

OPTIMASI KONSUMSI DAYA *BLDC MOTOR* 2000W DENGAN KONTROLER *VOTOL EM-100* PADA *SINGAPERBANGSA EV-1* DI MEDAN DINAMIS

POWER CONSUMPTION OPTIMIZATION OF 2000W *BLDC MOTOR* WITH *VOTOL EM-100* CONTROLLER ON *SINGAPERBANGSA EV-1* IN DYNAMIC TERRAIN

Muhammad Ikbal^{1*}, Alif Nur Hidayat¹, Adill Deswal Agi Firmansyah², Rizal Tri Mulia Ramadhan², Muhammad Rifky Dwinova Akbar², dan Fachmi Arliansyah¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

¹muhammadiikball@gmail.com, ¹alifnurhdyt666@gmail.com, ²adillfirman@gmail.com, ²ryzaltri90@gmail.com, ²rifkyda36@gmail.com, ¹mfachmiarliansyah@gmail.com

INFO ARTIKEL

Diterima: 21 November 2025

Direvisi: 8 Juni 2026

Disetujui: 25 Juni 2026

Kata Kunci:

BLDC Motor, Efisiensi Energi, FOC, Mobil Listrik, SVPWM.

ABSTRAK

Kendaraan listrik sering menghadapi tantangan efisiensi saat beroperasi pada kondisi jalan dinamis yang menyebabkan fluktuasi arus signifikan. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan konsumsi daya Mobil Listrik "Singaperbangsa EV-1" menggunakan kontroler VOTOL EM-100 berbasis *Field-Oriented Control* (FOC) dan modulasi SVPWM yang dipadukan dengan baterai Li-ion 66V 25Ah (2C). Pengujian empiris dilakukan pada lima kondisi medan (datar, tanjakan 30°, turunan, berbelok, berbatu) dengan pengambilan data *real-time* berinterval 1 detik. Hasil menunjukkan algoritma FOC efektif menstabilkan momentum, mencatatkan efisiensi terbaik pada medan datar sebesar 12,63 Wh/km. Pada beban ekstrem (tanjakan), sistem mempertahankan stabilitas dengan *voltage drop* maksimum hanya 7,84%, jauh lebih unggul dibandingkan prototipe sebelumnya (12-15%). Topografi terbukti sebagai variabel paling dominan, di mana konsumsi energi tanjakan melonjak 3,2 kali lipat (40,65 Wh/km) dibanding medan datar. Sebaliknya, medan turunan mencatat konsumsi terendah (0,71 Wh/km), meskipun potensi pengisian daya (*regenerative braking*) belum terukur penuh akibat keterbatasan sensor satu arah. Selain itu, respons torsi FOC terbukti lebih efisien meredam guncangan medan berbatu (13,18 Wh/km) dibandingkan manuver berbelok. Temuan ini memberikan rekomendasi teknis valid untuk peningkatan stabilitas sistem propulsi kendaraan listrik lokal.

ABSTRACT

Electric vehicles often face efficiency challenges when operating in dynamic road conditions that cause significant current fluctuations. This study aims to optimize the power consumption of the "Singaperbangsa EV-1" Electric Car using the VOTOL EM-100 controller based on *Field-Oriented Control* (FOC) and SVPWM modulation combined with a 66V 25Ah (2C) Li-ion battery. Empirical testing was conducted on five terrain conditions (flat, 30° uphill, downhill, turning, rocky) with real-time data collection at 1-second intervals. The results showed that the FOC algorithm effectively stabilized momentum, recording the best efficiency on flat terrain at 12.63 Wh/km. Under extreme load (uphill), the system maintained stability with a maximum voltage drop of only 7.84%, significantly superior to the previous prototype (12-15%). Topography proved to be the most dominant variable, where uphill energy consumption increased by 3.2 times (40.65 Wh/km) compared to flat terrain. Conversely, downhill terrain recorded the lowest consumption (0.71 Wh/km), although the potential for regenerative braking was not fully measured due to unidirectional sensor limitations. Furthermore, the FOC torque response proved more efficient in damping rocky terrain shocks (13.18 Wh/km) compared to turning maneuvers. These findings provide valid technical recommendations for improving the propulsion stability of local electric vehicles.

Keyword:

BLDC Motor, Electric Vehicle, Energy Efficiency, FOC, SVPWM.

*Corresponding author: muhammadiikball@gmail.com

I. PENDAHULUAN

Seiring meningkatnya kebutuhan kendaraan ramah lingkungan, motor *Brushless Direct Current* (BLDC) menjadi pilihan utama sebagai penggerak pada kendaraan listrik karena efisiensi tinggi, torsi awal besar, dan umur pakai lebih panjang. Efisiensi motor listrik BLDC menjadi elemen inti dalam perancangan kendaraan listrik, dan hal ini memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja keseluruhan kendaraan tersebut [1]. Pada aplikasi kendaraan listrik, kondisi jalan yang dinamis seperti tanjakan, turunan, permukaan tidak rata, dan perubahan kecepatan secara tiba-tiba dapat menyebabkan fluktuasi arus dan tegangan yang signifikan. Fluktuasi ini berpotensi menurunkan efisiensi sistem, meningkatkan rugi daya, serta memengaruhi stabilitas performa kendaraan. Oleh karena itu, pemilihan dan pengaturan kontroler motor menjadi faktor penting dalam upaya mengoptimalkan konsumsi energi dan menjaga kestabilan sistem propulsi.

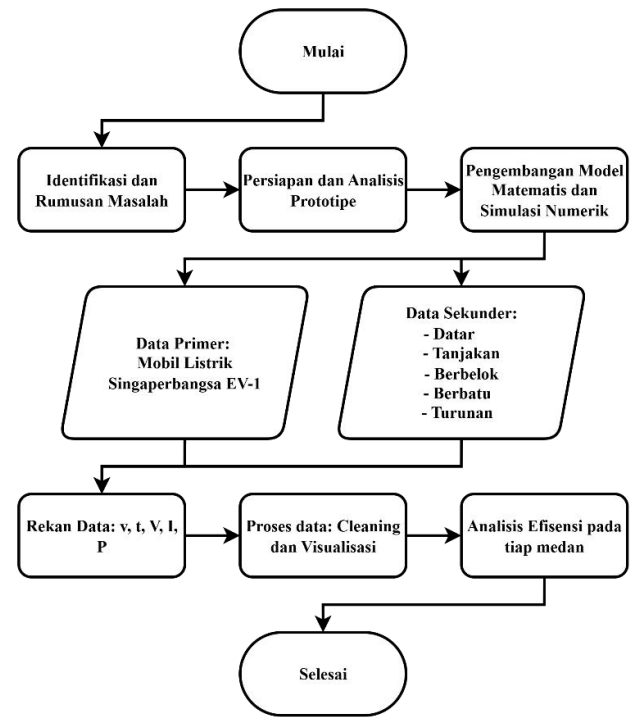
Pengendalian BLDC modern sering menerapkan *Field-Oriented Control* (FOC) dan *Space Vector Pulse Width Modulation* (SVPWM) untuk mencapai kontrol torsi dan efisiensi yang presisi. Prinsip FOC memisahkan arus stator menjadi komponen fluks dan torsi untuk optimasi kinerja [2]. VOTOL EM-100 adalah kontroler untuk motor BLDC kelas menengah-tinggi yang menyediakan FOC, pengaturan arus puncak (*boost*), *flux-weakening*, serta antarmuka pemrograman. Namun, data pengujian nyata terhadap kombinasi motor BLDC 2000W dan VOTOL EM-100 pada kondisi jalan dinamis masih terbatas. Pada prototipe lama teramati penurunan tegangan sebesar 12 – 15% dan efisiensi sistem menurun menjadi 72 – 78% pada akselerasi tiba-tiba dan tanjakan $> 10^\circ$, hal ini disebabkan oleh jumlah energi yang digunakan untuk mengoperasikan motor BLDC semakin tinggi agar dapat menghasilkan torsi yang cukup sesuai dengan beban dan kecepatan kendaraan [3].

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan konsumsi energi dengan menguji konfigurasi kontroler VOTOL EM-100 dipadukan baterai Li-ion 66V 25Ah berkemampuan *high-discharge* (2C), serta mengevaluasi pengaruh tuning FOC dan parameter SVPWM terhadap Wh/km pada medan jalan dinamis. Hasil yang diharapkan adalah rekomendasi teknis untuk peningkatan stabilitas daya dan efisiensi sistem propulsi kendaraan listrik.

