

Analisis Penggunaan Metode *Constant Speed* Pada Mobil Listrik Terhadap Efisiensi Energi

Supriyadi Prasetyono¹, Muh. Asnoer Laagu², Widyono Hadi³, Immawan Wicaksono⁴, Aziiz Rahmat Habibie⁵

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember
habibierahmat14@gmail.com

Abstrak

Seiring dengan majunya teknologi transportasi ramah lingkungan. Kendaraan listrik menjadi fokus utama dalam pengembangan inovasi transportasi berkelanjutan, karena dampak emisi yang lebih baik terhadap lingkungan. Perkembangan teknologi mobil listrik tidak akan jauh dari motor listrik penggerak seperti motor *Brushless Direct Current* (BLDC) dan sistem pengendaliannya. Dalam penggunaan mobil listrik, khususnya dalam perlombaan kontes mobil hemat energi akan terdapat profil lintasan berupa tanjakan dan turunan. Ini akan berkaitan dengan bagaimana pengendalian motor *Brushless Direct Current* (BLDC) dengan berbagai profil lintasan terhadap konsumsi energi yang dibutuhkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penggunaan metode *constant speed* pada mobil listrik dan pengaruhnya terhadap hasil efisiensi energi berdasarkan variabel sudut tanjakan dan turunan suatu lintasan. Pengujian akan dilakukan dengan membandingkan penggunaan metode *constant speed* dengan beberapa variasi kecepatan dengan pengendalian mobil listrik tanpa *constant speed*, pengujian juga dilakukan dengan variasi sudut lintasan tanjakan dan turunan. Dari penelitian ini menunjukkan metode *constant speed* dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 18.41% pada area pengujian yang tidak memiliki sudut elevasi yang curam dengan variasi kecepatan konstan pada seluruh lintasan. Pada area pengujian yang memiliki sudut elevasi tanjakan dan turunan yang curam dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 8.24% dengan variasi kecepatan konstan rendah saat tanjakan dan kecepatan konstan tinggi saat menurun.

Kata Kunci — *Constant Speed*, Efisiensi Energi, Motor BLDC, Mobil Listrik

Abstract

With the advancement of environmentally friendly transportation technology, electric vehicles have become the primary focus in the development of sustainable transportation innovations due to their better environmental impact. The development of electric car technology is closely related to the drive motors, such as Brushless Direct Current (BLDC) motors, and their control systems. In the use of electric cars, particularly in energy-efficient car contests, there will be track profiles that include inclines and declines. This is related to how the Brushless Direct Current (BLDC) motor is controlled with various track profiles and the energy consumption required. This research aims to analyze the use of the constant speed method in electric cars and its impact on energy efficiency based on the variable angles of the inclines and declines of a track. Testing will be conducted by comparing the use of the constant speed method at several speed variations with the control of electric cars without constant speed. Testing will also be conducted with variations in the

angles of the incline and decline tracks. The results of this study show that the constant speed method can increase energy efficiency by 18.41% in test areas without steep elevation angles with constant speed variations throughout the track. In test areas with steep incline and decline angles, energy efficiency can be increased by 8.24% with low constant speed variations on inclines and high constant speed variations on declines.

Keywords — *Constant Speed, Energy Efficiency, BLDC Motor, Electric Car*

I. PENDAHULUAN

Pentingnya mobil listrik sebagai alternatif ramah lingkungan telah menjadi pusat perhatian di tingkat global, termasuk di Indonesia. Penggunaan kendaraan listrik di Indonesia diharapkan dapat menjadi langkah dalam mendukung upaya mencapai target emisi karbon yang ditetapkan oleh pemerintah. Pemerintah juga turut serta berperan aktif dalam pengembangan mobil listrik dengan menyelenggarakan kompetisi yang dapat diikuti oleh institusi pendidikan perguruan tinggi nasional, salah satunya yaitu Kontes Mobil Hemat energi. Penilaian utama kompetisi ini adalah efisiensi energi yang digunakan oleh satu mobil dengan waktu dan jarak yang telah ditentukan. Pada umumnya sudut kemiringan sirkuit tidak akan lebih dari 5.7° sesuai regulasi dari FIA (*Fédération Internationale de l'Automobile*). Penelitian kendaraan listrik saat ini difokuskan pada peningkatan jarak tempuh, ekosistem pengisian baterai, serta efisiensi yang tinggi. (H.S. Das et al, 2020).

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Hyang Iman Kinasih Gusti yang berjudul “Desain Sistem Pengendali Motor DC Pada Mobil Listrik Universitas Jember Berbasis *Constant Power* dan *Constant Speed*”. Penelitian ini dilakukan peningkatan efisiensi energi dengan menggunakan sistem kontrol berbasis *constant power* dan *constant speed* namun dengan menggunakan motor jenis *brushed DC*. Penelitian lainnya yaitu oleh Saiful Rizal dengan judul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Motor BLDC Berbasis *Constant Power* Dengan Monitoring *Internet of Things* Pada Mobil Listrik Universitas Jember”. Penelitian tersebut memiliki pengendalian berbasis *constant power* sehingga mobil tidak dapat menyesuaikan kecepatan sesuai dengan karakteristik sirkuit yang ada.



II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Constant Speed

Sistem *Constant speed* memiliki arti mobil bergerak dengan kecepatan yang tetap atau stabil tanpa mengalami percepatan atau perlambatan yang signifikan. Untuk menjaga kecepatan konstan pada mobil listrik, sistem kontrol elektronik mengatur aliran daya listrik dari baterai ke motor listrik. Sistem ini memastikan bahwa mobil akan menjaga pada kecepatan yang telah diatur oleh pengemudi tanpa perlu terus menerus melakukan penyesuaian pedal *throttle*. Sistem ini akan mengoptimalkan penggunaan energi dan membuat mobil dapat menyesuaikan kecepatannya sesuai dengan karakteristik jalan.

