

Analisis Karakteristik Keluaran Generator DC Berbasis Putaran Roda pada Sistem *Energy* *Harvesting* Troli Bandara

Muhammad Iqbal Al Hafidz, Fithri Muliawati, Sarah Chairul Annisa

Teknik Elektro

Fakultas Teknik & Sains

Universitas Ibn Khaldun Bogor

Email : Muhammadiqbalalhafidz@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan *energy harvesting* menjadi salah satu alternatif untuk menghasilkan energi listrik dari energi mekanik yang tersedia pada lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik keluaran generator DC yang memanfaatkan putaran roda sebagai sumber energi listrik pada sistem *energy harvesting* troli bandara. Generator DC dihubungkan dengan roda troli menggunakan sistem transmisi pulley sehingga putaran roda dapat dikonversi menjadi energi listrik. Pengujian dilakukan pada tiga kondisi beban, yaitu tanpa beban, beban 7 kg, dan beban 20 kg, dengan variasi jarak tempuh 18,6 m, 37,2 m, dan 55,8 m. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan, arus, daya, dan energi listrik yang dihasilkan generator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keluaran generator dipengaruhi oleh kondisi beban, kecepatan dorongan, dan jarak tempuh. Pada kondisi berbeban, perubahan jarak tempuh tidak selalu menghasilkan peningkatan energi. Pada beban 20 kg, energi rata-rata sebesar 1,871 J diperoleh pada jarak 18,6 m, sedangkan pada jarak 37,2 m energi yang dihasilkan sebesar 1,150 J. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik keluaran generator tidak hanya dipengaruhi oleh jarak tempuh, tetapi juga oleh kecepatan dorongan dan kondisi putaran generator selama pengujian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem *energy harvesting* berbasis putaran roda mampu menghasilkan energi listrik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber daya alternatif untuk mendukung kebutuhan perangkat elektronik berdaya rendah pada troli bandara.

Kata kunci— *Energy harvesting*, generator DC, troli bandara, karakteristik keluaran, energi listrik.

ABSTRACT

Energy harvesting is an alternative approach for generating electrical energy from mechanical energy available in the environment. This study aims to analyze the output characteristics of a DC generator that utilizes wheel rotation as an electrical energy source in an energy harvesting system for an airport trolley. The DC generator is connected to the trolley wheel using a pulley transmission

system, allowing wheel rotation to be converted into electrical energy. Testing was conducted under three load conditions, namely no load, a 7 kg load, and a 20 kg load, with travel distance variations of 18.6 m, 37.2 m, and 55.8 m. The analyzed parameters included voltage, current, power, and electrical energy generated by the generator. The results showed that the generator output was influenced by the load condition, pushing speed, and travel distance. Under loaded conditions, an increase in travel distance did not always result in higher energy generation. At a 20 kg load, an average energy of 1.871 J was obtained at a distance of 18.6 m, while 1.150 J was generated at a distance of 37.2 m. This difference indicates that the generator output characteristics are influenced not only by travel distance but also by pushing speed and generator rotational conditions during testing. The results demonstrate that the wheel-rotation-based energy harvesting system is capable of generating electrical energy with potential for use as an alternative power source to support low-power electronic devices on airport trolleys.

Keywords— Energy harvesting, DC generator, airport trolley, output characteristics, electrical energy.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada era Revolusi Industri 4.0 mendorong pemanfaatan teknologi yang lebih efisien dan berkelanjutan pada berbagai sektor, termasuk transportasi. Salah satu pendekatan yang berkembang adalah *energy harvesting*, yaitu proses pemanfaatan energi yang tersedia dari lingkungan untuk dikonversi menjadi energi listrik. Pada sektor transportasi, energi mekanik yang berasal dari pergerakan kendaraan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik tambahan [1], [2]. Pemanfaatan energi tersebut dapat menjadi alternatif untuk mendukung kebutuhan energi pada perangkat elektronik berdaya rendah. Salah satu sumber energi mekanik yang dapat dimanfaatkan adalah gerakan rotasi. Energi mekanik dari putaran dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan Dinamo DC melalui prinsip induksi elektromagnetik [3], [4]. Penerapan sistem *energy harvesting* dari energi mekanik telah dikembangkan dengan berbagai metode untuk memperoleh energi listrik dari sumber mekanis yang tersedia [5], [6]. Pada sistem berbasis putaran roda, energi mekanik yang dihasilkan selama pergerakan dapat diteruskan menuju Dinamo sehingga menghasilkan keluaran listrik.