II. METODE PENELITIAN

A. Tahapan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konsumsi daya motor BLDC dan mengatasi ketidakstabilan pasokan daya akibat voltage drop pada kendaraan listrik, khususnya dalam menghadapi berbagai medan jalan. Fokus penelitian menyoroti celah literatur mengenai konfigurasi kontroler Votol EM-100 dengan baterai Li-ion high-discharge.



Gambar 1 Diagram alir tahapan penelitian

Penelitian ini diawali dengan proses identifikasi serta perumusan masalah, yang kemudian dilanjutkan dengan tinjauan pustaka guna memperoleh dasar teori yang mendukung dan relevan dengan topik penelitian. Selanjutnya, dilakukan persiapan dan analisis terhadap prototipe kendaraan listrik EV-1 sebagai objek utama penelitian. Selanjutnya dilakukan pengembangan model matematis dan simulasi numerik untuk mengestimasi performa mobil listrik. Pengambilan data penelitian mencakup data primer yang diperoleh melalui pengujian langsung terhadap kendaraan (meliputi waktu, tegangan, arus, daya, energi dan kecepatan), serta data sekunder yang mencakup kondisi lintasan seperti permukaan datar, berbelok, berbatu, menanjak, dan menurun. Data yang terkumpul kemudian direkam dan diolah menjadi satuan energi Wh untuk selanjutnya dianalisis dalam menentukan tingkat efisiensi kendaraan listrik tersebut.

B. Metode pengumpulan data

1. Data primer

Data diperoleh secara langsung dari hasil pengujian kendaraan listrik EV-1. Pengukuran dilakukan pada berbagai kondisi lintasan (datar, tanjakan, turunan, berbatu, dan berbelok) dengan mencatat besaran-besaran listrik seperti Kecepatan (v), Tegangan (V), Arus (I), Daya (W), Energi (Wh) serta Waktu (t) dalam interval waktu 1 detik. Instrumen yang digunakan meliputi sensor *energy meter*, multimeter digital, alat ukur arus dan tegangan, serta pencatat waktu dan jarak.

2. Data sekunder

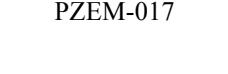
Data diperoleh dari hasil observasi dan referensi terkait kondisi lintasan seperti jalan Datar 0° , Tanjakan 30° , Berbelok 90° , Berbatu 0° dan Turunan -30° . Data ini digunakan untuk mendukung hasil pengujian primer dan

memperkuat analisis performa kendaraan pada berbagai medan.

C. Komponen utama

Pada tabel ini berisi komponen utama kendaraan listrik, khususnya Mobil Listrik Singaperbangsa EV-1.

TABEL I
DAFTAR KOMPONEN

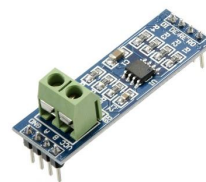
Komponen	Spesifikasi
	Tegangan Nominal: 66V DC Kapasitas: 25Ah <i>Continuous Discharge: 2C</i> <i>(±50A)</i> <i>Peak Discharge: ≥ 100A</i> <i>Internal Resistance: 40mΩ</i> Tipe: Lithium-Ion (18650/21700 cell pack) BMS: 80A/100A with balancing & protection.
	Kabel AWG 10 memiliki diameter sekitar 2.59mm² , kapasitas arus bervariasi antara 25A hingga 35A .
	VOTOL EM-100 Tegangan Input: 48 – 72V DC <i>Busbar Current: 100A</i> <i>Phase Current: 330A</i> Efisiensi: 88%
	Daya Nominal: 2000W Tegangan Kerja: 60 – 72V DC Torsi Max: 80 – 120 Nm RPM: 3000 – 4500 RPM Tipe: Hub motor Efisiensi: 88%
	Input Sensor: <i>Hall sensor</i> dari motor atau sensor roda Tegangan: 12V DC Display: LCD/LED Digital
	Kapasitas arus maksimum: 100A – 200A
	Energy Meter Rentang tegangan: 0.05 – 300V DC Resolusi pengukuran tegangan: 0.01V Rentang arus: 0.02 – 300A Resolusi pengukuran arus: 0.01A



Rentang daya: **0.2 – 90kW**
 Resolusi pengukuran daya: **0.1W**
 Output data: UART / Modbus (RS-485)

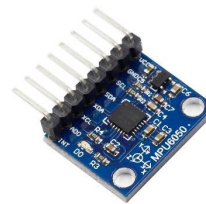
Dual-core 32-bit (Tensilica Xtensa LX6)
 Kecepatan CPU: hingga **240 MHz**
 RAM: **±520kb**
 Wi-Fi: **802.11 b/g/n**

MAX485



RS485 to TTL
 Mode komunikasi: *Half-duplex* (RS-485)
 Mendukung jarak komunikasi hingga **±1200 meter**
 Kecepatan data hingga **2.5 Mbps**.

MPU-6050



6-DOF: *3-axis accelerometer + 3-axis gyroscope*
 Rentang percepatan: **±2, ±4, ±8, ±16g**
 Rentang gyro: **±250, ±500, ±1000, ±2000°/s**
 Komunikasi: I2C (**400 kHz**)

D. Hipotesis awal

Untuk menguji efektivitas konfigurasi VOTOL EM-100 pada baterai Li-ion **66V 25Ah (2C)** di medan jalan dinamis, hipotesis penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Penyuplai daya

a. Baterai

Pada kendaraan listrik Singaperbangsa EV-1 digunakan baterai Litium-ion, dengan pertimbangan awal menggunakan Litium-ion atau Litium-polymer, dan dari kedua jenis baterai tersebut dipertimbangkan karakteristik bahannya. Di dalam baterai Litium-Ion, ion lithium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai Li-ion memakai senyawa litium interkalasi sebagai bahan elektrodanya. Sedangkan pada baterai Lithium-Polymer hampir menyerupai dengan Li-ion tetapi Li-Po tidak menggunakan cairan elektrolit tetapi menggunakan elektrolit polimer kering yang berbentuk seperti lapisan elastik film tipis yang disusun berlapis. Dari hal tersebut menimbulkan kekurangan yaitu lemahnya pertukaran ion yang melalui elektrolit polimer kering [4]. Hal ini

menimbulkan penurunan *charging* dan juga *discharging rate*.



Gambar 2 Baterai Lithium-ion 18650

Dengan dipilihnya baterai Li-ion pada Singaperbangsa EV-1 untuk kebutuhan daya motor BLDC $2000W$ dan kontroler VOTOL EM-100, dengan konfigurasi $66V$ $25Ah$ $2C$. Maka secara teoritis, untuk mengukur daya yang mampu dihasilkan oleh baterai adalah:

- Tegangan: $66V$
- Arus: $25Ah$
- C -rate: $2C$ ($2C \times 25Ah = 50A$ konstan).

Daya maksimum teoritis:

$$P = V \times I = 66 \times 50 = 3300W \quad (1)$$

Maka baterai Li-ion dengan konfigurasi $66V$ $25Ah$ ($2C$) diperkirakan mampu menyediakan daya sebesar $3300W$ pada mobil listrik Singaperbangsa EV-1 untuk keperluan motor BLDC $2000W$.

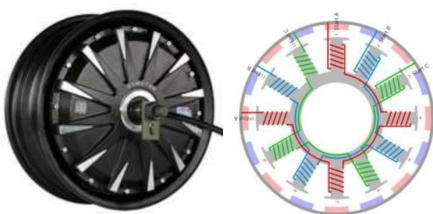
b. Kabel

Kabel AWG 10 dipilih karena memiliki diameter sekitar $2.59mm^2$, kapasitas arus bervariasi antara $25A$ hingga $35A$. Digunakan untuk kabel pengisi daya kendaraan listrik dan aplikasi khusus lainnya yang memerlukan daya tinggi.

2. Sistem penggerak

a. BLDC Motor

BLDC tipe HUB merupakan jenis BLDC *out-runner* yang mana bagian rotor berupa magnet permanen berputar mengelilingi statornya. BLDC jenis ini paling banyak dipakai pada kendaraan listrik khususnya sepeda listrik karena kemudahan instalasi dan sedikitnya bagian mekanik yang perlu diganti karena merupakan jenis BLDC *direct-drive* [5].