B. Efisiensi Energi

Efisiensi energi dalam mobil listrik mengacu pada seberapa efisien kendaraan tersebut dalam mengonsumsi energi listrik dalam jarak waktu tertentu. Satuan yang digunakan untuk mengukur nilai efisiensi energi suatu mobil listrik adalah *Kilometer per Kilowatt-hour* (Km/kWh)

$$\text{Efisiensi Energi} = \frac{\text{Jarak Tempuh (Km)}}{\text{Konsumsi Energi (Wh)}} \times 1000 \quad (1)$$

Watt hour sendiri merupakan turunan dari daya yang digunakan untuk mengukur konsumsi energi listrik dalam ukuran waktu atau jam (h).

$$\text{Watt hour} = W \times t \quad (2)$$

Keterangan = W : Daya
t : Waktu

C. Torsi Elektrik

Secara sederhana, prinsip torsi dalam konteks mobil adalah memberikan gaya dorong yang memungkinkan mobil untuk melakukan akselerasi dengan baik. Torsi pada motor listrik dapat dihitung dengan membagi daya keluaran (dalam Watt) dengan kecepatan putar motor (dalam RPM). Torsi dihasilkan dari interaksi antara medan magnet stator dengan medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang mengalir melalui gulungan kumparan rotor.

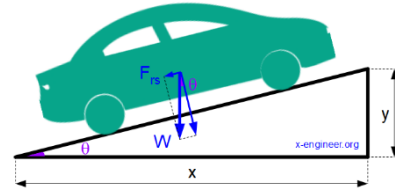
$$T = (P \times 60) \times (2 \times \pi \times Nr) \quad (3)$$

T = Torsi (Nm)
P = Daya (Watt)
V = Tegangan (V)
I = Arus (A)
Nr = Kecepatan Motor (RPM)
 π = 3,14

D. Gaya Dinamis Mobil

Terdapat gaya yang terjadi pada mobil ketika bergerak di suatu jalan dengan karakteristik menanjak dan menurun. Gaya hambat tanjakan terjadi ketika kendaraan harus melawan gravitasi saat menanjak. Sebaliknya ketika kendaraan di

turunan maka terdapat gaya dorong gravitasi yang akan menarik kendaraan ke bawah.



Gbr. 1 Sudut Tanjakan dan Turunan (x-engineer.org)

$$f_{grad} = m \cdot g \cdot \sin \theta \quad (4)$$

Keterangan:

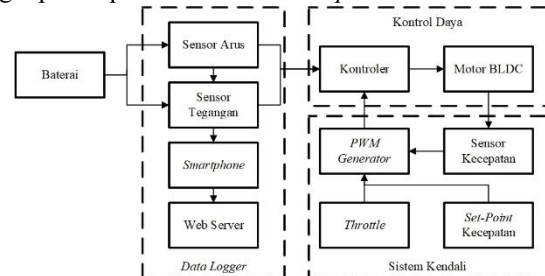
F_{grad} = Gaya Hambat Tanjakan / Gaya Dorong Gravitasi
m = Massa (kg)
g = Gravitasi (9.8 m/s)
 θ = Sudut Kemiringan Jalan

Pada perlombaan kontes mobil hemat energi mengenai kemiringan sirkuit umumnya menggunakan regulasi perlombaan dari federasi otomotif, salah satunya adalah FIA (*Fédération Internationale de l'Automobile*). Kemiringan sirkuit harus kurang dari 5.7° , ini untuk memastikan keamanan mobil saat melakukan akselerasi maupun deselerasi.

III. METODOLOGI

A. Blog Diagram Sistem Keseluruhan

Blog Diagram sistem keseluruhan memiliki 3 blok utama yaitu blok data logger untuk akuisisi data. Blok kontrol daya sebagai pengendali utama motor BLDC dan blok sistem kendali sebagai penerapan sistem *constant speed*



Gbr. 2 Blog Diagram Sistem Keseluruhan

B. Diagram Alir Sistem Kendali

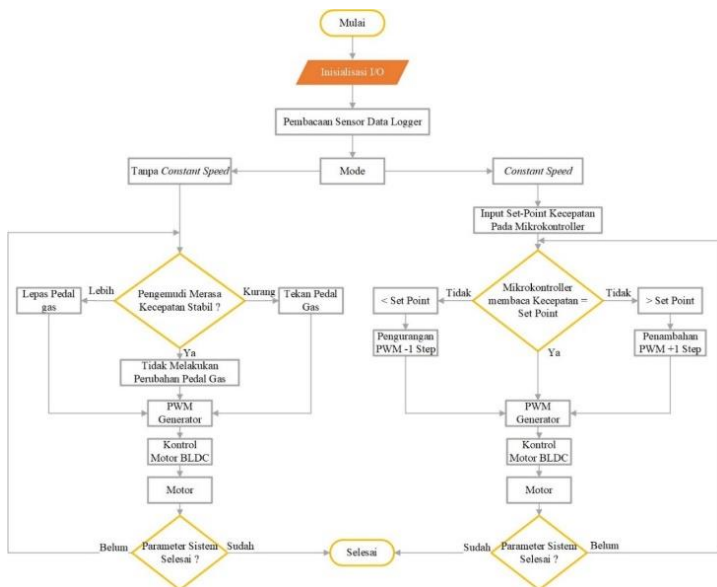
Terdapat dua mode pengendalian seperti ditunjukkan pada Gbr 3, pertama dengan tidak menggunakan *constant speed* dan pengendalian kedua dengan menggunakan *constant speed*. Mode pertama, pengemudi akan mengendalikan secara penuh *throttle gas* pada mobil listrik tanpa adanya *set-point* kecepatan. Mode kedua, mobil listrik akan dikendalikan oleh sistem secara otomatis dengan mengatur PWM yang masuk ke kontrol sesuai dengan *set-point* dan dari *feedback* sensor kecepatan. Pengemudi hanya perlu mengaktifkan *throttle gas* dan memasukan nilai *set-point* kecepatan yang ditentukan. Sistem akan berhenti jika parameter jarak pengujian telah terpenuhi

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Area Pertama

Pengambilan data area pertama dilakukan di Universitas Jember, area ini dibagi menjadi 2 lintasan. Lintasan A merupakan tanjakan dengan sudut 1.7° dan lintasan B merupakan turunan dengan sudut 0.32° . Terdapat 4 kali seperti pada Gbr 4 tempat area pertama terkait pengujian dan pengambilan data.

