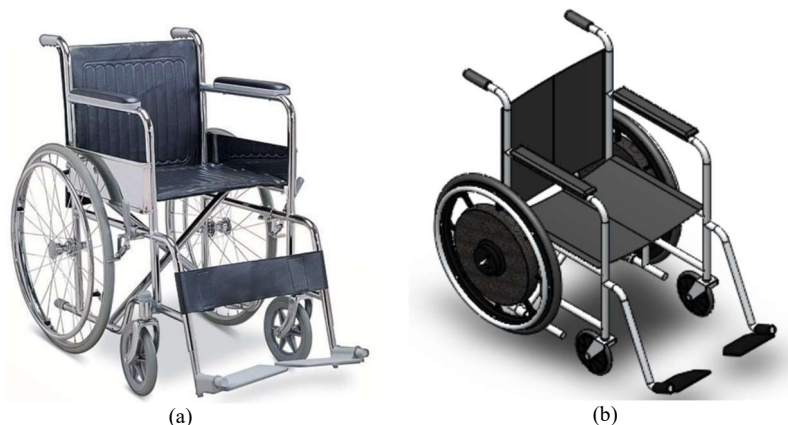
### B. PERANCANGAN SISTEM MEKANIK

Kursi roda konvensional digunakan sebagai basis dalam perancangan kursi roda elektrik pada penelitian ini. Kursi roda yang dipilih adalah kursi roda merek Sella dengan tipe KY-809 yang ditampilkan pada Gambar 2 (a). Spesifikasi kursi roda Sella KY-809 yang disajikan pada Tabel II.

TABEL II  
SPESIFIKASI KURSI RODA

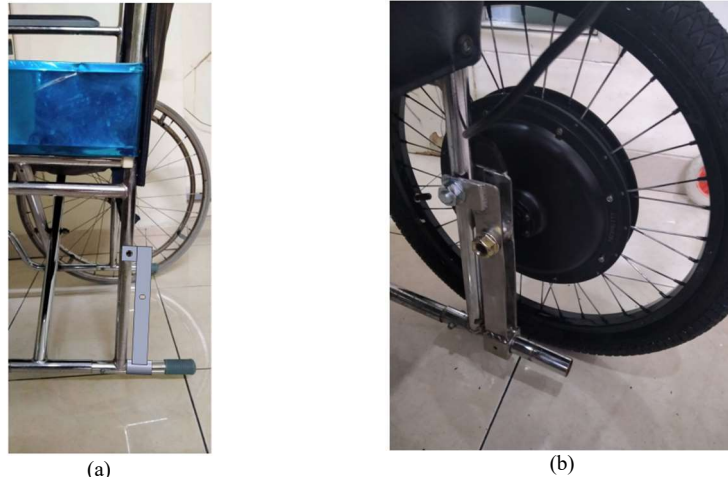
Spesifikasi	Nilai	Satuan
Panjang kursi roda	1060	mm
Lebar kursi roda	650	mm
Tinggi kursi roda	870	mm
Jari-jari roda penggerak	295	mm
Jari-jari roda kastor	100	mm
Maksimum beban	100	kg
Massa kursi roda	20	kg

Spesifikasi minimum motor yang digunakan dalam perancangan kursi roda elektrik ditentukan melalui proses perhitungan berdasarkan beban total yang harus digerakkan. Kursi roda elektrik dirancang untuk mampu menggerakkan massa total sebesar 130 kg, yang terdiri dari: massa kursi roda sebesar 20 kg, massa pengguna sebesar 100 kg, dan massa dua buah motor BLDC masing-masing 5 kg. Rancangan kursi roda elektrik yang telah dimodifikasi dengan penambahan motor BLDC ditampilkan pada Gambar 2(b).



Gambar 2. (a) Kursi roda Sella KY-809, (b) Rancangan kursi roda elektrik

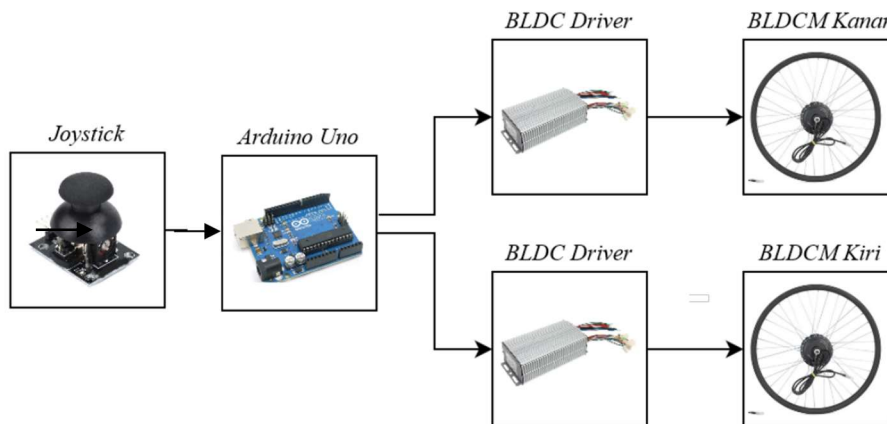
Sistem mekanis pada perancangan ini terdiri dari kursi roda konvensional yang dimodifikasi dengan menambahkan sistem penggerak differensial, menggunakan dua motor BLDC. Kecepatan linier maksimum masing-masing roda, baik roda kanan ( $V_R$ ) maupun roda kiri ( $V_L$ ), mencapai 1,4 m/s, yang setara dengan rata-rata kecepatan berjalan manusia normal. Dalam penelitian ini, kursi roda elektrik dikembangkan dari kursi roda manual yang umum digunakan di masyarakat. Untuk meminimalkan perubahan pada struktur asli kursi roda, dirancang sebuah adaptor khusus yang memungkinkan pemasangan motor BLDC secara praktis tanpa modifikasi besar. Adaptor ini dirancang agar kompatibel dengan berbagai model kursi roda standar, sehingga mendukung kemudahan replikasi dan penerapan di lapangan. Rancangan dan implementasi adaptor tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. (a) Rancangan adaptor BLDC, (b) Implementasi adaptor BLDC