Gambar 3 (a). Bentuk BLDC Motor (b) Bentuk belitan motor

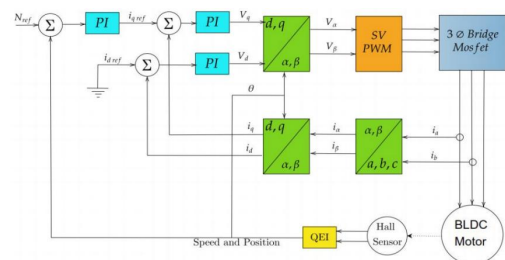
BLDC dapat dimodelkan sebagai tiga belitan kawat yang disusun secara Y, masing-masing belitan mempunyai resistansi. Setiap belitan dari mesin BLDC memiliki nilai induktansi dan resistansi yang sama.

b. Kontroler

Kontroler VOTOL EM-100 atau biasa disebut *inverter* daya motor adalah sistem pengendali yang mengatur arus dari baterai, mengontrol akselerasi, pengaturan torsi dan arah gerak motor BLDC. Kontroler ini dipilih karena memiliki kontrol yang presisi dan efisiensi daya tinggi, semua itu karena kontroler VOTOL EM-100 mengimplementasikan algoritma canggih untuk mengendalikan motor, diantaranya adalah *Field Oriented Control* (FOC) dengan *Space Vector Pulse Width Modulation* (SVPWM).

c. Field Oriented Control (FOC)

Field Oriented Control (FOC) merupakan sebuah teknik kontrol umpan balik canggih yang dirancang untuk mengoptimalkan kinerja motor dengan cara mengontrol medan fluks [6].

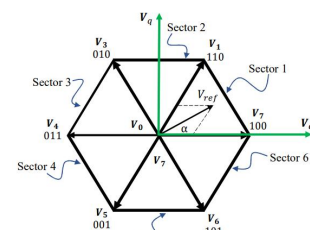


Gambar 4 Diagram FOC

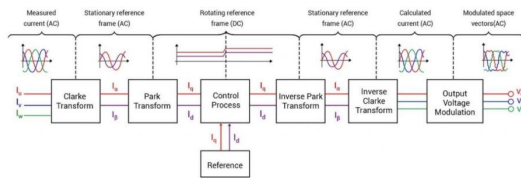
Teknik ini bekerja dengan prinsip utama menjaga sudut antara medan magnet rotor dan stator agar tetap pada 90 derajat. Tujuannya adalah untuk menghilangkan offset fasa antara gaya gerak listrik (*back EMF*) dan arus, yang jika tidak dikontrol akan menyebabkan efisiensi yang buruk dan torsi yang tidak optimal. Dengan mengatur logika kontrol pada sudut pergantian, FOC memastikan pembangkitan torsi yang maksimal dan sebanding.

d. Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM)

Modulasi vektor ruang merupakan teknik pembangkitan PWM digital yang baru-baru ini dilaporkan, berdasarkan konsep representasi vektor Park (ruang) dari bentuk gelombang tiga fasa.

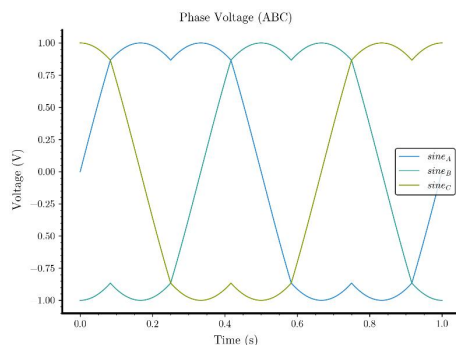


Gambar 5 Representasi medan vektor

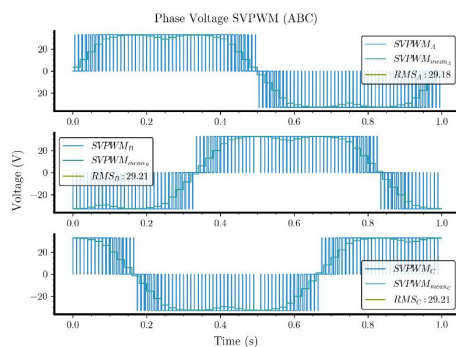
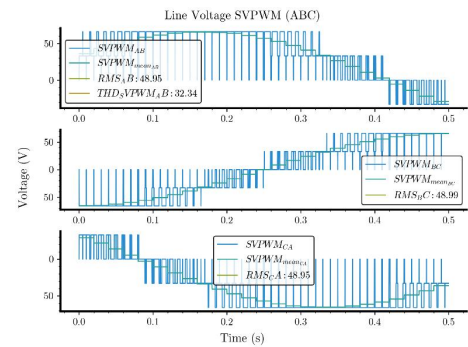
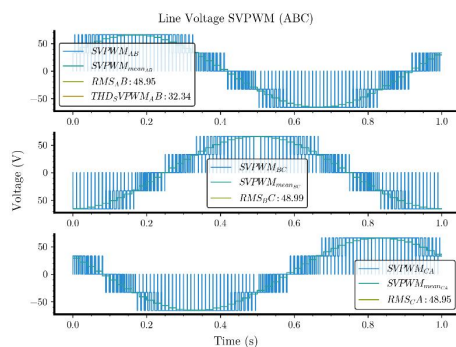


Gambar 6 proses pembentukan SVPWM

Dengan kata lain, metode analisis vektor ruang memungkinkan representasi besaran tiga fasa (tegangan atau arus) oleh satu vektor kompleks. Metode analisis ini telah efektif digunakan dalam analisis mesin tiga fasa dan juga *inverter* tiga fasa. Metode ini juga memberikan kemungkinan beberapa skema optimasi bentuk gelombang selama operasi transien dan kondisi tunak.



Gambar 7 Duty Cycle SVPWM

Gambar 8 Sinyal *phase* SVPWM

Gambar 9 (a) Sinyal Line-Line SVPWM (b) Sinyal diperbesar

Hasil simulasi numerik pada gambar 7-9 menunjukkan bagaimana sinyal SVPWM dihasilkan. Keuntungan SVPWM adalah bahwa modulasi ini menghasilkan *Total Harmonic Distortion* (THD) yang lebih rendah pada arus keluaran dibandingkan SPWM karena strategi penempatan vektor *switching* yang lebih fleksibel [7]. Karena THD yang dihasilkan lebih rendah, SVPWM mampu mengurangi kompleksitas, ukuran, dan biaya desain filter eksternal yang diperlukan untuk membersihkan riak tegangan [7]. Disisi lain, SVPWM memiliki efisiensi daya yang lebih baik melalui pemanfaatan tegangan bus DC yang lebih tinggi dan pengurangan rugi-rugi pensaklaran (*switching losses*), yakni sekitar **15%** lebih efisien dibandingkan dengan kontroler berbasis SPWM [8].

3. Analisis daya

Pada sub-bab ini penulis mengestimasi besaran arus, tegangan dan daya keseluruhan sistem mobil listrik sebagai hipotesis awal sebelum dilakukan pengujian empiris. Estimasi ini bersifat perhitungan kasar berdasarkan parameter, spesifikasi dan karakteristik komponen kelistrikan yang berkaitan dengan daya listrik. Parameter penting yang diperhitungkan adalah besaran arus dan daya, karena besaran ini relatif berubah-ubah terhadap waktu dan kondisi jalannya operasi mobil listrik. Analisis ini dibagi menjadi beberapa bagian diantaranya:

a. Analisis DC

Analisis DC adalah analisis yang dilakukan pada bagian arus DC, meliputi arus *busbar* dari baterai ke kontroler VOTOL EM-100. Berdasarkan hukum ohm, jika suatu daya beban dan tegangan operasi diketahui [9], maka arus *busbar* DC dapat ditentukan sebagai berikut:

$$I_{motor-DC} = \frac{P_{motor-DC}}{V_{motor-DC}} \times \eta_{motor} \quad (2)$$

$$= \frac{2000}{66} \times 88\% = 26.66A$$

Perhitungan tersebut mempertimbangkan efisiensi motor, sehingga nilainya daya sedikit lebih kecil. Sebagai konsekuensi dari rugi daya efisiensi motor, maka arus yang dibutuhkan menjadi lebih besar untuk mengimbangi daya yang sama

$$I_{motor-DC} = \frac{P_{motor-DC}}{V_{motor-DC}} \times \frac{1}{0.88} \quad (3)$$

$$= \frac{2000}{66} \cdot \frac{1}{0.88} = 34.43A$$

Dengan memperhitungkan efisiensi kontroler juga, maka

$$P_{baterai-DC} = P_{baterai-DC} \times \eta_{kontroler}$$

$$= 2272.72 \times 88\%$$

$$= 2272.72 \cdot \frac{1}{0.88} \quad (4)$$

$$= 2582.64W$$

$$I_{baterai-DC} = \frac{P_{baterai-DC}}{V_{baterai}} = \frac{2582.64}{66} \quad (5)$$

$$= 39.13A$$

Dari hasil tersebut, secara kasar dapat dikatakan bahwa arus DC yang mengalir di jalur busbar diestimasi sekitar 39.13A.

b. Analisis AC

Analisis AC adalah analisis yang dilakukan pada bagian arus AC, meliputi arus 3 fasa yang keluar dari kontroler [10].

