

# Analisis Performa dan Studi Konsumsi Energi Kendaraan Listrik Sepeda Motor Listrik SEMOLI

Nur Akhlis Sarihidaya Laksana<sup>1\*</sup>, Radhi Ariawan<sup>2</sup>, Bayu Aji Girawan<sup>3</sup>, Akhlis Rahman Sari Nurhidayat<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

<sup>4</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Jendral Soedirman

<sup>1,2,3</sup>Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

<sup>4</sup>Jln. Raya Mayjen Sungkono, Kalimanah, Kabupaten Purbalingga, 53371, Indonesia

E-mail: akhlissl@pnc.ac.id<sup>1</sup>, radhi.ariawan@pnc.ac.id<sup>2</sup>, bayuajigirawan@pnc.ac.id<sup>3</sup>, akhlis.rahman@unsoed.ac.id<sup>4</sup>

## Abstrak

### Info Naskah:

Naskah masuk: 9 Oktober 2023

Direvisi: 7 Desember 2023

Diterima: 9 Desember 2023

Pada artikel ini penulis melakukan penelitian terkait studi konsumsi energi pada kendaraan sepeda motor listrik (SEMOLI) yang dibuat dan dikembangkan oleh penulis. Tujuan studi konsumsi energi untuk mengetahui konsumsi energi dari kendaraan sepeda motor listrik yang telah dibuat untuk perbaikan dan pengembangan selanjutnya. Metode yang digunakan yaitu eksperimen dengan pada fase pertama menguji pada jalan datar lurus sejauh satu kilometer dengan kondisi jalan datar, fase ini hasil eksperimen menunjukkan konsumsi energi rata-rata 30 Wh, untuk konsumsi jalan menanjak rata-rata 40 km/jam dan untuk data eksperimen fase kedua menggunakan metode eksperimen dengan parameter kecepatan 30–35 km konsumsi energi memiliki rata-rata 30 Wh, pada kecepatan 40–45 km/jam konsumsi energi memiliki rata-rata 28 Wh, dan 50–55 km/jam konsumsi energi rata-rata 27 Wh. Hasil uji coba menunjukkan pada kondisi jalan datar dan kecepatan semakin naik maka konsumsi energi akan semakin turun.

## Abstract

### Keywords:

continuously variable

transmission;

energy consumption;

electric motorbike

In this article the author conducts research related to energy consumption studies on electric motorbike vehicles (SEMOLI) made and developed by the author. The purpose of the energy consumption study is to determine the energy consumption of electric motorbike vehicles that have been made for further improvement and development. The method used is experimentation with the first phase testing on a straight flat road for one kilometer with flat road conditions, this phase of experimental results shows an average energy consumption of 30 Wh, for an average uphill road consumption of 40 km / h and for the second phase of experimental data using experimental methods with speed parameters 30 - 35 km energy consumption has an average of 30 Wh, at speeds of 40 - 45 km / h energy consumption has an average of 28 Wh, and 50-55 km / h average energy consumption of 27 Wh. The test results show that on flat road conditions and the increasing speed, the energy consumption will decrease.

\*Penulis korespondensi:

Nur Akhlis Sarihidaya Laksana

E-mail: akhlissl@pnc.ac.id

## 1. Pendahuluan

Baru – baru ini pengembangan teknologi dibidang industri otomotif semakin pesat. Industri otomotif pada umumnya mengembangkan kendaraan roda dua dan roda empat. Pengembangan teknologi pemindah daya ikut berubah sesuai dengan perkembangan. mesin berbahan bakar fosil merupakan yang umum digunakan sebagai penggerak kendaraan. seiring dengan perkembangan jaman mulai dikembangkan kendaraan listrik dengan penggerak motor listrik. kendaraan listrik sekarang ini menjadi salah satu kendaraan yang mulai diminati oleh masyarakat secara umum[1][2].