**C. PERANCANGAN SISTEM ELEKTRIK**

Sistem elektrik pada kursi roda elektrik tersusun atas komponen-komponen seperti: *microcontroller* arduino Uno, dua buah motor BLDC 48V 400W yang dipasangkan pada roda kiri dan kanan kursi roda, *joystick shield*, dan *Brushless Motor Controller* yang didalamnya telah terdapat sensor *hall*. Komponen-komponen tersebut akan terhubung seperti skematik rangkaian pada Gambar 4. *Joystick* berfungsi sebagai input pada kursi roda elektrik. *Joystick* merupakan antarmuka manusia dengan mesin, dimana gerakan pada *joystick* akan ditranslasikan menjadi putaran motor BLDC. *Joystick* yang digunakan adalah *joystick* KY-023. Arduino Uno berfungsi sebagai pusat kontrol analog-digital dari keseluruhan sistem. BLDC driver merupakan pengontrol motor BLDC, termasuk di dalamnya terdapat sensor *hall* dan aktivator *hall* (*throttle*)



Gambar 4. Rancangan sistem elektrik

*Joystick* digunakan sebagai antarmuka manusia-mesin. *Joystick* yang digunakan adalah *joystick* KY-023. *Joystick* ini memiliki lima buah pin, yaitu: tegangan masukan, *ground*, tegangan keluaran proporsional dengan posisi *X*, tegangan keluaran proporsional posisi *Y*, dan *key* yang memberikan tegangan keluaran ketika *joystick* ditekan. *Joystick* memerlukan tegangan masukan 5V dengan keluaran berupa data analog (0 - 1023).

TABEL III  
PENGATURAN PADA JOYSTICK

Gerakan joystick		Data analog		Gerakan kursi roda elektrik
X	Y	X	Y	
+	0	1023	512	Bergerak maju
-	0	0	512	Berputar pada sumbu putar
0	+	512	1023	Bergerak belok kanan
0	-	512	0	Bergerak belok kiri

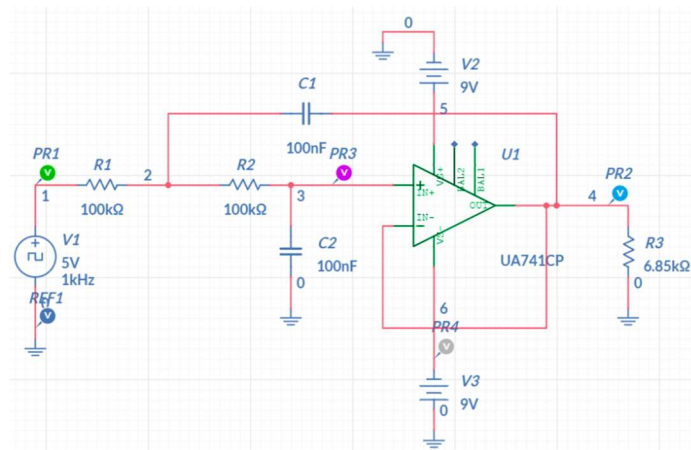
Data keluaran *joystick* bergantung pada posisi *joystick* Data analog dari *joystick* yang dapat digunakan untuk menentukan pergerakan kursi roda elektrik. Hubungan data analog *joystick* terhadap gerakan kursi roda elektrik dapat dilihat pada Tabel III.

Kursi roda elektrik akan memiliki empat buah gerakan, yaitu: bergerak maju, berputar pada sumbu putar, bergerak belok kanan, dan bergerak belok kiri. Gerakan tersebut diadopsi dari gerakan robot beroda diferensial (DDWMR).