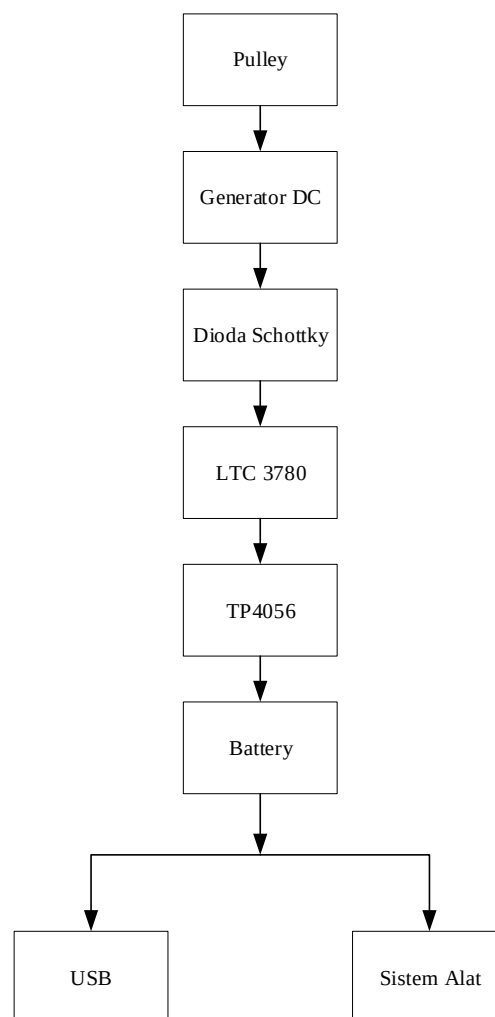
Kinerja sistem *energy harvesting* dipengaruhi oleh kondisi mekanik dan sistem konversi yang digunakan. Kecepatan putaran, sistem transmisi, rasio *pulley*, serta kondisi pembebanan dapat memengaruhi karakteristik keluaran listrik yang dihasilkan [7], [8]. Konfigurasi sistem transmisi yang tepat dapat meningkatkan pemanfaatan energi mekanik menjadi energi listrik. Selain itu, karakteristik keluaran seperti tegangan dan arus menjadi parameter penting dalam menentukan daya listrik yang dihasilkan oleh sistem [9], [10]. Penelitian ini memanfaatkan energi mekanik dari putaran roda troli yang dihasilkan akibat dorongan pengguna sebagai sumber *energy harvesting*. Energi mekanik tersebut dikonversi menjadi energi listrik menggunakan Dinamo DC. Pengujian dilakukan dengan variasi beban dan jarak tempuh untuk mengetahui pengaruh kedua parameter tersebut terhadap tegangan, arus, daya, dan energi listrik yang dihasilkan. Tujuan penelitian ini adalah

menganalisis karakteristik keluaran sistem *energy harvesting* berbasis putaran roda serta mengetahui potensi energi listrik yang dapat dihasilkan sebagai sumber energi tambahan.