Kendaraan listrik mengurangi emisi karbon. Keuntungan dari penggunaan kendaraan listrik emisi karbon dioksida rendah, tidak bising, dan hemat konsumsi bahan bakar[1][3][4]. Perkembangan zaman memicu adanya perubahan kebutuhan utamanya untuk kendaraan. Kendaraan yang bebas emisi dan tidak bising menjadi kebutuhan masyarakat terkait dengan kendaraan. Kendaraan dengan penggerak motor listrik mulai banyak dikembangkan. Kendaraan listrik khususnya motor listrik mulai didesain untuk memenuhi kebutuhan[5]. Kendaraan listrik umumnya menggunakan sumber energi dari baterai. Kapasitas baterai kendaraan listrik sampai saat ini terbatas. Untuk kegiatan berkendara maka perlu mengetahui perkiraan konsumsi untuk membuat konsumsi energi. Payas [6] melakukan pemodelan matematik untuk konsumsi energi didasarkan pada profil kecepatan dan jarak yang ditempuh untuk memperkirakan konsumsi energi. Hasilnya menunjukkan antara aktual dan prediksi menunjukkan nilai yang hampir sama.

Pada riset yang dilakukan di bangkok oleh Ruangjirakit [5] melakukan studi konsumsi energi dan studi fisibilitas pada kendaraan listrik khususnya mobil. Fokus penelitian melakukan perbandingan metode *New European Driving Cycle* (NEDC) dan *Bangkok Driving Cycle* menunjukkan pada kecepatan rendah (5-35 km/jam) konsumsi energi cukup tinggi dan pada kecepatan 35 – 45 km/ jam, konsumsi energinya cukup rendah.

Kendaraan listrik yang sudah banyak dikembangkan diantaranya ada mobil dan sepeda motor. Perpindahan kecepatan pada kendaraan roda dua umumnya menggunakan jenis roda gigi, rantai-sprocket, dan puli-sabuk. Penggunaan sistem transmisi pada kendaraan mempunyai fungsi untuk meningkatkan torsi dan traksi dari kendaraan. Selain torsi dan traksi, sistem transmisi juga akan mempengaruhi konsumsi energi atau bahan bakar [7].

Transmisi jenis puli dan sabuk sering disebut sebagai CVT (*Continuously Variable Transmission*). Keuntungan dari sistem transmisi dengan CVT yaitu perubahan rasio transmisi yang terus menerus tanpa mengganggu torsi [8]. CVT yang digunakan sebagai pemindah daya secara kinematik tidak terpengaruh oleh getaran [9]. Efisien dalam penggunaan CVT dipengaruhi oleh fenomena pada sistem yaitu putaran dan slip sebagai karakteristik kinematik dan statis pada transmisi [10][11].

Sistem transmisi pada kendaraan listrik khususnya untuk kendaraan roda dua umumnya menggunakan model CVT (*Continuously Variable Transmission*). Pada artikel ini

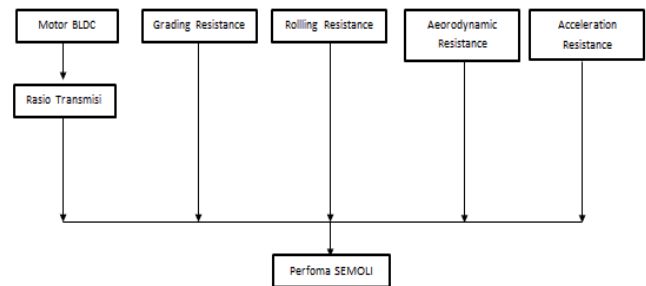
fokus pada konsumsi energi kendaraan sepeda motor listrik (SEMOLI).

## 2. Metode Penelitian

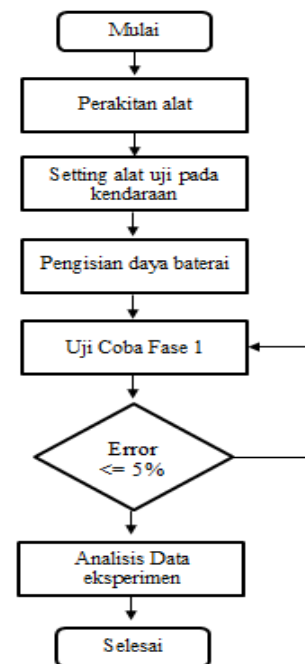
### 2.1 Metode Yang Diusulkan dan Pengujian

Untuk menggerakkan kendaraan yaitu SEMOLI sepanjang jalan, daya listrik dari kendaraan harus dapat menjalankan dan mempertahankan kecepatan kendaraan  $v(t)$ , bekerja melawan gravitasi di tanjakan dan mengatasi kerugian disipatif akibat gesekan gelinding dan hambatan angin [6][12]. Untuk bagan simulasi performa dari ditunjukkan pada Gambar 1.