Dengan menggunakan rumus daya rata-rata tiga fasa, maka

$$P = \sqrt{3}V_{Line-RMS} I_{Line-RMS} \cos(\phi) \quad (6)$$

Mengingat bentuk sinyal yang dihasilkan oleh kontroler VOTOL EM-100 berupa PWM yang dihasilkan dari SVPWM, maka bentuk sinyal yang dihasilkan penting untuk diperhitungkan karena bukan berbentuk sinus murni, melainkan sinus dalam bentuk modulasi PWM.

Nilai RMS didapat melalui

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} \quad (7)$$

Maka,

$$I_{Line-RMS} = \frac{P_{motor}}{\sqrt{3}V_{Line-RMS} \cos(\phi)} \quad (8)$$

$$= 38.08A$$

Dengan $0 < \cos(\phi) < 1$ bergantung pada kondisi kerja motor

c. Analisis konsumsi energi baterai

Berdasarkan waktu penggunaan nya, baterai memiliki batas waktu yang digunakan selama penggunaan energi baterai, jumlah waktu tempuh ini utamanya dipengaruhi oleh besarnya arus discharge, kapasitas baterai dan nilai State of Charge (SoC), total kapasitas energi baterai dapat ditentukan dari nilai kapasitas baterai (Ah), maka

$$E = V \times Q = 66 \times 25 = 1650Wh \quad (9)$$

Jika diasumsikan daya/arus konstan selama kerja, maka waktu tempuh baterai dapat ditentukan melalui

$$T = \frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{daya kerja baterai}} \quad (10)$$

$$= \frac{1650Wh}{2582.64W} = \frac{25Ah}{39.13A}$$

$$= 0.63jam \approx 38menit$$

Dengan total energi yang dikonsumsi dapat dihitung secara akumulasi (*integral*) dari daya sesaat terhadap waktu, sehingga

$$E(W) = \int_0^t P(t) \cdot dt \approx \sum_i^n P_i \cdot \Delta t \quad (11)$$

atau

$$E(Wh) = \int_0^t P(t) \cdot dt \times \frac{1}{3600}$$

$$\approx \sum_i^n P_i \cdot \Delta t \times \frac{1}{3600} \quad (12)$$

Dan jarak tempuh dapat dihitung secara akumulasi (*integral*) dari kecepatan rata-rata terhadap waktu, sehingga

$$D(km/h) = \int_0^t v(t) \cdot dt \approx \sum_i^n v_i \cdot \Delta t \quad (13)$$

Sehingga Wh/km dapat ditentukan dengan

$$\frac{Wh}{km} = \frac{E(W)}{D(km/h)} \quad (14)$$

d. Analisis rugi daya dan jatuh tegangan

Analisis rugi daya dan jatuh tegangan didasarkan pada hukum ohm, dimana besarnya arus dipengaruhi oleh besarnya tegangan dan berbanding terbalik dengan resistansi. Dalam hal ini, suatu konduktor memiliki nilai resistansi tertentu yang disebut hambatan jenis ρ (rho) yang umumnya sangat kecil

untuk material tembaga (Cu) sekitar $1.68 \times 10^{-8} \Omega m$. Untuk konduktor AWG, nilai resistansi bergantung pada jenis dan ukuran AWG. Untuk AWG-10 yang memiliki diameter $2.58826 \times 10^{-3} \cdot m$ dan panjang kabel $6.13m$, nilai resistansi adalah.

$$R_{cable} = \rho_{Cu} \frac{L}{A} \Omega \Rightarrow \frac{R_{cable}}{L} = \frac{\rho_{Cu}}{A} \Omega m \quad (15)$$

$$R_{cable} = 0.0195733 \Omega \Rightarrow 19.5733 m\Omega$$

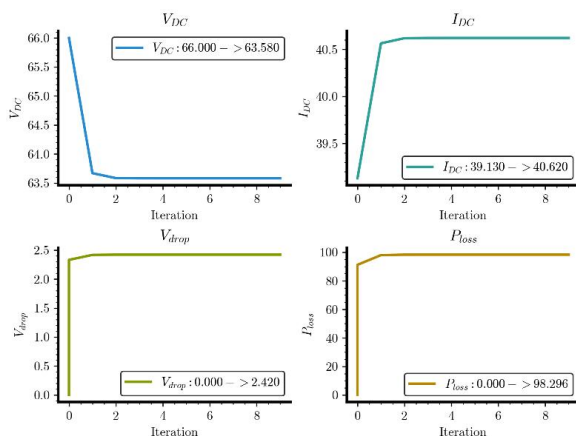
Dengan juga mempertimbangkan nilai resistansi internal baterai, maka total resistansi adalah

$$R = R_{cable} + R_{battery} = 0.0595733 \Omega \Rightarrow 59.5733 m\Omega \quad (16)$$

Dengan nilai resistansi tersebut, maka rugi daya dan jatuh tegangan dapat ditentukan

$$P_{loss} = I^2 R = 91.22 W \quad (17)$$

$$V_{drop} = I R = 2.33 V \quad (18)$$



Gambar 10 Simulasi rugi daya dan jatuh tegangan

Gambar 10 diatas menunjukkan grafik hasil simulasi numerik bagaimana jatuh tegangan mempengaruhi tegangan dan arus akhir sampai ke titik konvergen (stabil). Didapat bahwa resistansi kabel menciptakan jatuh tegangan yang berbanding lurus dengan arus, jatuh tegangan ini mempengaruhi tegangan dan arus akhir sampai mencapai kekonvergenan yaitu $63.580V$ dan $40.620A$.

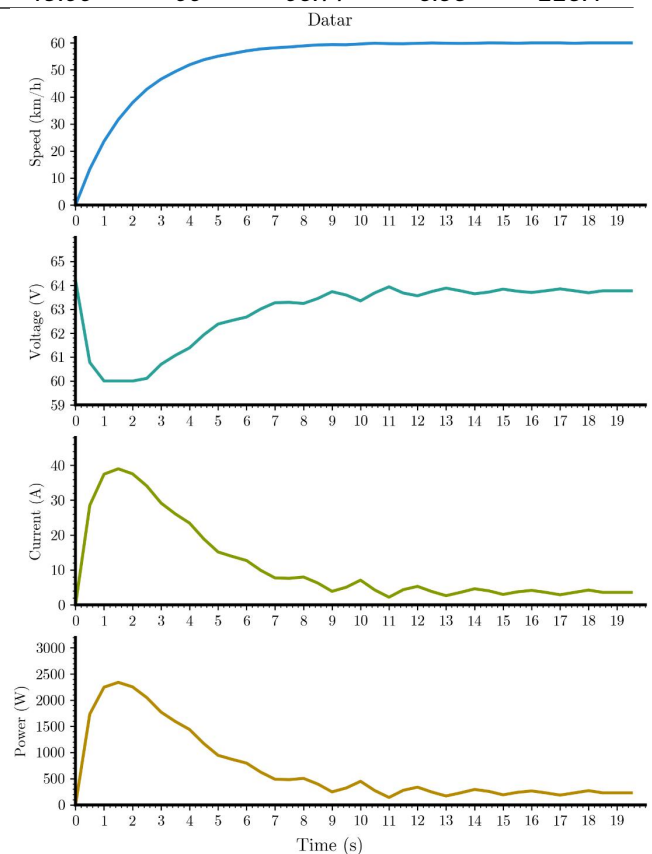
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik ideal performa mobil listrik pada medan datar