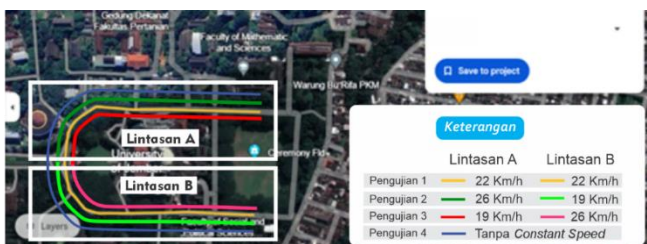
Pengujian pertama dengan kecepatan tetap pada lintasan A dan lintasan B yaitu dengan kecepatan konstan 22 Km/Jam. Gbr 6 merupakan grafik daya terhadap PWM. Nilai daya pada grafik tersebut ditunjukkan oleh kurva berwarna merah. Nilai daya yang dikonsumsi oleh mobil listrik secara *trendline* mengalami penurunan, ini dikarenakan lintasan B memiliki karakteristik jalanan yang sedikit menurun di angka 0.32° , sehingga daya yang dikonsumsi motor listrik tidak sebesar pada lintasan A. Hal ini juga terjadi pada nilai PWM yang mengalami sedikit penurunan saat berada di lintasan A ke lintasan B yaitu dari 54% menuju 52%



Gbr. 3 Diagram Alir Sistem kendali

C. Lokasi Pengujian

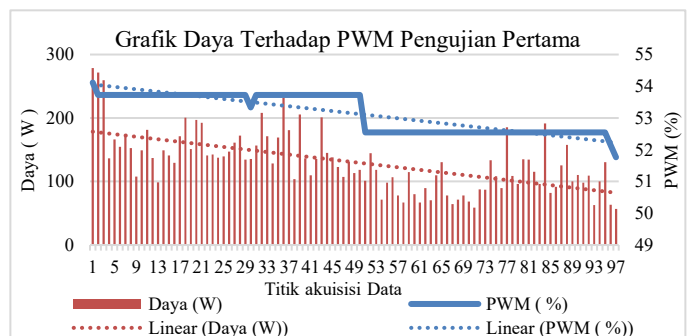
Gbr 4 menunjukkan tempat area pertama yang terletak di area Universitas Jember. Pengujian pertama terbagi menjadi 2 lintasan, lintasan A merupakan tanjakan dengan sudut 1.7° dan lintasan B merupakan turunan dengan sudut 0.32° . Terdapat 3 kali pengujian dengan beberapa variasi kecepatan konstan dan satu kali pengujian tanpa menggunakan *constant speed*. Gbr 5 menunjukkan tempat area kedua yang terletak di Jalan Belimbing, Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember. Pengujian ini dibagi menjadi 2 lintasan. Lintasan C sebagai tanjakan dengan sudut 3.75° dan lintasan D merupakan turunan dengan sudut 3.32° . Terdapat 4 kali pengujian dengan 3 kali variasi kecepatan konstan dan 1 kali pengujian tanpa menggunakan *constant speed*



Gbr. 4 Area Pertama



Gbr. 5 Area Kedua



Gbr. 6 Grafik Daya Terhadap PWM Pengujian Pertama

Tabel I dan II merupakan salah satu sampel data nilai daya dan konsumsi energi ketika menaik di lintasan A dan menurun di lintasan B. Nilai konsumsi energi pertama akan ditambah dan di akumulatifkan terhadap nilai konsumsi energi selanjutnya, ini akan terus diakumulatifkan hingga nilai data terakhir yang tercatat. Pengujian pertama mendapatkan nilai konsumsi daya sebesar 5.00 Wh

TABEL I
SAMPEL DATA PENGUJIAN PERTAMA LINTASAN A

No	Daya (watt)	Waktu (Jam)	Selisih (Jam)	Konsumsi Energi (Wh)
1	278.585	0.0880719		
2	271.755	0.0884192	0.000347222	0.0955
3	259.376	0.0888194	0.000400278	0.201

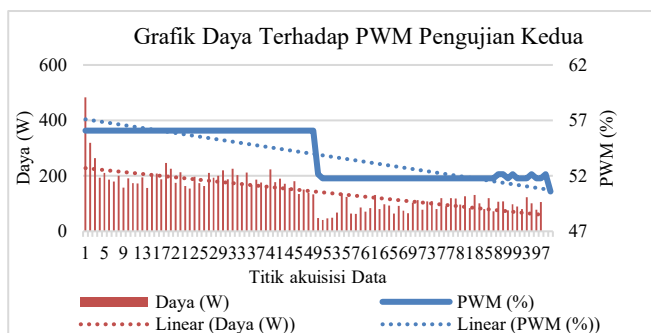
$$\text{Konsumsi energi 2} = \frac{278.585 + 271.755}{2} \times 0.000347222 = 0.0955$$

$$\text{Konsumsi energi 3} = \frac{271.755 + 259.376}{2} \times 0.000400278 = 0.1063 + 0.0955 (\text{Konsumsi energi 2}) = 0.201$$

TABEL II
SAMPEL DATA PENGUJIAN PERTAMA LINTASAN B

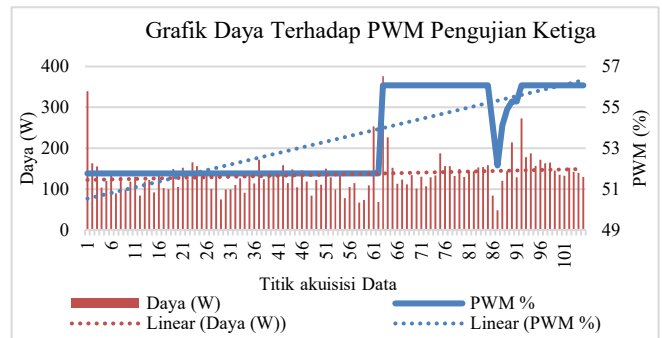
No	Daya (watt)	Waktu (Jam)	Selisih (Jam)	Konsumsi Energi (Wh)
1	101.16	0.1087108	0.000403056	3.227
2	144.84	0.1090833	0.0003725	3.273
3	118.36	0.1094583	0.000375	3.322