Pada proses penelitian menggunakan metode pemodelan matematis untuk mengetahui respon sistem dan performa dari kendaraan terkait dengan kecepatan dan perubahan kecepatan. Pada Gambar 1. Ditunjukkan performa dari kendaraan dipengaruhi oleh adanya penggerak utama yaitu motor BLDC, *grading resistance*, *rolling resistance*, *aerodynamic resistance*, *acceleration resistance*. Pada Gambar 2 menunjukkan alur pengujian studi konsumsi energi untuk kendaraan SEMOLI.



Gambar 1. Alur Penelitian Untuk Simulasi



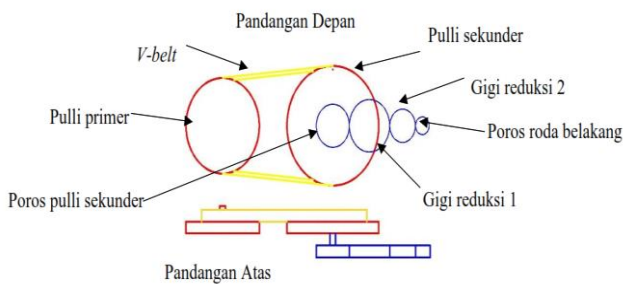
Gambar 2. Alur Pengujian

Studi konsumsi energi dilakukan dengan langkah persiapan dan setting alat pada kendaraan. Baterai kendaraan

dilakukan perawatan dan pengisian. Selanjutnya dilakukan uji coba untuk studi konsumsi energi.

### 2.2 Sistem Transmisi Sepeda Motor Listrik

Sepeda motor listrik yang dikembangkan menggunakan motor listrik BLDC (*Brushless DC*). Motor BLDC digunakan sebagai penggerak utama dari kendaraan [13]–[15]. Untuk SEMOLI menggunakan transmisi jenis puli dan sabuk yang umum disebut CVT Ditunjukkan Pada Gambar 3. Gambar 4 menunjukkan sepeda motor listrik dengan sistem pemindah daya menggunakan model CVT (*Continuously Variable Transmission*) dengan model sistem transmisi CVT kecepatan dapat berubah sesuai dengan kebutuhan torsi dan traksi dari kendaraan [16]. Penggerak utama dari sepeda motor listrik adalah motor BLDC. Penggerak utama motor listrik menggunakan motor listrik jenis BLDC.



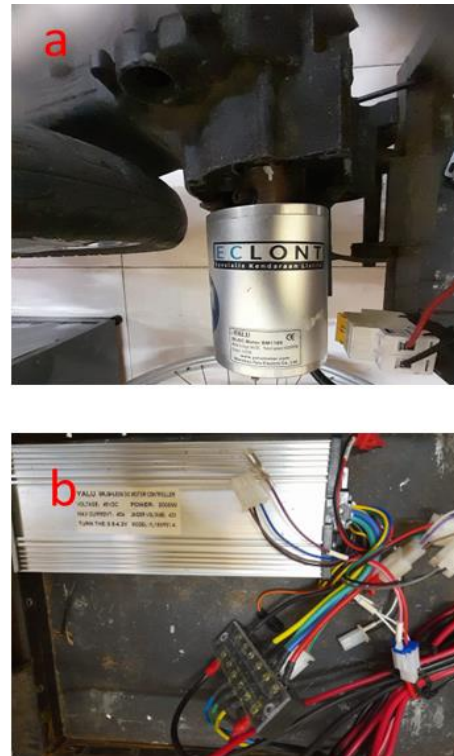
Gambar 3. Sistem Transmisi SEMOLI



Gambar 4. Kendaraan SEMOLI

Pada Gambar 5.a menunjukkan motor listrik BLDC yang digunakan sebagai penggerak utama sepeda motor listrik, untuk spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1. Pada Gambar 5.b menunjukkan *controler* motor listrik BLDC yang digunakan sebagai penggerak utama sepeda motor listrik, untuk spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Pemodelan motor BLDC dapat dikembangkan dengan cara yang sama seperti mesin sinkron tiga fasa. Karena rotornya dipasang dengan magnet permanen, beberapa karakteristik dinamisnya berbeda. Hubungan fluks dari rotor bergantung pada magnet. Oleh karena itu, saturasi hubungan fluks magnet merupakan ciri khas motor jenis ini.