TABEL II
DATA PENGUJIAN MEDAN DATAR

Time (s)	Speed	Voltage	Current	Power
----------	-------	---------	---------	-------

	(km/h)	(V)	(A)	(W)
0.00	0	64.20	0.00	0.0
1.00	24	60.00	37.46	2247.6
2.00	38	60.00	37.56	2253.7
3.00	47	60.70	29.19	1771.9
4.00	52	61.39	23.45	1439.4
5.00	55	62.38	15.17	946.1
6.00	57	62.67	12.72	796.9
7.00	58	63.27	7.72	488.2
8.00	59	63.24	7.98	504.9
9.00	59	63.73	3.88	247.4
10.00	60	63.35	7.09	448.9
11.00	60	63.94	2.20	140.7
12.00	60	63.56	5.31	337.6
13.00	60	63.88	2.64	168.8
14.00	60	63.65	4.61	293.4
15.00	60	63.84	2.99	191.1
16.00	60	63.70	4.16	265.2
17.00	60	63.85	2.90	185.4
18.00	60	63.69	4.25	270.9
19.00	60	63.77	3.58	228.4



Gambar 11 Grafik hasil pengujian medan Datar

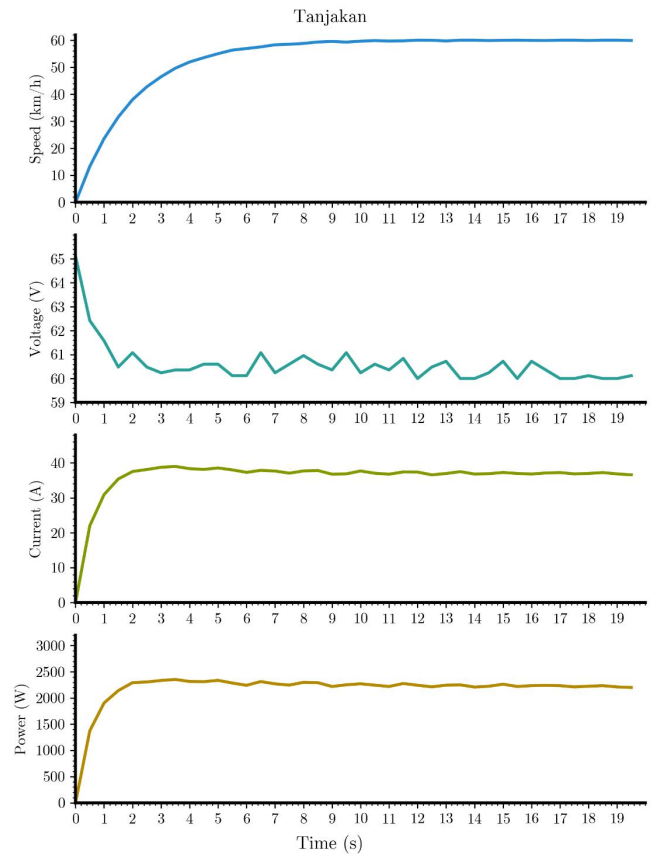
Gambar 11 diatas menunjukkan grafik waktu nyata hasil pengukuran kecepatan (km/h), tegangan (V), arus (A) dan daya (W). Terlihat bahwa pada medan datar, arus melonjak hingga mencapai $\approx 38A$ saat akselerasi awal dan perlahan mulai menurun ke $\approx 7A$ seiring meningkatnya kecepatan mobil. Ini menunjukkan bahwa inersia awal membutuhkan torsi dan energi besar, saat inersia tercapai, kontroler secara cerdas menurunkan arus secara signifikan untuk mempertahankan momentum.

Fenomena ini membuktikan efektivitas algoritma FOC pada kontroler VOTOL EM-100. Saat fase akselerasi, kontroler memprioritaskan torsi (I_q) untuk melawan inersia diam. Namun, saat kecepatan konstan dicapai, SVPWM berhasil meminimalisir harmonisa arus sehingga konsumsi daya sangat efisien ($< 500W$) untuk mempertahankan momentum. Ini mengkonfirmasi teori bahwa SVPWM memiliki efisiensi daya yang lebih baik dibandingkan SPWM konvensional.

B. Karakteristik beban maksimum mobil listrik pada medan tanjakan

TABEL III
DATA PENGUJIAN MEDAN TANJAKAN

Time (s)	Speed (km/h)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.00	0	65.11	0.00	0.0
1.00	24	61.58	30.93	1904.4
2.00	38	61.08	37.54	2293.0
3.00	46	60.24	38.75	2334.4
4.00	52	60.36	38.37	2315.8
5.00	55	60.60	38.56	2336.7
6.00	57	60.12	37.30	2242.4
7.00	58	60.24	37.68	2269.7
8.00	59	60.96	37.71	2298.9
9.00	60	60.36	36.77	2219.5
10.00	60	60.24	37.70	2270.8
11.00	60	60.36	36.77	2219.6
12.00	60	60.00	37.38	2243.0
13.00	60	60.72	36.97	2244.8
14.00	60	60.00	36.81	2208.8
15.00	60	60.72	37.27	2263.3
16.00	60	60.72	36.82	2235.8
17.00	60	60.00	37.25	2234.8
18.00	60	60.12	36.99	2224.1
19.00	60	60.00	36.86	2211.3



Gambar 12 Grafik hasil pengujian medan Tanjakan

Gambar 12 diatas menunjukkan grafik waktu nyata hasil pengukuran kecepatan (km/h), tegangan (V), arus (A) dan daya (W). Terlihat bahwa pada medan tanjakan, arus melonjak hingga $\approx 38A$ dan relatif berfluktuasi di angka tinggi $\approx 35A$, yang menyebabkan tegangan baterai *drop* cukup signifikan ke $60V$ selama mobil berjalan.

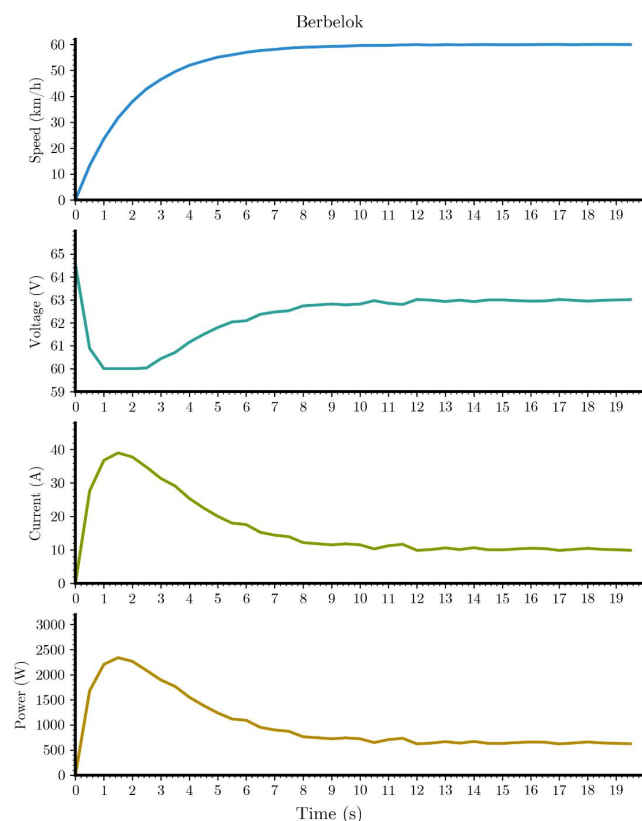
Pada medan tanjakan, energi yang dibutuhkan relatif lebih besar dibandingkan pada medan datar. Hal ini terjadi karena gaya gravitasi bekerja melawan gerak kendaraan, sehingga BLDC motor membutuhkan torsi maksimal secara terus-menerus. Data ini berkorelasi dengan hasil simulasi numerik (pada Gambar 10) yang mengestimasi arus konvergen pada $\approx 40.620A$. pada medan tanjakan, sistem dipaksa beroperasi pada beban maksimum mendekati batas termal dan kapasitas *discharge* baterai (C_{rate}) yang berdampak pada *voltage sag* baterai yang membatasi arus total. Ini juga menunjukkan bahwa kontroler secara cerdas mengatur kebutuhan torsi dengan baik selama mobil bekerja pada beban maksimum.