Pengujian yang kedua didapat grafik perbandingan antara daya dengan PWM seperti pada Gbr 7. Kurva berwarna merah menunjukkan nilai daya dan kurva berwarna biru menunjukkan nilai PWM. Diketahui nilai daya yang dikonsumsi oleh mobil listrik secara *trendline* mengalami penurunan yang cukup signifikan, ini dapat terjadi karena lintasan A berupa tanjakan sebesar 1.7° dan *set-point* kecepatan yang lebih tinggi. Berbeda di lintasan B dengan karakter jalan menurun sebesar 0.32°, serta penggunaan *set-point* kecepatan yang lebih rendah yaitu 19 Km/Jam. Gbr 7 juga memperlihatkan nilai PWM yang digunakan mengalami penurunan dari 56% ke 51%. Ini terjadi karena penggunaan kecepatan yang rendah dan jalan turunan sehingga mobil tidak perlu memerlukan gaya yang terlalu besar. PWM juga akan menurun menyesuaikan kecepatan dan gaya yang diperlukan oleh mobil.



Gbr. 7 Grafik Daya Terhadap PWM Pengujian Kedua

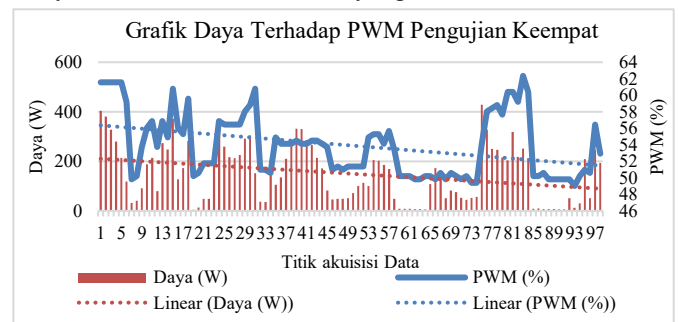
Pengujian ketiga dengan *set-point* kecepatan yang berkebalikan dengan pengujian kedua, dan dari hasil pengujian terdapat grafik daya terhadap PWM yang terlihat pada Gbr 8. Pengujian yang ketiga memiliki karakteristik daya dan PWM berbanding terbalik dengan pengujian kedua. Daya yang ditunjukkan kurva berwarna merah menunjukkan nilai daya secara *trendline* mengalami kenaikan, begitupun juga dengan nilai PWM. Hal ini terjadi karena penggunaan *set-point* kecepatan yang lebih cepat di lintasan B daripada pada lintasan A. Grafik kenaikan daya dan PWM pada pengujian tiga tidak sebanding dengan grafik penurunan pada pengujian kedua, salah satu alasannya adalah sudut elevasi di lintasan A adalah tanjakan dan lintasan B adalah turunan. Sehingga akan ada perbedaan gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan mobil meskipun dengan *set-point* kecepatan yang sama.



Gbr. 8 Grafik Daya Terhadap PWM Pengujian Ketiga

Pengujian keempat dengan tanpa menggunakan *constant speed*, artinya *set-point* kecepatan tidak diatur, mobil sepenuhnya dikendalikan oleh pengemudi dan hanya dibatasi dengan waktu tempuh. Gbr 9 menunjukkan grafik daya terhadap PWM pada pengujian pertama dengan tidak menggunakan *constant speed*.

Gbr 9 menunjukkan bahwa daya yang dikonsumsi mobil listrik dan nilai PWM yang diterima oleh kontroler sebanding dan memiliki nilai yang fluktuasi. Hal ini disebabkan oleh kecepatan yang berubah-ubah tanpa adanya *set-point* kecepatan, sehingga dalam hal ini pengemudi dapat menaikkan dan menurunkan kecepatan untuk memenuhi batas waktu yang ada. Pengujian tanpa menggunakan *constant speed* mengakibatkan adanya akselerasi dan deselerasi yang tidak terkontrol.



Gbr. 9 Grafik Daya Terhadap PWM Pengujian Keempat

Tabel III menunjukkan pengujian pertama dengan penggunaan *constant speed* variasi kecepatan statis 22 Km/Jam adalah yang paling baik dengan efisiensi energi 162.94 Km/kWh. Penggunaan *constant speed* dengan variasi kecepatan statis 22 Km/Jam memberikan konsumsi daya yang lebih stabil dibandingkan dengan variasi kecepatan lainnya.

Peningkatan efisiensi energi ketika menggunakan *constant speed* juga dapat dihitung dari Tabel III yaitu dari nilai efisiensi energi ketika tidak menggunakan *constant speed* dengan nilai 137.60 Km/kWh dibandingkan dengan menggunakan sistem *constant speed* yang terbaik dengan variasi kecepatan statis 22 Km/Jam yaitu dengan nilai 162.94 Km/kWh

$$\text{Persentase Peningkatan} = \frac{162.94 - 137.60}{137.60} \times 100$$

$$= 18.41 \%$$

TABEL III
HASIL DATA AREA PERTAMA

Area	Pengujian	Konsumsi Energi (Wh)	Efisiensi Energi (Km/kWh)
Pertama	Pertama	5.00	162.94
	Kedua	5.59	145.66
	Ketiga	5.49	148.32
	Keempat	5.92	137.60