Gambar 5. (a) Motor BLDC dan (b) Kontroler BLDC

Tabel 1. Spesifikasi Motor Listrik BLDC

No	Spesifikasi	Nilai	Satuan
1	Daya	2000	watt
2	Tegangan	48	Volt
3	Kecepatan	4000	RPM
4	Torsi	6,9	Nm

Tabel 2. Spesifikasi *Controler* Motor Listrik BLDC

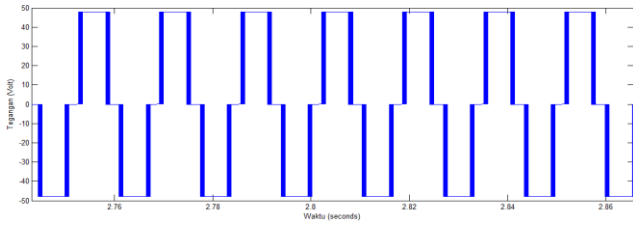
No	Spesifikasi	Nilai	Satuan
1	Daya	2000	watt
2	Tegangan	48	Volt
3	Kecepatan	4000	RPM
4	Torsi	6,9	Nm

Seperti motor tiga fasa pada umumnya, satu struktur motor BLDC disuplai oleh sumber tegangan tiga fasa [13], [17],[18]. Persamaan untuk BLDC ditunjukkan dengan matrik pada persamaan (1).

Motor dan Model Pembebanan

$$\begin{bmatrix} v_{ab} \\ v_{bc} \\ v_{ca} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & -R & 0 \\ 0 & R & -R \\ R & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (L-M) & (M-L) & 0 \\ 0 & (L-M) & 0 \\ 0 & (M-L) & (L-M) \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a - e_b \\ e_b - e_c \\ e_c - e_a \end{bmatrix} K_e \omega_r \quad (1)$$

Dimana  $L$  adalah stator,  $M$  adalah induksi,  $R$  adalah hambatan, dan  $e_{a,b,c}$  adalah *back EMF*. Untuk gambaran profile tegangan seperti pada Gambar 6.



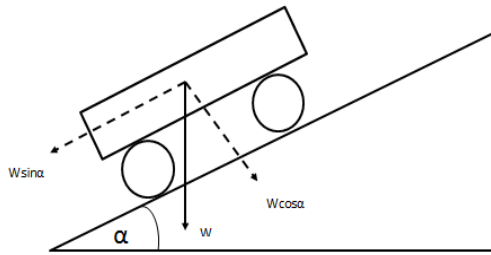
Gambar 6. Profil tegangan

### 2.3 Grading Resistance

Grading Resistance adalah gaya gravitasi yang bekerja pada kendaraan. Gaya ini mungkin tidak tegak lurus terhadap permukaan jalan raya, terutama dalam situasi ketika ada tanjakan [6][13].

$$R_g = wgsin\alpha \tag{2}$$

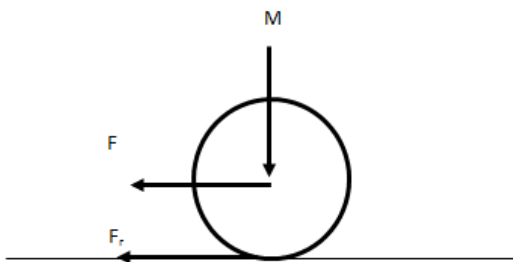
Dimana  $R_g$  adalah Grading Resistance (N),  $w$  adalah berat kendaraan (kg), dan  $g$  adalah percepatan gravitasi.  $\alpha$  adalah sudut kemiringan jalan, dan secara lengkap penggambarannya diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grade resistance

### 2.4 Rolling Resistance

Roda yang berputar pada permukaan jalan menghasilkan gaya longitudinal disebut *rolling resistance*. Gaya ini berlawanan dengan arah gerak, seperti diperlihatkan Gambar 8.



Gambar 8. Rolling resistance

Untuk persamaan yang digunakan adalah persamaan (3) dan persamaan (4).

$$F = mg \tag{3}$$

$$F_r = \mu_r mg \tag{4}$$

Pada Gambar 8 menunjukkan  $F$  adalah gaya (N) yang bekerja pada saat roda berputar,  $m$  merupakan massa dari beban (kg),  $g$  merupakan percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ). Parameter  $\mu_r$  adalah *rolling friction coefficient*.  $\mu_r$  nilainya

tidak konstan dan yang utama mempertimbangkan kecepatan roda, kenaikan tekanan, *sideslip*, sudut camber.