### 1) SISTEM THROTTLE

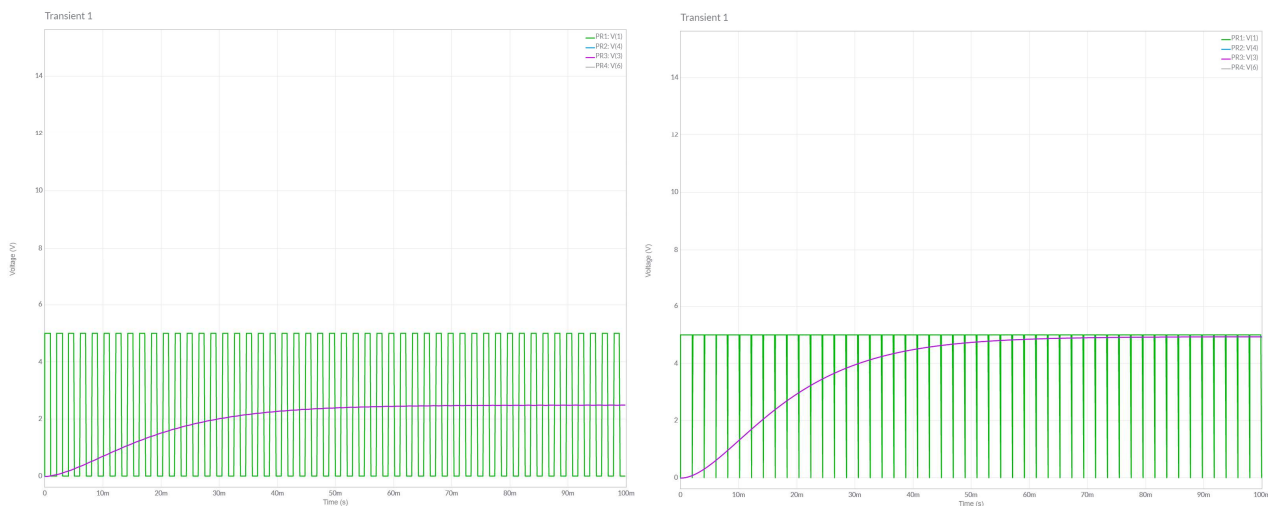
Perangkat vital pada kendaraan saat ini mulai bergeser dari sistem mekanis menjadi sistem elektromekanis. Hal ini berdampak pada perkembangan kendali kendaraan seperti pengereman elektronik, stabilisasi postur, kendali *throttle* elektronik. Salah satu perangkat yang mengalami perubahan adalah *throttle*. *Throttle* adalah perangkat yang mengatur aliran bahan bakar menuju mesin. Pada motor BLDC, *throttle*, mengatur tegangan *input* pada motor BLDC, sehingga pengaturan *throttle* berpengaruh pada kecepatan motor BLDC.

Pada modul Driver BLDC, masukan yang dapat diterima merupakan tegangan analog murni sehingga keluaran PWM dari Arduino tidak dapat berfungsi dengan baik. Oleh karena itu diperlukan rangkaian tapis untuk mengubah keluaran PWM menjadi tegangan analog murni. Perancangan rangkaian tapis untuk PWM ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Skematik rangkaian konversi PWM ke tegangan analog

Hasil simulasi rangkaian dapat dilihat pada Gambar 6 menggunakan perangkat lunak. PWM yang dihasilkan oleh Arduino-Uno memiliki frekuensi 490Hz, ditunjukkan oleh garis berwarna hijau. Sedangkan hasil keluaran rangkaian konverter ditunjukkan oleh garis berwarna ungu. Grafik tersebut menunjukkan bahwa rangkaian konversi PWM ke tegangan telah berhasil mengeluarkan tegangan analog murni.



Gambar 6. Grafik input dan output rangkaian konverter PWM ke tegangan analog

### 2) CONTROLLER BLDC

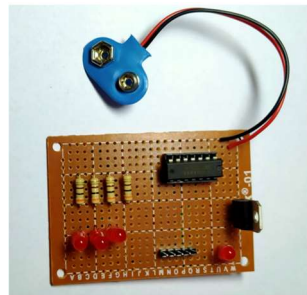
Untuk menggerakkan motor BLDC (Brushless DC), diperlukan modul driver atau kontroler khusus. Hal ini disebabkan oleh perbedaan karakteristik pengoperasian motor BLDC dibandingkan dengan motor DC konvensional, di mana motor BLDC memerlukan pengaturan fase arus secara elektronik agar rotor dapat berputar secara sinkron. Selain itu, driver berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengatur aliran tegangan dan arus dari sumber daya DC ke motor BLDC. Modul driver tidak hanya mengaktifkan putaran motor, tetapi juga dilengkapi dengan berbagai fitur pendukung, seperti: pembacaan sensor Hall untuk menentukan posisi rotor, pengaturan kecepatan (*throttle*), serta fungsi pengereman (*braking*) untuk menghentikan motor dengan

cepat dan aman. Pada penelitian ini, motor yang digunakan adalah motor BLDC 48V, yang dipilih berdasarkan kebutuhan daya dan performa kursi roda elektrik. Spesifikasi teknis dari modul driver yang digunakan ditampilkan pada Tabel IV.