TABEL IV
NILAI TORSI AREA PERTAMA

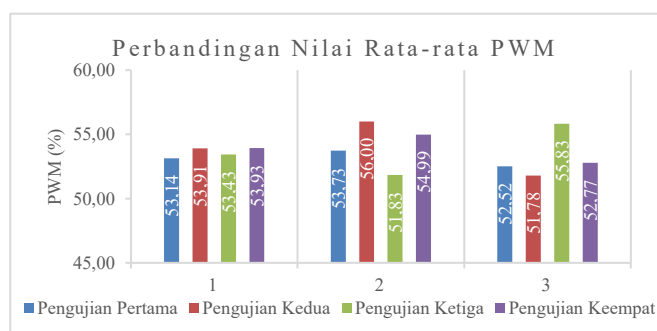
Area	Pengujian	Torsi Elektrik Rata-Rata		
		Lintasan A-B	Lintasan A	Lintasan B
Pertama	Pertama	5.15 Nm	6.31 Nm	3.99 Nm
	Kedua	5.60 Nm	7.05 Nm	4.14 Nm
	Ketiga	5.62 Nm	6.17 Nm	5.08 Nm
	Keempat	6.49 Nm	7.72 Nm	5.25 Nm

TABEL V
SAMPEL DATA PERHITUNGAN TORSI PENGUJIAN KEEMPAT LINTASAN A

No	Voltage (V)	Current (A)	Daya (W)	RPM	Torsi Elektrik (Nm)
1	47.02	8.58	403.43	137.93	27.944
2	49.89	7.64	381.15	197.04	18.481
3	45.45	7.2	327.24	229.89	13.599

Tabel V merupakan sampel data perhitungan torsi pengujian keempat lintasan A. Tabel IV menunjukkan nilai torsi elektrik yang paling kecil, yaitu sebesar 5.15 Nm dengan menggunakan *constant speed* variasi kecepatan statis 22 Km/Jam. Ini berarti gaya putar yang diperlukan motor untuk menggerakkan mobil listrik dengan variasi ini lebih sedikit dibandingkan dengan variasi kecepatan lainnya. Dapat dibuktikan pada Gbr 10 grafik rata-rata penggunaan PWM secara keseluruhan paling minimum terdapat pada pengujian pertama dengan nilai PWM 53.14%.

$$\text{Torsi Elektrik Titik Akuisisi Data 1} = \frac{403.43 \times 60}{2 \times 3.14 \times 137.93} = 27.944 \text{ Nm}$$



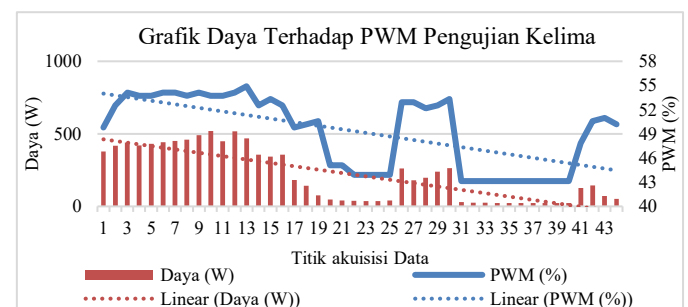
Gbr. 10 Nilai Rata-Rata PWM Area Pertama

B. Area Kedua

Area kedua dilakukan di sepanjang 270 meter di Jl. Belimbing, area ini dibagi menjadi 2 lintasan. Lintasan C merupakan tanjakan dengan sudut 3.72° dan lintasan D

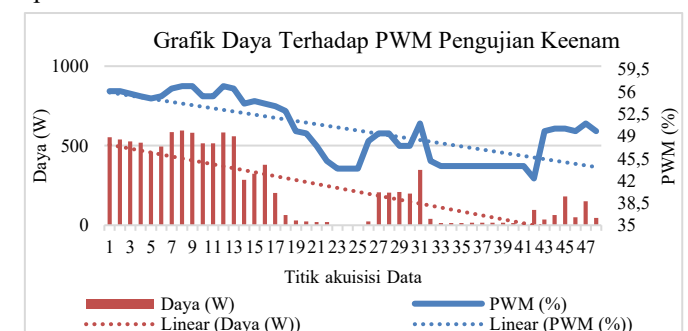
merupakan turunan dengan sudut 3.32°. Terdapat 4 kali pengujian seperti pada Gbr 5

Pengujian kelima yaitu pengujian dengan kecepatan yang tetap baik di lintasan C dan lintasan D yaitu dengan kecepatan konstan 17 Km/Jam. Dari hasil pengujian didapat grafik perbandingan antara daya dan PWM pada Gbr 11. Nilai daya yang dikonsumsi oleh mobil listrik secara *trendline* mengalami penurunan, hal ini dikarenakan pada lintasan D memiliki karakteristik jalanan yang menurun di angka 3.32°. Nilai PWM selama pengujian berbanding lurus dengan nilai daya, dan yang dikeluarkan di lintasan C lebih besar daripada di lintasan D karena lintasan C merupakan sebuah tanjakan. Nilai PWM pada grafik terdapat fluktuasi, hal ini disebabkan PWM generator bekerja untuk menyesuaikan kecepatan mobil dengan *set-point* ketika berjalan. Hal lainnya seperti jalanan berlubang, berbelok ataupun jalanan bergelombang juga mempengaruhi fluktuasi PWM.



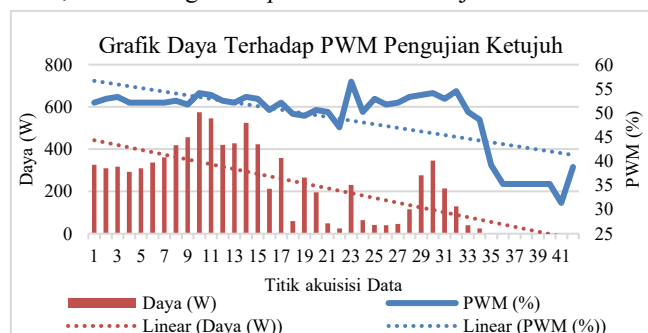
Gbr. 11 Grafik Daya Terhadap PWM Pengujian Kelima

. Pengujian keenam didapat grafik perbandingan antara daya dengan PWM seperti pada Gbr 12. Nilai daya yang dikonsumsi oleh mobil listrik secara *trendline* mengalami penurunan yang cukup signifikan, ini dapat terjadi karena lintasan C berupa tanjakan sebesar 3.72° dan *set-point* kecepatan yang lebih tinggi sebesar 20 Km/Jam. Berbeda di lintasan D dengan karakter jalan menurun sebesar 3.32°, serta penggunaan *set-point* kecepatan yang lebih rendah yaitu 15 Km/Jam. Grafik juga memperlihatkan nilai PWM yang digunakan mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena penggunaan kecepatan yang rendah dan jalan turunan sehingga mobil tidak perlu memerlukan gaya yang terlalu besar, PWM juga akan menurun menyesuaikan kecepatan dan gaya yang diperlukan oleh mobil.