### 2.5 Aerodynamic Resistance

Aerodynamic resistance adalah gaya yang dihasilkan oleh aliran udara turbulen di sekitar badan kendaraan. Turbulensi ini bergantung pada bentuk kendaraan, serta gesekan udara yang melewati permukaan kendaraan. Sebagian kecil hambatan ini berasal dari aliran udara melalui komponen kendaraan, seperti ventilasi interior.

$$R_a = \frac{\rho}{2} AC_d V^2 \tag{5}$$

Pada persamaan (5) Dimana  $\rho$  adalah massa jenis dari udara ( $kg/m^3$ ),  $A$  luas area yang terkena ( $m^2$ ),  $C_d$  (koefisien drag),  $v$  adalah kecepatan kendaraan (km/jam). Koefisien drag dari kendaraan tergantung dari jenis dan tipe kendaraan.

### 2.6 Konsumsi energi

Ketika kendaraan jalan dengan jarak tertentu dan kita tahu tanga yang dikeluarkan dari jarak tertentu, kita dapat menghitung konsumsi energi. Ketika jalan datar maka sudut theta sama dengan 0, yang akan mempengaruhi sin theta dan cos theta sebagai sudut kondisi jalan.

Pada persamaan (6) merupakan efisiensi pemindah daya dalam kondisi percepatan dan persamaan (7) merupakan kondisi dimana kendaraan mengalami perlambatan. Pada persamaan (8) merupakan energi konsumsi.

$$Fa(t) = M\eta_1 [a(t) + Dv^2(t) + g \cos\theta(t)(c_1v(t) + c_2) + g \sin\theta(t)] \tag{6}$$

$$Fd(t) = M\eta_2 [a(t) + Dv^2(t) + g \cos\theta(t)(c_1v(t) + c_2) + g \sin\theta(t)] \tag{7}$$

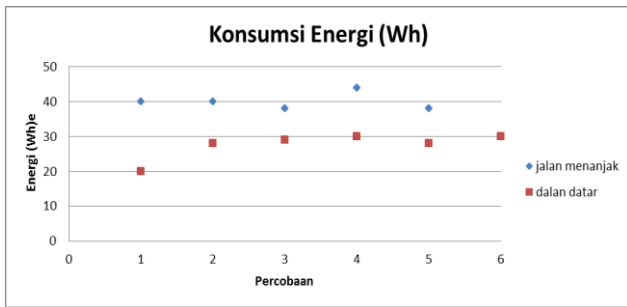
$$E = apd\rho + Dd\rho(u_p^2 + apd\rho) + \frac{2\beta}{3\alpha}(u_p^2 + 2apd\rho)^3 + \gamma d\rho \tag{8}$$

## 3. Hasil dan Analisis

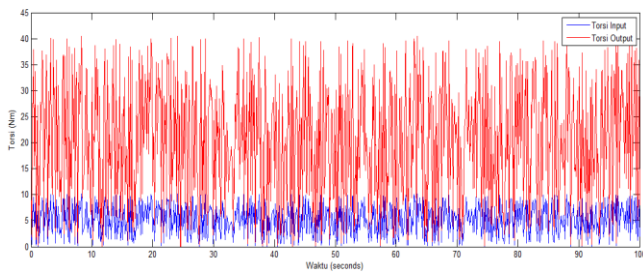
Hasil uji coba atau eksperimen pada kondisi jalan menanjak dengan sudut kemiringan jalan  $30^\circ$  kecepatan maksimal dari kendaraan menunjukkan nilai 40 km/jam. Kecepatan yang dari uji coba dipengaruhi oleh tingkat kemiringan jalan, kondisi motor listrik dan rasio dari pemindah daya. pada model simulasi menunjukkan nilai kecepatan yang lebih rendah dari eksperimen yang menunjukkan nilai 25 km/jam. Pada kasus pertama untuk simulasi menanjak pada kemiringan  $30^\circ$  yang ditunjukkan pada Gambar 11 b. Torsi output pada poros motor listrik untuk uji coba menunjukkan 9 Nm yang ditunjukkan dengan warna merah.