TABEL IV  
SPESIFIKASI DRIVER BLDCM

Spesifikasi	Nilai	Satuan
Dimensi	150 × 81 × 40	mm
Tegangan masukan	48	V
Arus maksimum	30	A
Efisiensi	85	%
Rentang kecepatan	0-100	%

Untuk mendapatkan informasi kecepatan dari motor BLDC, diperlukan sebuah sensor yang dapat membaca pulsa-pulsa yang keluar dari motor BLDC, yaitu sensor hall. Sensor hall digunakan sebagai penghitung *Revolution Per Minute* (RPM) dengan cara mendeteksi perubahan medan magnet yang terjadi setiap kali rotor motor berputar. Untuk membaca pulsa-pulsa yang keluar dari sensor Hall, diperlukan sebuah rangkaian antarmuka yang dapat mengonversi sinyal dari bentuk analog atau digital menjadi sinyal yang dapat dibaca oleh mikrokontroler, dalam hal ini Arduino. Pada bagian ini, sistem akan memastikan bahwa kondisi sinyal dari sensor Hall dapat terbaca dengan baik oleh mikrokontroler Arduino, kemudian dilanjutkan dengan proses perhitungan kecepatan putaran motor. Perhitungan dilakukan dengan cara melakukan sampling jumlah pulsa yang diterima dalam satuan waktu tertentu, kemudian dikonversi menjadi nilai RPM menggunakan rumus yang sesuai. Dengan demikian, sistem dapat memantau kecepatan putaran motor secara real-time dan memberikan data yang akurat untuk keperluan kendali pada kursi roda elektrik.



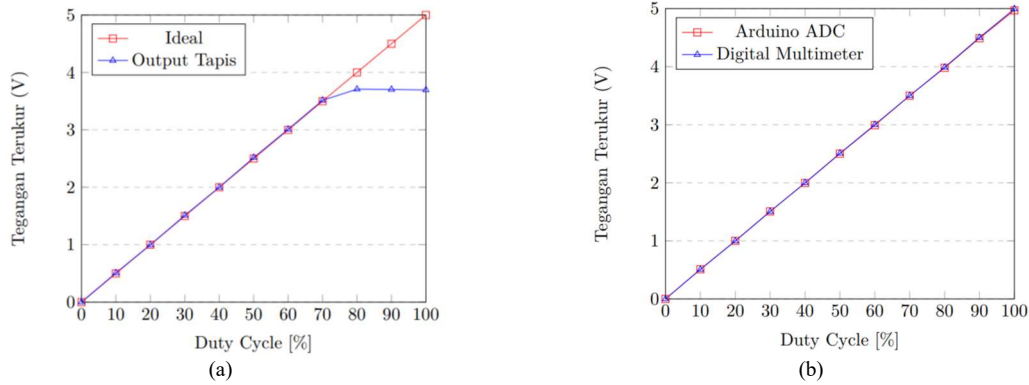
Gambar 7. Rangkaian Pendeteksi Hall

Rangkaian pendeteksi Hall pada Gambar 7 digunakan untuk memastikan bahwa sensor Hall berfungsi dengan baik dan tidak mengalami gangguan. Selain itu, rangkaian ini juga berfungsi untuk mendeteksi pola pergerakan motor BLDC dengan cara mengamati nyala dari tiga buah LED yang terhubung ke masing-masing output sensor Hall. Pola nyala LED akan menunjukkan urutan sinyal dari sensor Hall, yang merepresentasikan posisi rotor motor saat berputar. Dengan demikian, rangkaian ini tidak hanya berperan sebagai alat verifikasi fungsi sensor, tetapi juga sebagai indikator visual untuk memahami urutan kerja motor BLDC.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

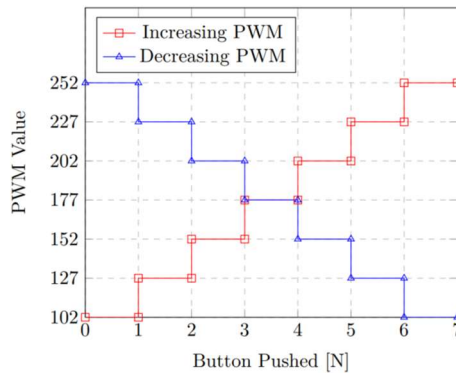
#### A. SISTEM THROTTLE

Rangkaian tapis PWM berfungsi untuk mengonversi sinyal PWM menjadi tegangan analog murni. Dalam penelitian ini dilakukan dua percobaan untuk mengamati hubungan antara perubahan duty-cycle PWM dan tegangan keluaran rangkaian tapis, menggunakan dua sumber tegangan berbeda, yaitu 5V dan 9V. Pada percobaan pertama, duty cycle PWM ditingkatkan secara bertahap dengan kenaikan sebesar 10%, dimulai dari 0% hingga mencapai 100%. Gambar 8 menunjukkan hubungan antara tegangan keluaran tapis dan perubahan duty-cycle PWM yang dihasilkan oleh Arduino-Uno. Hasilnya menunjukkan bahwa tegangan keluaran rangkaian tapis hanya mampu mencapai nilai maksimum sebesar 3,68V pada duty-cycle 80%. Hal ini disebabkan oleh adanya *offset* pada komponen operational-amplifier LM741 yang digunakan dalam rangkaian tapis. Untuk mengatasi keterbatasan ini, percobaan kedua dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan yang lebih tinggi, yaitu 9V.