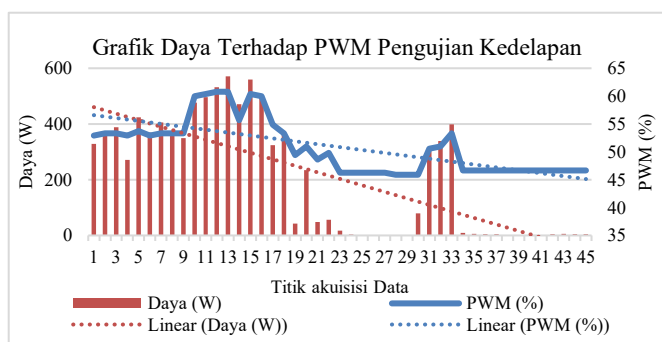
Gbr. 12 Grafik Daya Terhadap PWM Pengujian Keenam

Pengujian ketujuh yaitu dengan *set-point* kecepatan yang berkebalikan dengan pengujian keenam. Dari hasil pengujian terdapat grafik daya terhadap PWM yang terlihat pada Gbr 13. Pengujian ketujuh menunjukkan nilai daya yang dikeluarkan pada lintasan C tidak sebesar dengan daya yang dikeluarkan di lintasan C pengujian kelima. Penggunaan *set-point* kecepatan yang lebih lambat pada lintasan C menyebabkan penggunaan daya yang lebih rendah. Dari grafik nilai PWM yang digunakan juga memiliki nilai yang lebih kecil daripada pengujian kedua. Nilai PWM berbanding lurus dengan daya yang digunakan oleh motor, sesuai dengan *set-point* dan kondisi jalan



Gbr. 13 Grafik Daya Terhadap PWM Pengujian Ketujuh

Pengujian terkahir yaitu pengujian kedelapan dengan variasi kecepatan tanpa *constant speed*, artinya *set-point* kecepatan tidak diatur, mobil sepenuhnya dikendalikan oleh pengemudi dan hanya dibatasi dengan waktu tempuh. Hasil pengujian didapatkan grafik perbandingan antara daya dengan PWM pada Gbr 14. Pengujian kedelapan menunjukkan daya yang digunakan oleh mobil listrik dan nilai PWM yang diterima oleh kontroler berbanding lurus dan mengalami fluktuasi. Keadaan ini disebabkan oleh perubahan kecepatan yang tidak memiliki *set-point* tetap, sehingga pengemudi dapat menaikkan atau menurunkan kecepatan untuk memenuhi batas waktu yang ditentukan. Akselerasi dan deselerasi mobil menjadi tidak terkontrol.



Gbr. 14 Grafik Daya Terhadap PWM Pengujian Kedelapan

Tabel VI menunjukkan bahwa pada pengujian ketujuh penggunaan *constant speed* dengan variasi kecepatan dinamis dengan kecepatan 15 Km/Jam pada lintasan C Km/Jam dan 20 Km pada lintasan D adalah yang paling baik dengan efisiensi energi 74.72 Km/kWh. Penggunaan *constant speed* dengan variasi kecepatan yang lebih lambat saat menanjak

mengakibatkan konsumsi daya yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi kecepatan lainnya.

$$\text{Penggunaan Energi} = \frac{0.27 (Km)}{3.61 (Wh)} \times 1000 \\ = 74.72 \text{ Km/kWh}$$

TABEL VI
HASIL DATA AREA KEDUA

Area	Pengujian	Konsumsi Energi (Wh)	Efisiensi Energi (Km/kWh)
Kedua	Kelima	3.77	71.70
	Keenam	3.79	71.33
	Ketujuh	3.61	74.72
	Kedelapan	3.91	69.03

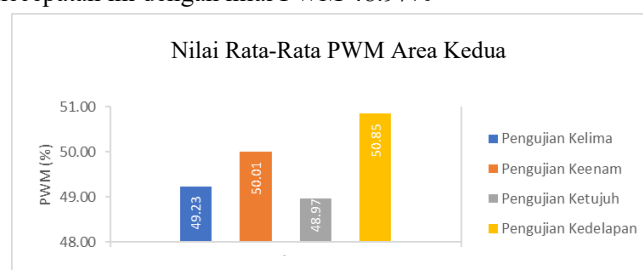
TABEL VIII
NILAI TORSI AREA KEDUA

Area	Pengujian	Torsi Elektrik Rata-Rata		
		Lintasan C-D	Lintasan C	Lintasan D
Kedua	Kelima	11.90	19.72	4.07
	Keenam	12.24	20.45	4.03
	Ketujuh	11.50	19.63	3.38
	Kedelapan	13.05	22.69	3.40

Peningkatan efisiensi energi ketika menggunakan constant speed juga dapat dihitung dari Tabel VI, yaitu dari nilai efisiensi energi ketika tidak menggunakan *constant speed* dengan nilai 69.03 Km/kWh dibandingkan dengan menggunakan sistem *constant speed* yang terbaik dengan variasi kecepatan dinamis pada lintasan C menggunakan kecepatan 15 Km/Jam dan lintasan D menggunakan kecepatan 20 Km/Jam yaitu dengan nilai 74.72 Km/kWh

$$\text{Persentase Peningkatan} = \frac{74.72 - 69.03}{69.03} \times 100 \\ = 8.24 \%$$