Hasil dari simulasi menunjukkan nilai torsi maksimal 10 Nm dengan asumsi dalam kondisi jalan menanjak. Pada kondisi yang kedua uji coba dilakukan pada jalan raya di daerah Cilacap utara jalan Lingkar Timur, kabupaten Cilacap ditunjukkan pada Gambar 11 a. Jarak uji coba kendaraan listrik sejauh 1 kilometer. Hasil menunjukkan kecepatan maksimal pada *speedometer* 50 km/jam. Pada Gambar 12 menunjukkan menunjukkan hasil uji coba dan simulasi. Dari hasil simulasi menunjukkan kecepatan bisa mencapai 60 km per jam. untuk uji coba di jalan menunjukkan kecepatan 50 km

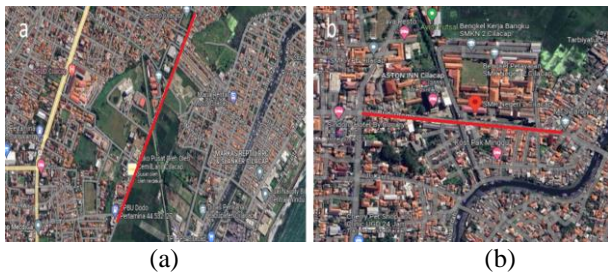
per jam ada perbedaan 2 % antara hasil percobaan dan simulasi.



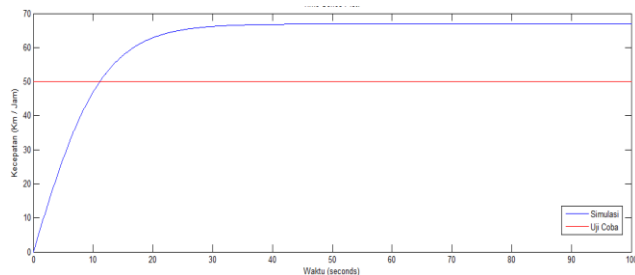
Gambar 9. Perbandingan Konsumsi Energi jalan datar dan menanjak



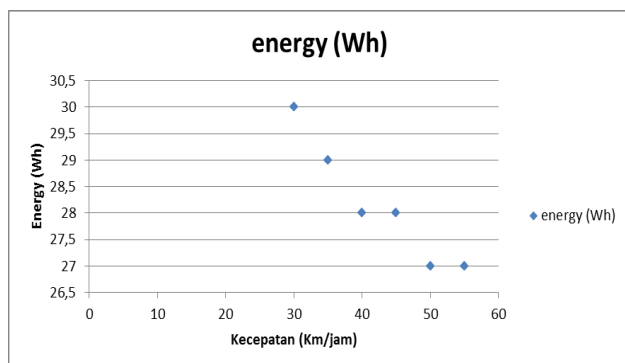
Gambar 10. Torsi input dan output CVT



Gambar 11 a. Peta Tempat Uji Coba jalan Datar dan 11.b Uji coba Jalan Menanjak

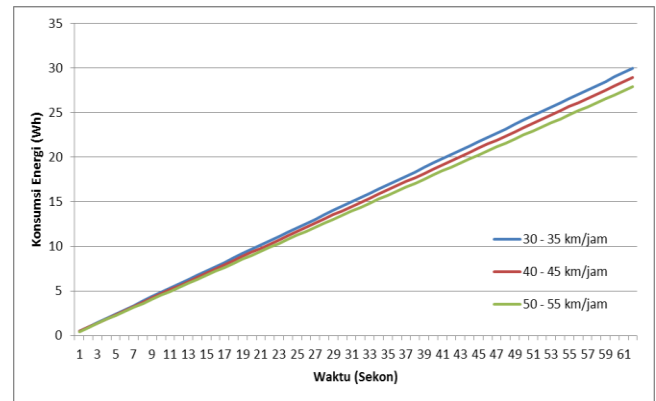


Gambar 12 . Grafik Kecepatan Kendaraan Pada Jalan Datar



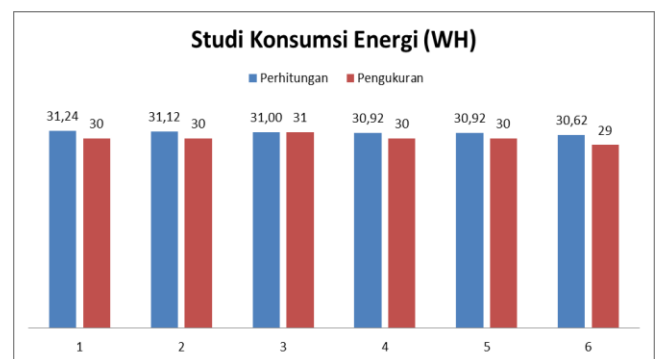
Gambar 13. Grafik Hasil Pengujian Konsumsi Energi