C. Karakteristik performa mobil listrik pada medan berbelok

TABEL IV
DATA PENGUJIAN MEDAN BERBELOK

Time (s)	Speed (km/h)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.00	0	64.53	0.00	0.0
1.00	24	60.00	36.78	2206.9
2.00	38	60.00	37.77	2265.9

3.00	47	60.44	31.37	1895.6
4.00	52	61.15	25.40	1553.1
5.00	55	61.79	20.04	1238.6
6.00	57	62.09	17.57	1091.1
7.00	58	62.47	14.41	900.0
8.00	59	62.74	12.18	764.0
9.00	59	62.82	11.51	722.9
10.00	60	62.82	11.52	723.9
11.00	60	62.85	11.25	707.2
12.00	60	63.02	9.86	621.2
13.00	60	62.93	10.60	666.7
14.00	60	62.92	10.64	669.8
15.00	60	63.00	10.00	630.2
16.00	60	62.94	10.48	659.4
17.00	60	63.02	9.85	621.0
18.00	60	62.94	10.48	659.5
19.00	60	63.00	10.04	632.3



Gambar 13 Grafik hasil pengujian medan Berbelok

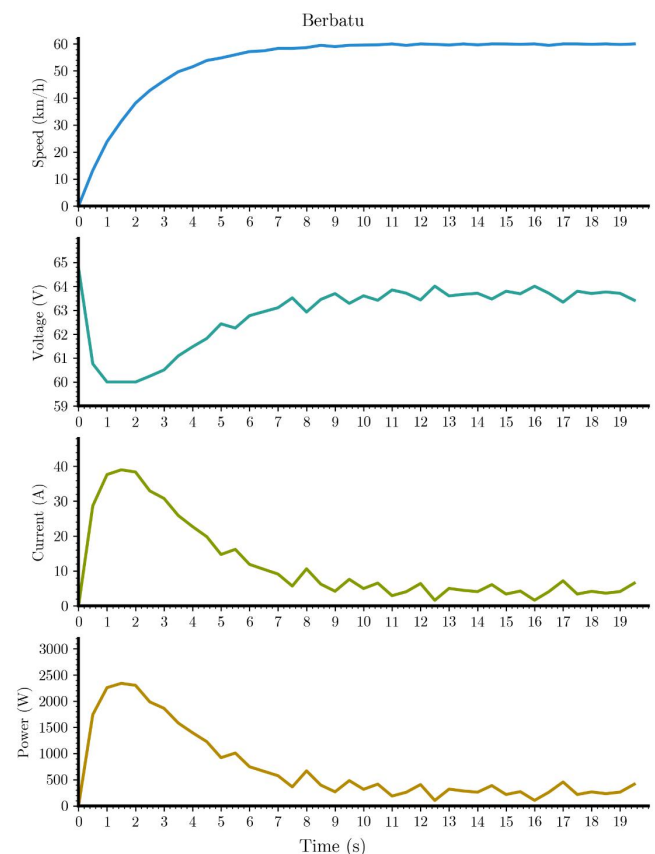
Gambar 13 diatas menunjukkan grafik waktu nyata hasil pengukuran kecepatan (km/h), tegangan (V), arus (A) dan daya (W). Pada medan berbelok, karakteristik performa mobil listrik relatif sama seperti medan datar, kebutuhan akan torsi dan daya cenderung meningkat saat akselerasi awal dan akan menurun seiring meningkatnya kecepatan mobil. Tetapi hal yang membedakan adalah bahwa pada medan berbelok, kebutuhan akan torsi cenderung berfluktuasi akibat perubahan kecepatan saat hendak berbelok, hal ini akan mengubah dinamika kecepatan mobil selama berjalan.

D. Karakteristik performa mobil listrik pada hambatan jalan medan berbatu

TABEL V

DATA PENGUJIAN MEDAN BERBATU

Time (s)	Speed (km/h)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.00	0	64.76	0.00	0.0
1.00	24	60.00	37.64	2258.5
2.00	38	60.00	38.36	2301.8
3.00	46	60.51	30.79	1862.8
4.00	52	61.47	22.73	1397.0
5.00	55	62.43	14.74	920.1
6.00	57	62.77	11.89	746.4
7.00	58	63.11	9.11	575.2
8.00	59	62.93	10.62	668.3
9.00	59	63.70	4.20	267.3
10.00	60	63.60	4.97	316.0
11.00	60	63.85	2.93	187.1
12.00	60	63.43	6.41	406.4
13.00	60	63.60	5.01	318.8
14.00	60	63.71	4.09	260.5
15.00	60	63.79	3.39	216.1
16.00	60	64.00	1.63	104.2
17.00	60	63.34	7.19	455.3
18.00	60	63.70	4.17	265.9
19.00	60	63.71	4.11	261.6



Gambar 14 Grafik hasil pengujian medan Berbatu

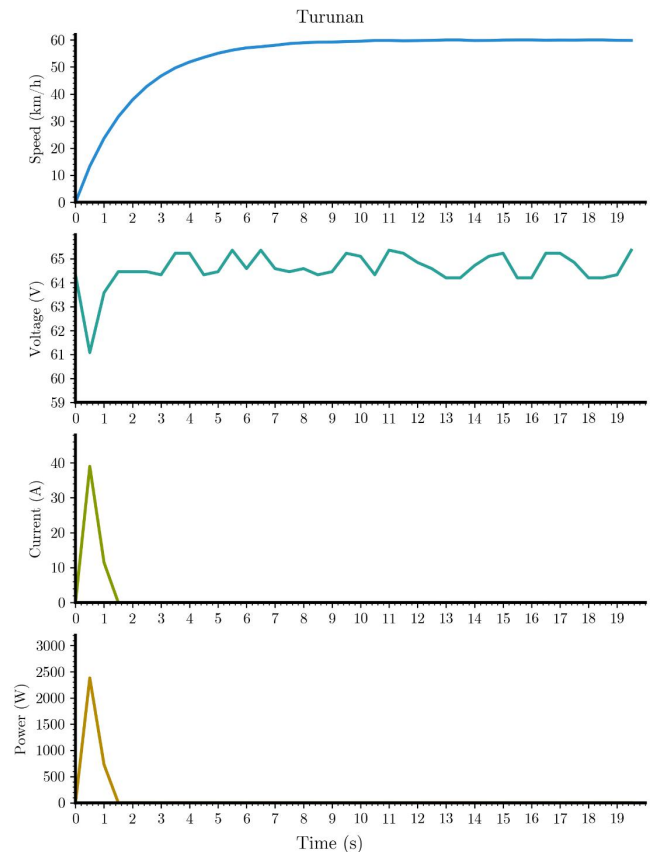
Gambar 14 diatas menunjukkan grafik waktu nyata hasil pengukuran kecepatan (km/h), tegangan (V), arus (A) dan daya (W). Dibandingkan pada medan datar, medan berbatu menunjukkan fluktuasi arus yang lebih dinamis (naik-turun) meskipun kecepatan relatif dijaga.

Pemilihan kontroler berbasis FOC dilakukan untuk meminimalisir *torque ripple* saat manuver di medan berbatu. Ini adalah bukti bahwa kinerja algoritma FOC dengan SVPWM sangat baik dalam merespons perubahan beban mendadak seperti medan berbatu. Kontroler menyesuaikan torsi dengan sangat cepat untuk menjaga kecepatan tetap naik, hal ini yang sering menjadi kelemahan kontroler tipe *trapezoidal* biasa.