Dari tabel VII nilai torsi elektrik yang didapatkan pada pengujian ketujuh dengan penggunaan *constant speed* variasi kecepatan dinamis dengan kecepatan 15 Km/Jam pada lintasan C Km/Jam dan 20 ini juga menunjukkan nilai yang paling kecil, yaitu sebesar 11.50 Nm. Berarti gaya putar yang diperlukan motor untuk menggerakkan mobil listrik dengan variasi ini lebih sedikit dibandingkan dengan variasi kecepatan lainnya. Dibuktikan pada Gbr 15 grafik rata-rata penggunaan PWM secara keseluruhan paling minimum terdapat pada mode variasi kecepatan ini dengan nilai PWM 48.97%



Gbr. 15 Nilai Rata-Rata PWM Area Pertama

C. Analisis Gaya Dinamis Mobil

Laju sebuah mobil di suatu lintasan juga dipengaruhi oleh beberapa gaya. Gaya hambat tanjakan terjadi ketika mobil melaju di suatu tanjakan, dan sebaliknya gaya dorong terjadi ketika mobil menuruni suatu turunan, gaya ini akan memberikan tambahan dorongan ke bawah dan mengurangi beban pada motor listrik. Tabel VIII menunjukkan data gaya hambat tanjakan dan gaya dorong dengan berat mobil 46 kg dan berat pengemudi 45 kg

TABEL VIII
NILAI GAYA HAMBAT TANJAKAN DAN GAYA DORONG

Lintasan	Sudut Kemiringan	Gaya Hambat Tanjakan	Gaya Dorong
A	Tanjakan (1.7°)	26.45 N	-
B	Turunan (0.32°)	-	4.98 N
C	Tanjakan (3.75°)	58.32 N	-
D	Turunan (3.32°)	-	51.64 N

Lintasan B memiliki kondisi titik awal elevasi setinggi 98 m dan titik akhir setinggi 96 m sehingga nilai tinggi kenaikan senilai 2 m. Panjang lintasan B yaitu sepanjang 355 m

Diketahui = m : 91 Kg y : 2 m
 g : 9.8 m/s x : 355 m

$$\text{Sudut Turunan } (\theta) = \tan^{-1} \frac{2}{355} \\ = 0.32^\circ$$

$$\text{Gaya Dorong Gravitasi} = 91 \cdot 9.8 \cdot \sin(0.32) \\ = 4.98 \text{ N}$$

Lintasan C memiliki kondisi titik awal elevasi setinggi 101.1 m dan titik akhir setinggi 106.8 m sehingga nilai tinggi kenaikan senilai 5.7 m. Panjang lintasan D yaitu sepanjang 87.8 m

Diketahui = m : 91 Kg y : 5.7 m
 g : 9.8 m/s x : 87.8 m

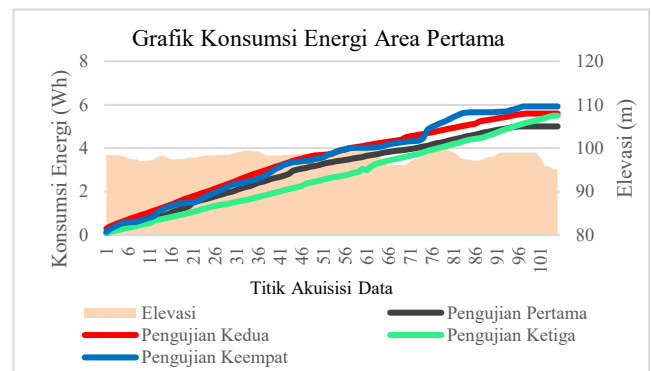
$$\text{Sudut Turunan } (\theta) = \tan^{-1} \frac{5.7}{87.8} \\ = 3.75^\circ$$

$$\text{Gaya Hambat Tanjakan} = 91 \cdot 9.8 \cdot \sin(3.75) \\ = 58.32 \text{ N}$$

Dari Tabel VIII lintasan A dan B memiliki sudut kemiringan dan turunan yang tidak terlalu tajam dibandingkan dengan lintasan C dan D, sehingga gaya hambat tanjakan dan gaya dorong tidak berpengaruh besar terhadap beban kerja motor listrik. Hal berbeda dengan lintasan C dan D yang memiliki sudut kemiringan hingga 3.75°. Pada lintasan ini motor listrik akan bekerja lebih untuk dapat mengatasi gaya hambat tanjakan. Pada turunan, motor listrik akan bekerja lebih ringan karena mobil dapat berjalan dengan memanfaatkan gaya dorong yang ada.

D. Hasil Penerapan Constant Speed

Dari Gbr 16 dan dari Tabel III terkait nilai hasil efisiensi energi diketahui bahwa pengujian pertama dengan mode variasi kecepatan statis 22 Km/Jam adalah mode variasi kecepatan yang paling baik di area pertama. Dengan variasi kecepatan ini terlihat daya yang dikonsumsi mobil listrik cenderung stabil. Hal ini dikarenakan lintasan jalan yang tidak memiliki tanjakan dan turunan yang curam. Terlihat pada grafik ketika memasuki lintasan B, pada pengujian ketiga dengan variasi kecepatan dinamis 19-26 Km/Jam mengalami kenaikan konsumsi daya.

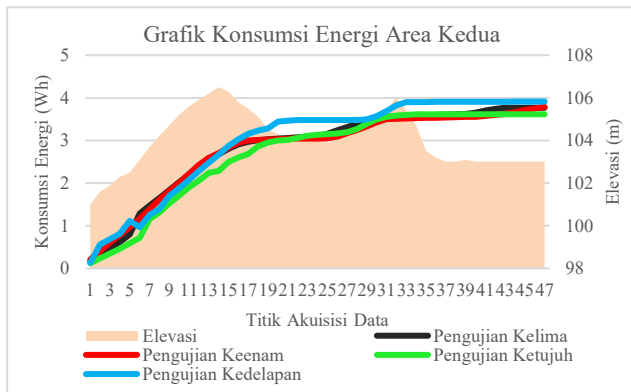


Gbr 16. Grafik Konsumsi Energi Area Pertama

Tidak adanya gaya dorong gravitasi dan *set-point* kecepatan yang lebih cepat mengakibatkan kondisi ini terjadi, sehingga pada lintasan 2 konsumsi daya meningkat dan melebihi konsumsi daya daripada mode variasi kecepatan statis