Pada Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan hasil pengujian konsumsi energi dengan mempertimbangkan kecepatan dan dengan kondisi medan mendatar. Dari hasil uji coba menunjukkan menunjukkan profil konsumsi energi kendaraan listrik semakin naik kecepatan konsumsi energinya semakin kecil. Hasil penelitian sama halnya dengan penelitian [5] dimana kecepatan kendaraan semakin naik maka konsumsinya akan semakin kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14 . Grafik Konsumsi Energi dengan Perbandingan Kecepatan

Pada Gambar 15 menunjukkan metode hasil kajian konsumsi energi dengan metode pengukuran dengan menggunakan alat analisis untuk mengukur tegangan dan arus listrik dan langsung mengukur konsumsi energi. Untuk grafik bar warna biru dengan metode pengukuran setelah mendapatkan data berupa tegangan dan arus listrik selanjutnya dilakukan perhitungan matematis untuk mendapatkan energi konsumsinya berupa *watthour*. Pada metode pengukuran menggunakan wattmeter langsung menunjukkan konsumsi energi.



Gambar 15 . Grafik Konsumsi Energi antara Perhitungan dan Pengukuran

Dari Tabel 3 menunjukkan lebih detail perbandingan dan *error* antara hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan perbedaan sebesar 4 % untuk uji coba dan perhitungan yang pertama. Untuk percobaan kedua perbedaan sebesar 4 %, untuk percobaan ketiga tidak menunjukkan adanya perbedaan. Percobaan keempat dan kelima sebesar 3 % dan ke enam 5 %. Hasil dari pengukuran tidak beda jauh dari hasil perhitungan. Untuk parameter perhitungan dan pengukuran sendiri yaitu kecepatan maksimal kendaraan dan

jalan lurus datar. Tujuan tersebut untuk memastikan *error* antara pengukuran dan perhitungan tidak lebih dari 5 %.

Tabel 3. Konsumsi Energi

Uji Coba	Perhitungan (Wh)	Pengukuran (Wh)	Error (%)
1	31,24	30	4
2	31,12	30	4
3	31,0	31	0
4	30,92	30	3
5	30,92	30	3
6	30,62	29	5

#### 4. Kesimpulan

Studi konsumsi kendaraan digunakan untuk mengetahui profil konsumsi energi dari satu kendaraan. Fokus pada penelitian adalah Sepeda Motor Listrik (SEMOLI). Dari hasil studi konsumsi energi ditinjau dengan medan jalan nya menunjukkan pada kondisi menanjak dengan inklinasi 30° menunjukkan 37,8 Wh dan jalan datarsebear 28,4 Wh. pada parameter kecepatan dengan jalan lurus menunjukkan saat kecepatan 30 sampai 35 km/jam menunjukkan nilai konsumsi rata-rata sebesar 30, 9 Wh, pada kecepatan 40 sampai 45 km/jam konsumsi rata rata 29,8 Wh. pada kecepatan 50 sampai 55 km/jam rata – rata konsumsi energi 28,8 Wh.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Budaya, Riset dan Teknologi melalui Direktorat Riset, Teknologi dan Pengabdian Masyarakat pada skema pembiayaan penelitian serta P3M yang telah membantu dalam proses penelitian.