E. Karakteristik performa mobil listrik pada medan turunan

TABEL VI
DATA PENGUJIAN MEDAN TURUNAN

Time (s)	Speed (km/h)	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
0.00	0	64.32	0.00	0.2
1.00	24	63.58	11.45	728.1
2.00	38	64.46	0.02	1.1
3.00	47	64.33	0.00	0.1
4.00	52	65.23	0.02	1.2
5.00	55	64.46	0.01	0.4
6.00	57	64.59	0.01	0.4
7.00	58	64.59	0.01	0.8
8.00	59	64.59	0.01	0.8
9.00	59	64.46	0.01	0.5
10.00	60	65.10	0.01	0.9
11.00	60	65.36	0.01	0.7
12.00	60	64.84	0.00	0.1
13.00	60	64.20	0.02	1.1
14.00	60	64.71	0.02	1.2
15.00	60	65.23	0.01	0.4
16.00	60	64.20	0.01	0.7
17.00	60	65.23	0.00	0.2
18.00	60	64.20	0.00	0.3
19.00	60	64.33	0.00	0.3



Gambar 15 Grafik hasil pengujian medan Turunan

Gambar 15 diatas menunjukkan grafik waktu nyata hasil pengukuran kecepatan (km/h), tegangan (V), arus (A) dan daya (W). Pada medan jalan turunan, nilai arus dan daya yang tercatat mendekati nol atau nilai desimal sangat kecil saat kendaraan menuruni lintasan.

Secara mekanis, pada lintasan turunan, gaya gravitasi cukup mengambil alih kerja motor, sehingga konsumsi energi dari baterai relatif minimal. Namun, perlu dicatat bahwa kendaraan listrik (khususnya dengan kontroler VOTOL EM-100) memiliki fitur *regenerative braking* yang akan menghasilkan arus negatif (arus pengisian balik ke baterai). Pembacaan $\approx 0A$ pada data ini disebabkan oleh keterbatasan sensor PZEM-017 yang bersifat *unidirectional* (hanya membaca arus keluar/positif dalam rentang $0.02 - 300A$). Oleh karena itu, energi yang dipulihkan ke baterai dari fitur *regenerative braking* selama turunan tidak terekam dalam pengujian ini, namun dapat dipastikan tidak ada konsumsi daya signifikan dari baterai.

F. Kesenjangan (*Gap*) antara Model Teoritis dan Pengujian Empiris

Pembahasan ini bertujuan membandingkan hasil estimasi teoritis dengan pengujian empiris di lapangan. Perbandingan ini penting untuk memahami batasan model dan kinerja sistem di dunia nyata. Terdapat kesenjangan (*gap*) yang dapat diprediksi antara perhitungan statis (teoritis) dan beban dinamis (empiris), di mana beban empiris pada medan datar lebih rendah dibandingkan estimasi teoritis.

Model matematis menghitung kebutuhan arus DC dari baterai berdasarkan daya terukur (*rated power*) motor $2000W$ dan asumsi efisiensi motor dan kontroler. Perhitungan ini menghasilkan estimasi arus kontinu sebesar $39.13A$. Pada beban kontinu terberat yang ditunjukkan pada Gambar 12, arus melonjak stabil di $\approx 35A$, sedangkan saat akselerasi, arus sedikit naik mencapai $\approx 38A$ yang memang mendekati estimasi teoritis. Namun, disisi lain, misalnya pada medan datar seperti yang ditunjukkan pada gambar 11, arus melonjak hingga mencapai $\approx 38A$ saat akselerasi awal namun perlahan mulai menurun ke $\approx 7A$ seiring meningkatnya kecepatan mobil.

Kesenjangan terjadi karena model teoritis didasarkan pada *Rated Power 2000W*, sedangkan pengujian empiris mengukur *Actual Dynamic Load*. Pada medan tanjakan 30° adalah beban dinamis ekstrem yang memaksa sistem bekerja di atas daya terukurnya untuk mempertahankan kecepatan. Data empiris menunjukkan sistem secara kontinu menarik daya baterai sebesar $P = V \times I = 60.60V \times 38.56 = 2336.7W$. Daya ini diperlukan untuk mengatasi gaya gravitasi dan gesekan yang tidak sepenuhnya ditangkap oleh model statis $2000W$. Disisi lain, pada medan datar, penurunan arus saat kecepatan tinggi bukan semata-mata karena pengaturan *flux-weakening*, tetapi arus turun karena beban berkurang drastis, maka untuk mempertahankan kecepatan hanya melawan gesekan angin dan roda, membutuhkan daya jauh lebih kecil daripada mencapai kecepatan tersebut. Menunjukkan kemampuan algoritma FOC dalam menyesuaikan suplai arus secara responsif terhadap kebutuhan beban dinamis, meminimalisir pemborosan energi saat inersia kendaraan sudah stabil.

G. Konfigurasi Optimal untuk Peningkatan Stabilitas Suplai Daya

Pembahasan ini bertujuan mengevaluasi kemampuan konfigurasi baru Kontroler VOTOL EM-100 dan Baterai Li-ion $66V \ 25Ah \ 2C$ dalam meningkatkan stabilitas suplai daya. Latar belakang masalah mengidentifikasi adanya *voltage drop* (jatuh tegangan) signifikan sebesar $12 - 15\%$ pada prototipe lama saat akselerasi atau manajak.

Gambar 12 menunjukkan pada kondisi beban terberat (Tanjakan 30°), tegangan baterai turun dari kondisi awal sekitar $65.11V$ dan stabil di level $60.0V$ saat dibebani arus kontinu $\approx 35A$. Ini menunjukkan *voltage drop* atau *battery sag* sebesar $\approx 5.11V$.

Jatuh tegangan sebesar $\approx 5.11V$ dari $65.11V$ setara dengan 7.84% . Nilai ini merupakan peningkatan yang lebih baik dibandingkan dengan masalah awal sebesar $12 - 15\%$. Model matematis dan simulasi iteratif rugi daya kabel yang ditunjukkan pada Gambar 10 membuktikan bahwa resistansi kabel AWG 10 bukan sumber masalah utama. Simulasi menunjukkan bahwa

voltage drop yang disebabkan oleh kabel (panjang $6.13m$) pada arus $39.13A$ tidak terlalu signifikan, hanya $2.33V$.

Temuan ini membuktikan bahwa sumber utama *voltage drop 12 - 15%* pada prototipe lama bukanlah pada sistem kabel, melainkan pada resistansi internal baterai yang tinggi dan tambahan rugi daya yang berasal dari *Battery Voltage Sag* (reaksi kimia baterai yang melambat saat *discharge rate* tinggi). Penggunaan baterai Li-ion baru dengan spesifikasi *high-discharge (2C)* memiliki resistansi internal yang jauh lebih rendah, sehingga mampu menangani lonjakan arus (terukur hingga $\approx 38A$ saat akselerasi pada medan datar) dengan *voltage sag* yang minimal (hanya 7.84%). Ini mengonfirmasi bahwa konfigurasi baru berhasil mengatasi masalah ketidakstabilan suplai daya.

H. Analisis efisiensi konsumsi Energi

Pembahasan ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan efisiensi daya di tiap medan jalanan sebagai referensi pengembangan EV lokal. Untuk mengukur perbandingan efisiensinya, tabel berikut akan menyajikan rekapitulasi komprehensif hasil keseluruhan pengujian di setiap medan jalan.

TABEL VII
RINGKASAN DATA PENGUJIAN

Parameter	Datar	Tanjakan	Berbelok	Berbatu	Turunan
Daya konstan (W)	661.33	2128.54	961.47	689.47	36.98
Daya puncak (W)	2253.67	2336.75	2265.95	2301.80	728.10
Jatuh tegangan puncak (V)	4.20	5.11	4.53	4.76	1.78
Konsumsi daya per satuan jarak (Wh/km)	12.63	40.65	18.36	13.18	0.71
Persentase pemakaian baterai (%/h)	40.08	129.00	58.27	41.79	2.24
Estimasi waktu habis baterai (h)	2.49	0.78	1.72	2.39	44.62

Berdasarkan data tersebut, dapat terlihat perbedaan konsumsi energi yang cukup signifikan antar kondisi medan, yang mengindikasikan bahwa topografi jalan merupakan variabel paling dominan dalam menentukan konsumsi daya per jarak tempuh, persentase pemakaian baterai per-jam dan estimasi waktu habis baterai pada kendaraan listrik.

Medan Datar dapat dijadikan acuan kinerja standar kendaraan. Pada kondisi ini, kendaraan mencatatkan konsumsi energi sebesar $12.63Wh/km$ dengan daya rata-rata (konstan) yang relatif rendah yaitu $661.33W$. Hal ini menunjukkan bahwa setelah inersia awal teratasi, algoritma FOC pada kontroler VOTOL EM-100 mampu meminimalisir arus untuk sekadar mempertahankan momentum melawan gesekan jalan dan angin, memberikan estimasi waktu operasional baterai hingga 2.49 jam.