Dari Gbr 17 dan dari Tabel VI terkait nilai hasil efisiensi energi dapat diketahui bahwa pada pengujian ketujuh dengan mode variasi kecepatan 15-20 Km/Jam adalah mode variasi kecepatan yang paling baik di area kedua. Variasi kecepatan ini terlihat konsumsi pada lintasan C memiliki konsumsi daya yang paling kecil, hal ini karena *set-point* kecepatan yang rendah. Pada lintasan C ini terdapat gaya hambat tanjak sehingga akan menambah beban kerja motor, maka dari itu dengan penggunaan *set-point* yang lebih rendah maka akan mengkonsumsi daya lebih sedikit. Pada lintasan D meskipun *set-point* kecepatan naik menjadi 20 Km/Jam, konsumsi daya naik tidak begitu banyak. Hal ini disebabkan pada lintasan D memiliki turunan yang cukup curam dan dapat menghasilkan gaya dorong tersendiri untuk menggerakkan mobil, sehingga beban kerja motor listrik cukup ringan di lintasan ini. Variasi kecepatan yang rendah saat menanjak dan lebih cepat ketika menurun adalah strategi terbaik dalam lintasan yang memiliki karakter jalanan menanjak dan menurun. Karakter jalan yang tidak memiliki sudut tanjakan dan turunan yang curam lebih baik menggunakan kecepatan statis atau konstan setiap saat, sehingga daya yang dikonsumsi lebih stabil





Gbr 17. Grafik Konsumsi Energi Area Kedua

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan. Didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil penggunaan sistem *constant speed* di area pertama dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 18.41% pada pengujian pertama dan 8.24% di area kedua pada pengujian ketujuh. Dengan metode ini akan memaksimalkan efisiensi energi dan mengurangi fluktuasi daya yang disebabkan oleh akselerasi dan deselerasi yang berlebihan ketika tidak menggunakan *constant speed*. Pengujian pertama dengan variasi kecepatan statis 22 Km/Jam adalah variasi kecepatan yang paling efisien dengan nilai 162.94 Km/kWh. Pada pengujian ketujuh dengan variasi kecepatan 15-20 Km/jam adalah mode yang paling baik dengan skor 74.72 Km/kWh.

2. Efisiensi energi mobil listrik juga dipengaruhi oleh karakteristik jalanan yang menanjak dan menurun, saat bergerak di jalan yang menanjak motor listrik akan mengalami peningkatan beban karena ada gaya hambat tahanan yang terjadi, dan sebaliknya ketika mobil bergerak di jalanan yang menurun terdapat gaya dorong gravitasi yang akan menarik mobil kebawah dan berdampak pada beban kerja motor listrik akan berkurang. Maka dari itu dari hasil pengujian terkhususnya lintasan D penggunaan mode variasi kecepatan 15-20 Km/Jam adalah mode yang paling efisien dengan skor 74.72 Km/kWh.

REFERENSI

- [1] 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. <https://doi.org/10.24036/jtein.v3i1.216>
- [2] Chapman, S. (2004). *Electric Machinery Fundamentals*. McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
- [3] Circuit safety. (2024, June 11). *Federation Internationale De L'Automobile*. https://www.fia.com/sites/default/files/appendix_o_2024_published_11.06.2024_0.pdf.
- [4] Fasalina, Nitya Ayuning. (2018). Pengaturan Kecepatan Motor Brushless DC dengan Menggunakan Metode PID STR. Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- [5] Gusti, Hyang Iman Kinasih. 2021. Desain Sistem Pengendali Motor DC berbasis *Constant Power* dan *Constant Speed*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- [6] Hughes, A. (2006). *Electric motors and drives: Fundamentals, Types and Applications*. Newnes.
- [7] Iswanto, Hendrik. 2020. Sistem Kontrol Kecepatan Dan Monitoring Mobil Listrik Berbasis Logika Fuzzy Dan *Internet Of Things*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.
- [8] Mulyadi, A., Rois, M. Z., Kaloko, B. S., Lestari, R. F., Gozali, R. B., & Prasetyono, S. (2022). Analisis Efisiensi Kinerja Motor Blde Menggunakan metode Kontrol Sliding Mode Observer Pi. Jurnal Arus Elektro Indonesia, 8(3), 86. <https://doi.org/10.19184/jaei.v8i3.34998>
- [9] Potnuru, D., K., A. M., & Ch., S. (2018). *Design and implementation methodology for Rapid Control Prototyping of closed loop speed control for BLDC Motor*. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 5(1), 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2016.12.005>
- [10] Pratomo, Dani Rizky. (2019). Desain dan Simulasi Kontrol Kecepatan Motor DC Brushless Untuk Sepeda Motor Listrik Berbasis ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*). Institut Teknologi Sepuluh Noverber.
- [11] Rahman, F. R., Rohman, A. S., Munawar, I., & Sereyvatha, S. (2018). *Speed control system of BLDC motor using pi anti – windup controller on an Autonomous Vehicle Prototype (AVP)*. 2018 IEEE 8th International Conference on System Engineering and Technology (ICSSET). <https://doi.org/10.1109/icsengt.2018.8606398>
- [12] Ramadhan, Fiki. (2023). Optimasi *Electronic Unit* Guna Meningkatkan Efisiensi Energi Dengan Menggunakan *Deep Learning* Pada Mobil Listrik *Urban Concept* Universitas Jember.
- [13] Sachrudin, Muhammad Fajri. (2022). Sistem Kendali Motor BLDC Dengan Hall Sensors Berbasis CPLD. Universitas Hasanudin
- [14] Walekar, V. R., & Murkute, S. V. (2018). *Speed control of BLDC motor using PI & Fuzzy Approach: A comparative study*. 2018 International Conference on Information , Communication, Engineering and Technology (ICICET). <https://doi.org/10.1109/icicet.2018.8533723>