Gambar 8. Hubungan keluaran tapis perubahan duty-cycle PWM, dengan (a) sumber tegangan 5V dan (b) sumber tegangan 9V

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara tegangan keluaran tapis dan perubahan *duty-cycle* PWM Arduino-Uno dengan sumber tegangan 9V. Pada percobaan ini, hasil menunjukkan keluaran rangkaian tapis sesuai dengan nilai ideal yang diharapkan. Tegangan maksimum keluaran rangkaian tapis tercapai pada kondisi *duty-cycle* 100%, yaitu sebesar 5V. Berdasarkan hasil kedua percobaan yang ditunjukkan pada Gambar 8 (a) dan (b), Penelitian ini menetapkan bahwa rangkaian tapis dengan sumber tegangan 9V akan digunakan sebagai input untuk *throttle*.

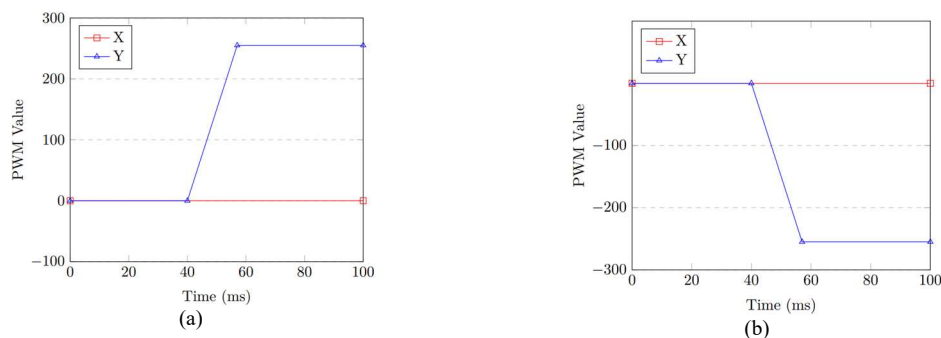


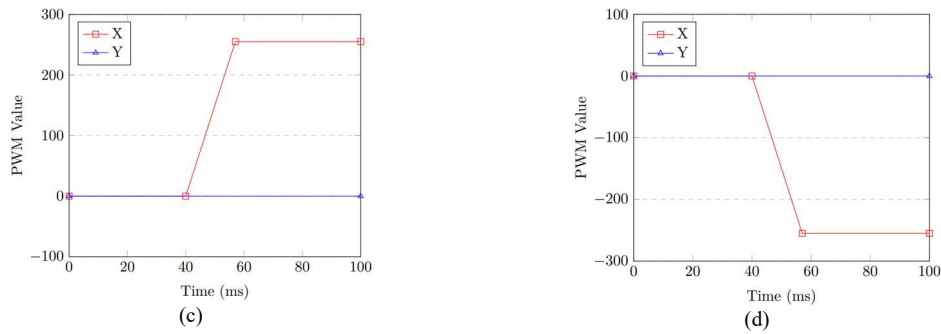
Gambar 9. Pengaturan maksimum pwm dengan dua buah push-button

Gambar 9 menunjukkan dua kondisi yaitu peningkatan dan penurunan nilai PWM berdasarkan jumlah penekanan tombol [N]. Nilai minimum PWM dibatasi pada 102 nilai analog atau setara 40% *duty-cycle*, sedangkan nilai maksimum yang dapat dicapai adalah 252 atau setara 99% *duty-cycle*. Setiap penekanan tombol akan mempengaruhi peningkatan atau penurunan nilai PWM sebesar 25 nilai analog atau setara 10% *duty-cycle* PWM.

### B. PEMETAAN JOYSTIK

Pada penelitian ini, PWM yang diperlukan untuk *throttle* BLDC diatur oleh gerakan *joystick*. Gerakan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah gerak maju, gerak belok kanan, dan gerak belok kiri. Gerak mundur dan berputar pada sumbu tidak dilakukan. Namun untuk kedua gerakan tersebut tetap disediakan pemetaan pada *joystick* meskipun gerakan tidak mampu dilakukan. Langkah yang dilakukan adalah dengan melakukan fungsi *mapping* pada Arduino-Uno, sehingga *joystick* (10-bit) menghasilkan nilai analog pada kedua sumbu X dan Y sebesar -255 sampai dengan 255 atau nilai absolutnya setara dengan nilai keluaran PWM (8-bit).