Kontras paling tajam terlihat pada medan Tanjakan. Konsumsi energi melonjak drastis mencapai 40.65 Wh/km , atau sekitar $\approx 3,2$ kali lipat lebih boros dibandingkan medan datar. Data ini berkorelasi lurus dengan tingginya daya konstan (2128.54 W) dan daya puncak (2336.75 W) yang bekerja melampaui *rated power* motor (2000 W) secara terus-menerus untuk melawan gaya gravitasi. Implikasi dari beban berat ini adalah tingginya persentase pengurasan baterai (*discharge rate*) yang mencapai $129\%/h$, yang secara teoritis akan menghabiskan daya baterai penuh hanya dalam waktu 0.78 jam (atau kurang dari 47 menit).

Temuan menarik terlihat pada perbandingan medan Berbelok dan Berbatu. Medan Berbelok ternyata mengonsumsi energi lebih tinggi ($\approx 18.36 \text{ Wh/km}$) dibandingkan medan Berbatu ($\approx 13.18 \text{ Wh/km}$). Inefisiensi pada medan berbelok disebabkan oleh dinamika perlambatan dan akselerasi ulang saat hendak bermanuver saat belokan, yang memaksa kontroler menarik arus berulang kali. Sebaliknya, pada medan berbatu, meskipun terdapat resistansi guncangan, momentum kecepatan relatif lebih dijaga konstan oleh pengemudi. Selisih konsumsi energi medan berbatu yang hanya terpaut tipis dari medan datar membuktikan keunggulan respons torsi FOC dalam menjaga kestabilan putaran roda meski permukaan jalan tidak rata.

Medan Turunan mencatatkan angka konsumsi terendah yaitu 0.71 Wh/km dengan daya konstan mendekati nol (36.98 W). Efisiensi semu ini terjadi karena gaya gravitasi mengambil alih kerja motor penggerak. Sebagaimana dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, nilai ini sebenarnya bisa menjadi negatif jika sensor arus yang digunakan bersifat *bidirectional* (dua arah) untuk membaca arus *regenerative braking*. Namun, angka 0.71 Wh/km tetap valid sebagai representasi bahwa hampir tidak ada energi baterai yang terbuang saat kendaraan melintasi turunan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa optimasi sistem propulsi pada mobil listrik Singaperbangsa EV-1 melalui konfigurasi kontroler VOTOL EM-100 dengan algoritma Field-Oriented Control (FOC) dan modulasi SVPWM, serta pembaruan baterai Li-ion 66V 25Ah (2C), mampu meningkatkan stabilitas dan efisiensi daya secara signifikan. Berdasarkan analisis data empiris, tercatat konsumsi energi paling efisien terjadi pada medan datar sebesar $12,63 \text{ Wh/km}$ dengan arus stabil di kisaran 7 A setelah momentum tercapai. Masalah voltage sag yang menjadi kendala utama pada prototipe sebelumnya berhasil diredam, di mana pada kondisi beban puncak (tanjakan 30°), penurunan tegangan maksimum hanya sebesar $7,84\%$, jauh lebih baik dibandingkan data historis sebelumnya yang mencapai $12-15\%$.

Selain itu, ditemukan bahwa topografi jalan merupakan variabel paling dominan yang memengaruhi konsumsi daya,

di mana medan tanjakan membutuhkan energi $3,2$ kali lipat ($40,65 \text{ Wh/km}$) dibandingkan medan datar. Algoritma FOC juga terbukti responsif dalam menjaga torsi pada medan dinamis, khususnya jalan berbatu, yang menghasilkan konsumsi energi ($13,18 \text{ Wh/km}$) yang lebih efisien dibandingkan manuver berbelok. Kendati demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan pada instrumen pengukuran arus yang bersifat satu arah (*unidirectional*), sehingga potensi penghematan energi dari fitur pengereman regeneratif (*regenerative braking*) pada medan turunan belum dapat dikuantifikasi secara presisi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk mengintegrasikan sensor arus dua arah (*bidirectional*) dan sistem datalogger terpadu guna mendapatkan profil efisiensi energi yang lebih komprehensif pada siklus drive cycle yang lebih panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Tim Anobrain yang telah menyediakan fasilitas lengkap, unit kendaraan Singaperbangsa EV-1, serta dukungan rekan-rekan tim yang membantu seluruh proses teknis dan pengambilan data penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, yang telah memberikan ruang bagi pengembangan ide serta memfasilitasi proses publikasi karya ilmiah ini.

DAFTAR RUJUKAN

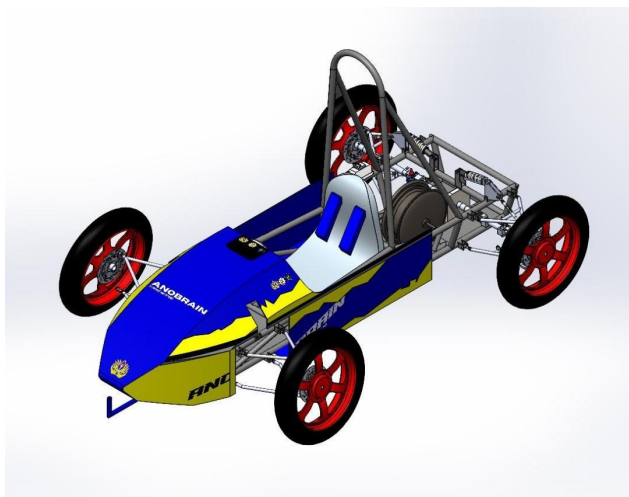
- [1] D. C. Putro and E. S. Ma'arif, "Efisiensi Penggunaan Motor BLDC Terhadap Beban dan Kecepatan Sepeda Motor Listrik," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2024*, Jakarta, 2024.
- [2] H. Hadla and F. Santos, "Performance Comparison of Field-oriented Control, Direct Torque Control, and Model-predictive Control for SynRMs," *Chinese Journal of Electrical Engineering*, vol. 8, no. 1, 2022.
- [3] S. Rozzy and B. Irawan, "Analisis Kinerja Kontrol Elektrik pada Motor Listrik BLDC," *J-MEEG: Journal of Mechanical Engineering*, vol. 3, no. 2, pp. 329-336, 2024.
- [4] M. T. Afif and I. A. P. Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95-99, 2015.
- [5] Z. Amalia, A. Khabib, E. Yudaningsy, T. Machfuroh, F. A. N. Aini and S. D. N. Rosady, "Field Oriented Control untuk Pengaturan Kecepatan Motor BLDC pada Sepeda Motor Listrik," *Jurnal Elkolind*, vol. 10, no. 1, 2023.
- [6] R. C. Prayogo and A. Triwiyatno, "Field Oriented Control Implementation on BLDC Motor Controller with PI and SVPWM using STM32F103C8T6," in *Journal of Physics: Conference Series*, Semarang,

2023.

- [7] K. A. Mahafzah, H. A. Rabab'ah, A. Al-Odienat, M. Al-Momani, K. Al-Maitah and A. Al-Mbaideen, "The Dynamic Response of SPWM vs. SVPWM Synchronverter," *WSEAS Transactions on Power Systems*, vol. 7, pp. 2-7, 2022.
- [8] Y. Yu, "Comparison of three-phase inverter modulation techniques: a comprehensive analysis of SPWM and SVPWM," *Highlights in Science, Engineering and Technology (MCEE 2024 Proceedings)*, vol. 97, pp. 185-196, 2024.
- [9] R. Hendra, E. Yadie and Arbain, "Analisis Konsumsi Daya Mobil Listrik Dengan Penggerak Motor Brushed DC," *PoliGrid*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [10] Jatmiko, A. Basith, A. Ulinuha, M. A. Muhlasin and I. S. Khak, "Analisis Performa dan Konsumsi Daya Motor BLDC 350 W pada Prototipe Mobil Listrik Ababil," *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 18, no. 2, pp. 86-93, 2018.

LAMPIRAN

Desain Solidworks Mobil Listrik Singaperbangsa EV-1



Dokumentasi Pengujian