#### Daftar Pustaka

- [1] C. M. Usharani and B. A. Sujathakumari, "Routing an electric vehicle for optimum energy consumption with EE-MAODV Using NS3," *2019 Int. Conf. Intell. Comput. Control Syst. ICCS 2019*, no. Iccs, pp. 895–901, 2019, doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065557.
- [2] S. El Amrani, M. Chennani, and D. Belkhat, "Comparative Study of Electric Vehicle Energy Consumption between Trunk Roads and Highways," *Proc. 2019 7th Int. Renew. Sustain. Energy Conf. IRSEC 2019*, pp. 0–6, 2019, doi: 10.1109/IRSEC48032.2019.9078169.
- [3] D. Drungilas *et al.*, "Deep reinforcement learning based optimization of automated guided vehicle time and energy consumption in a container terminal," *Alexandria Eng. J.*, vol. 67, pp. 397–407, 2023, doi: 10.1016/j.aej.2022.12.057.
- [4] R. Barrero, X. Tackoen, and J. Van Mierlo, "Quasi-static simulation method for evaluation of energy consumption in hybrid light rail vehicles," *2008 IEEE Veh. Power Propuls. Conf. VPPC 2008*, 2008, doi: 10.1109/VPPC.2008.4677763.
- [5] K. Ruangjirakit, Y. Laonual, A. Charadsuksawat, V. Kiattikomol, and S. Sridan, "A Study of Grid-to-Wheel Energy Consumption of Electric Vehicle on Real Road Tests in Bangkok," *ITEC Asia-Pacific 2018 - 2018 IEEE Transp. Electr. Conf. Expo, Asia-Pacific E-Mobility A Journey from Now Beyond*, vol. 2015, no. Eep 2015, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/ITEC-AP.2018.8432596.
- [6] P. Rajan and C. V. Ravishankar, "The phase abstraction for estimating energy consumption and travel times for electric vehicle route planning," *GIS Proc. ACM Int. Symp. Adv. Geogr. Inf. Syst.*, pp. 556–559, 2019, doi: 10.1145/3347146.3359383.
- [7] L. Guo, H. Xu, J. Zou, H. Jie, and G. Zheng, "Torque Distribution Strategy of Four-Wheel Independent Drive Electric Vehicle Based on Optimal Energy Consumption," *2020 IEEE 3rd Int. Conf. Electron. Technol. ICET 2020*, pp. 252–256, 2020, doi: 10.1109/ICET49382.2020.9119677.
- [8] J. Wurm, M. Fitl, M. Gumpesberger, E. Väisänen, and C. Hochenauer, "Advanced heat transfer analysis of continuously variable transmissions (CVT)," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 114, pp. 545–553, 2017, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.12.007.
- [9] F. J. Morales and F. G. Benitez, "Considerations on the operation of inertial continuous variable transmissions," *Mech. Mach. Theory*, vol. 144, p. 103672, 2020, doi: 10.1016/j.mechmachtheory.2019.103672.
- [10] M. Tomaselli, P. Lino, and G. Carbone, "Modelling and efficiency formulation of a planetary traction drive CVT," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 5, pp. 411–416, 2019, doi: 10.1016/j.ifacol.2019.09.066.
- [11] M. Gao, J. Hu, and Z. Peng, "Study on Optimization for Transmission System of Electric Drive Tracked Vehicles," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 2971–2976, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.707.
- [12] C. Fiori *et al.*, "The effect of electrified mobility on the relationship between traffic conditions and energy consumption," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 67, pp. 275–290, 2019, doi: 10.1016/j.trd.2018.11.018.
- [13] O. Ammari, K. El Majdoub, and F. Giri, "Modeling and control of a half electric vehicle including an inverter, an in-wheel BLDC motor and Pacejka's tire model," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 12, pp. 604–609, 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.07.378.
- [14] R. Baz, K. El Majdoub, F. Giri, and A. Taouni, "Self-tuning fuzzy PID speed controller for quarter electric vehicle driven by In-wheel BLDC motor and Pacejka's tire model," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 55, no. 12, pp. 598–603, 2022, doi: 10.1016/j.ifacol.2022.07.377.
- [15] S. Gupte, "Experimental analysis and feasibility study of 1400 CC diesel engine car converted into hybrid electric vehicle by using BLDC Hub Motors," *Energy Procedia*, vol. 54, pp. 177–184, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.261.
- [16] J. Ruan, N. Zhang, and P. Walker, "Comparing of single reduction and CVT based transmissions on battery electric vehicle," *2015 IFToMM World Congr. Proceedings, IFToMM 2015*, no. October, 2015, doi: 10.6567/IFToMM.14TH.WC.OS17.010.
- [17] D. Kumpanya, S. Thaipamat, and D. Puangdownreong, "Parameter Identification of BLDC Motor Model Via Metaheuristic Optimization Techniques," *Procedia Manuf.*, vol. 4, no. Iess, pp. 322–327, 2015, doi: 10.1016/j.promfg.2015.11.047.
- [18] P. Ubare, D. Ingole, and D. N. Sonawane, "Nonlinear model predictive control of BLDC motor with state estimation," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, no. 6, pp. 107–112, 2021, doi: 10.1016/j.ifacol.2021.08.531.