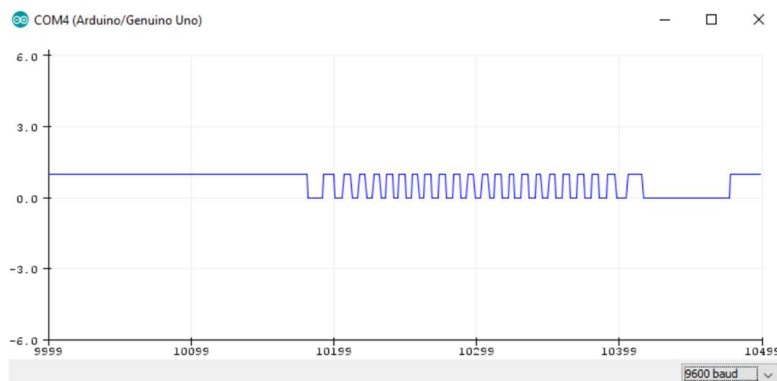
Gambar 10. Peta joystick gerak maju (a), mundur (b), belok kanan (c) dan belok kiri (d)

Gambar 10 (a) menunjukkan pergerakan penuh sumbu Y+ pada *joystick* untuk menghasilkan gerakan maju pada kedua motor BLDC. Selama *joystick* digerakkan dalam area Y+, maka kedua BLDC akan menerima *throttle* sebesar nilai analog *joystick*. Gambar 10 (b) menunjukkan pergerakan penuh sumbu Y- pada *joystick* yang diharapkan dapat digunakan untuk pergerakan mundur pada BLDC. Pada penelitian ini gerakan mundur atau berputar pada sumbu tidak dilakukan. Gambar 10 (c) menunjukkan pergerakan penuh sumbu X- pada *joystick* untuk menghasilkan gerak belok kanan pada kursi roda, yaitu dengan hanya memberikan *throttle* pada BLDC kanan sebesar nilai analog *joystick* pada sumbu X. Gambar 10 (d) menunjukkan pergerakan penuh sumbu X+ pada *joystick* untuk menghasilkan gerak belok kiri pada kursi roda, yaitu dengan hanya memberikan *throttle* pada BLDC kiri sebesar nilai analog *joystick* pada sumbu X.

Perubahan gerakan *joystick* dapat menghasilkan perubahan nilai PWM secara drastis, sehingga memberikan gerakan kejut pada kursi roda elektrik yang mengurangi kenyamanan *user*. Solusi yang diimplementasikan adalah dengan merancang algoritma agar perubahan gerakan *joystick* ditranslasikan menjadi perubahan/peningkatan nilai PWM secara bertahap. Untuk menghasilkan perubahan nilai PWM yang semakin halus (*smooth*) maka menghasilkan *delay* gerak yang semakin tinggi.

### C. PEMBACAAN RPM

Untuk mendapatkan nilai RPM, terlebih dahulu dilakukan perhitungan jumlah pulsa yang dihasilkan oleh sensor hall tiap putaran BLDC. Perhitungan pulsa dilakukan dengan menggunakan rangkaian resistor pull-up yang terhubung dengan sensor hall dan Arduino-Uno. Gambar 11 menunjukkan pulsa yang dihasilkan oleh sensor hall ketika BLDC diputar satu putaran penuh. Jumlah pulsa yang dihasilkan adalah 24 pulsa per putaran dihitung pada posisi falling.

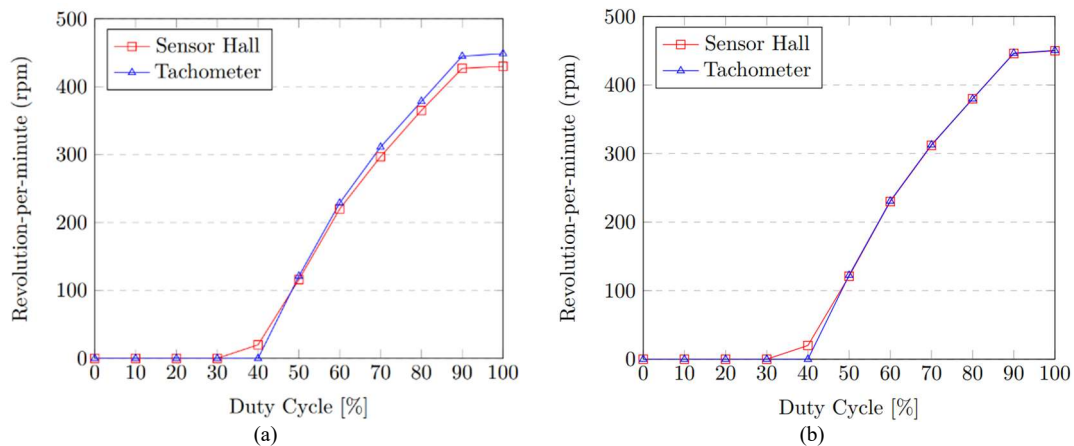


Gambar 11. Pembacaan pulsa pada sensor hall.

Tachometer berbasis sensor hall bekerja dengan menghitung jumlah putaran pulsa sampel dalam satu detik,  $n_p$ , dibagi dengan jumlah pulsa per putaran, lalu dikalikan dengan 60 detik, seperti ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$RPM = \frac{n_p}{24} \cdot 60s \quad (1)$$

Kalibrasi tachometer berbasis sensor hall dilakukan dengan membandingkan nilai *revolution-per-minute* (RPM) yang dihasilkan dengan hasil RPM yang terbaca oleh alat ukur *tachometer SANWA SE300* sebagai referensi. Kalibrasi dilakukan tanpa memberikan beban pada BLDC. Gambar 12 merupakan perbandingan data nilai RPM yang didapat oleh sensor hall dan tachometer. Berdasarkan data yang didapatkan, sensor hall memiliki rata-rata *error* sebesar 4,04%. Nilai *error* tersebut akan digunakan sebagai faktor pengali pada proses kalibrasi.



Gambar 12. Grafik pengukuran RPM dengan sensor hall (a) Sebelum kalibrasi dan (b) Setelah dikalibrasi.

Gambar 12 (a) menunjukkan grafik hasil perbandingan nilai RPM yang terbaca sensor hall yang telah dikalibrasi dengan faktor pengali yang telah didapatkan. Pada Gambar 12 dengan menggunakan tachometer. Setelah dilakukan kalibrasi, nilai *error* yang didapat adalah 0,32%. Berdasarkan nilai *error* tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor hall berhasil dikalibrasi mendapatkan *error* yang dihasilkan lebih kecil. Nilai RPM maksimum yang mampu dihasilkan oleh BLDC adalah 450 RPM dengan 100% *duty-cycle* PWM.

#### IV. KESIMPULAN

Perancangan dan pembangunan sistem *throttle* motor BLDC pada kursi roda elektrik dilakukan dengan memanfaatkan *joystick* sebagai pengendali utama yang mengatur sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) sebagai input *throttle*. Untuk menghasilkan sinyal PWM yang proporsional terhadap pergerakan *joystick*, digunakan fungsi mapping pada mikrokontroler Arduino. Sinyal PWM yang dihasilkan kemudian dilewatkan melalui rangkaian tapis (*filter*) agar dapat dikonversi menjadi tegangan analog murni, yang selanjutnya digunakan sebagai sinyal masukan *throttle* untuk motor BLDC. Sensor Hall berhasil membaca nilai putaran motor (RPM) secara akurat dan sesuai dengan referensi pengukuran dari tachometer Sanwa SE300. Setelah dilakukan proses kalibrasi, diperoleh tingkat kesalahan (*error*) sebesar 0,32%. Berdasarkan hasil pembacaan tachometer berbasis sensor Hall, kecepatan putaran maksimum yang dapat dicapai pada *duty-cycle* PWM 100% adalah sebesar 450 RPM. Dalam penelitian ini, kursi roda elektrik mampu menjalankan tiga gerakan dasar, yaitu gerak maju, belok ke kanan, dan belok ke kiri, yang seluruhnya dapat dikendalikan secara responsif melalui *joystick*. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem *throttle* dan pengukuran kecepatan berbasis sensor Hall dapat berfungsi dengan baik dan mendukung pengoperasian kursi roda secara efektif. Sebagai kesimpulan, sistem *throttle* yang dikembangkan tidak hanya berhasil secara teknis, tetapi juga memiliki potensi ilmiah dan aplikatif dalam meningkatkan efisiensi serta kenyamanan penggunaan kursi roda elektrik dalam jangka panjang. Teknologi ini membuka peluang integrasi dengan sistem navigasi otomatis, penambahan sensor untuk keselamatan atau kontrol lanjutan, serta pengujian lebih lanjut dengan pengguna sesungguhnya untuk mengevaluasi aspek ergonomis dan fungsional.

#### KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan.

#### REFERENSI

- [1] W. Waspiyah, R. Arifin, N. M. Putri, M. H. A. F. Safarin, and D. D. P. Putri, "Student Edited Law Journals: Strengthening the Creativity of Law Students in a Challenging Era," *Journal of Creativity Student*, vol. 7, no. 2, pp. 133–154, Dec. 2022, doi: 10.15294/jcs.v7i2.38493.
- [2] A. Syakura, S. Nurhosifah, and R. W., "Pengembangan Kursi Roda yang Efektif dalam Menurunkan Dampak Negatif Imobilisasi Lama pada Penyandang Disabilitas Fisik dengan Kelumpuhan : Sistematis Review," *PROFESSIONAL HEALTH JOURNAL*, vol. 3, pp. 1–8, May 2021, doi: 10.54832/phj.v3i1.168.
- [3] N. Kholis, Y. Pratama, H. Tokomadoran, V. Galuh, F. Sains, and D. Teknologi, "Perancangan Kursi Roda Ergonomis Untuk Penunjang Disabilitas," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, vol. 1, no. 4, pp. 267–276, 2022.
- [4] S. Annirohman, F. D. Puspitarini, D. Natalia, and F. Yulvaniya, "RANCANGAN KURSI RODA ELEKTRIK DENGAN REMOT DAN TUAS ELECTRIC WHEELCHAIR DESIGN WITH REMOTE AND LEVER," *Jurnal Teknik*, vol. 12, pp. 89–99, Mar. 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.umt.ac.id/index.php/jt/index>
- [5] A. S. Junior and F. Arifin, "Prototipe Kursi Roda Elektrik Dengan Kendali Joystick Dan Smartphone," *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, vol. 4, no. 1, pp. 62–68, Nov. 2019, doi: 10.21831/elinvo.v4i1.28259.
- [6] N. Jayasekera, B. Kulathunge, H. Premaratne, I. Nilam, S. Rajapaksha, and J. Krishara, "Revolutionizing Accessibility: Smart Wheelchair Robot and Mobile Application for Mobility, Assistance, and Home Management," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 5, no. 1, pp. 27–53, 2024, doi: 10.18196/jrc.v5i1.20057.
- [7] S. Setiawan, D. Darlis, and A. Rusdinar, "IMPLEMENTASI PENGENDALI MOTOR DC PADA KURSI RODA OTOMATIS BERBASIS ARDUINO IMPLEMENTATION OF ARDUINO-BASED DC MOTOR CONTROLLER FOR AUTOMATIC WHEELCHAIR", doi: 10.25124/jett.v8i2.4149.
- [8] A. Akbar, G. A. Nasser Masikki, A. N. Aliansyah, and N. Z. D. L. Mulyawati, "Perancangan Sistem Monitoring Navigasi Kursi Roda Berbasis Mikrokontroler," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 7, no. 1, p. 45, Mar. 2021, doi: 10.24036/jtev.v7i1.111958.
- [9] C. Mayort Sailana, T. S. Sollu, and A. Alamsyah, "RANCANG BANGUN KURSI RODA ELEKTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," *Foristek*, vol. 11, no. 1, Oct. 2021, doi: 10.54757/fs.v11i1.34.
- [10] Rifan Arif, "PERANCANGAN WORM GEAR MAINFERMENTOR POMPA SENTRIFUGAL DI PT. CHAIL JEDANG INDONESIA," *Journal Mechanicaland Manufacture Technology*, vol. 5, no. 1, 2024.

- [11] D. C. Putro and E. Samsul Ma'arif, "EFISIENSI PENGGUNAAN MOTOR BLDC TERHADAP BEBAN DAN KECEPATAN SEPEDA MOTOR LISTRIK," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta, Apr. 2024, pp. 1-6.
- [12] D. Harjono *et al.*, "Analisis Sistem Penggerak Motor BLDC Pada Mobil Listrik Poncar," *Electrotechnics And Information Technology*, vol. 2, pp. 11-22, Apr. 2021.
- [13] A. S. Habibie, N. Kholis, and F. Baskoro, "Studi literatur : Pengaruh penggunaan Brushless Direct Current (BLDC) Motor terhadap kinerja Robot Lengan," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 11, pp. 255-261, 2022.
- [14] MUHAMMAD HAMZAH ABDURRAHMAN AS-SALAF and SYAHRIAL, "Simulasi Pengaturan Kecepatan Motor BLDC menggunakan Software PSIM," *Journal MIND Journal | ISSN*, vol. 6, no. 1, pp. 103-117, 2021, doi: 10.26760/mindjournal.v6i1.103.
- [15] ANDI FAUZAN ALIM, "SISTEM KENDALI KECEPATAN MOTOR BRUSHLESS DC (BLDC) DENGAN PENGENDALI PI," UNIVERSITAS HASANUDDIN, Gowa, 2020.
- [16] Nurdamayanti, L. Sartika, and A. Muis Prasetya, "PENGATURAN KECEPATAN MOTOR BRUSHLESS DIRECT CURRENT (BLDC) MENGGUNAKAN METODE FIELD ORIENTED CONTROL (FOC)," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 143-148, Nov. 2022, [Online]. Available: <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee>
- [17] C. R. Harahap, E. Komalasari, and A. A. Clinton, "Sistem Pengendalian Kecepatan Dua Motor Brushless DC (BLDC) dengan Nine Switch Inverter Menggunakan Metode PWM," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 3, Sep. 2022.
- [18] R. Nurhalim, H. Abizar, D. Sulaeman, and D. Ramdani, "PENGUJIAN MOTOR BLDC 48 VOLT-2KW TERHADAP PERFORMA PROTOTYPE MOBIL LISTRIK KAIBON KAPASITAS SATU PENUMPANG," *Jurnal Sains dan Teknologi*, pp. 43-48, 2021.
- [19] E. Samsul Ma, E. Dermawan, and P. Gagani Chamdareno, "Studi Perencanaan Pengaturan Kecepatan Motor BLDC pada Gerobak Listrik dengan Driver Votol EM-30S," *RESISTOR*, vol. 5, no. 2, 2022.
- [20] I. Prastyaningrum and P. Ardi, "Project Based Learning For Brush Less DC Motor," in *Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya*, 2020, pp. 112-118.