II. METODE PENELITIAN

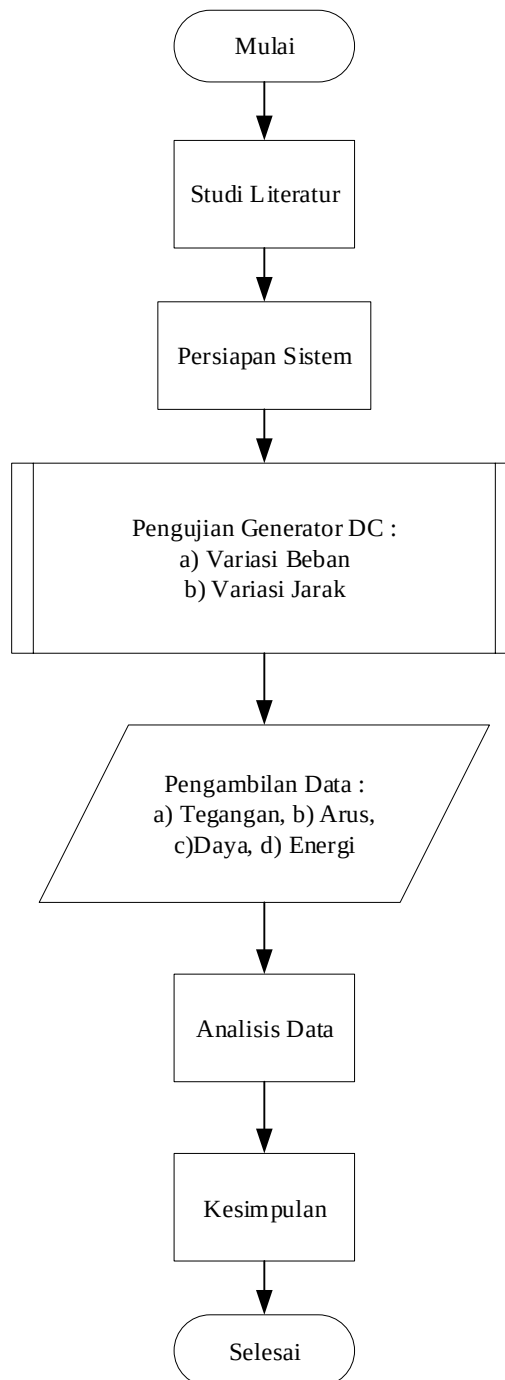
A. Diagram Blok Sistem

Pada penelitian ini dikembangkan sistem *energy harvesting* yang memanfaatkan putaran roda troli sebagai sumber energi listrik menggunakan generator DC. Putaran roda diteruskan melalui sistem pulley menuju generator DC sehingga menghasilkan energi listrik berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan keluaran generator selanjutnya melewati dioda Schottky sebagai proteksi arus balik, kemudian distabilkan menggunakan modul LTC3780 sebelum disimpan pada baterai melalui modul TP4056. Energi yang tersimpan dimanfaatkan sebagai sumber daya bagi sistem monitoring dan keluaran USB. Diagram blok sistem penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 1 Diagram Blok Sistem

B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2 Diagram alir penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur mengenai teknologi *energy harvesting* berbasis generator DC. Selanjutnya dilakukan persiapan sistem yang meliputi perakitan perangkat keras dan pemeriksaan fungsi setiap komponen. Tahap berikutnya adalah pengujian generator DC dengan variasi beban dan variasi jarak tempuh. Data hasil pengujian berupa tegangan, arus, daya, dan energi

listrik dianalisis untuk mengetahui karakteristik keluaran generator DC. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 2.

C. Prototipe Sistem

Prototipe yang dikembangkan berupa troli pintar yang menerapkan sistem *energy harvesting* berbasis generator DC. Generator dihubungkan dengan roda troli menggunakan sistem pulley sehingga putaran roda dapat dikonversi menjadi energi listrik. Sistem dilengkapi modul pengatur tegangan, modul pengisian baterai, baterai penyimpanan, dan sistem monitoring. Prototipe penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Prototipe Troli

D. Pengujian Karakteristik Generator DC

Pengujian dilakukan untuk menganalisis karakteristik keluaran generator DC pada sistem *energy harvesting* troli. Pengujian menggunakan tiga variasi beban, yaitu tanpa beban, 7 kg, dan 20 kg. Selain itu, dilakukan variasi jarak tempuh sebesar 18,6 m, 37,2 m, dan 55,8 m. Pemilihan jarak tersebut didasarkan pada panjang lintasan laboratorium sebesar 18,6 m sehingga pengujian dilakukan sebanyak satu, dua, dan tiga kali lintasan. Namun, pada pengujian dengan beban 7 kg dan 20 kg, pengujian hanya dilakukan pada jarak 18,6 m dan 37,2 m, sedangkan jarak 55,8 m hanya digunakan pada kondisi tanpa beban.

Pada setiap pengujian dilakukan pengukuran tegangan dan arus keluaran generator DC menggunakan multimeter digital. Nilai daya dihitung menggunakan Persamaan (1), sedangkan energi listrik dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$P = V \times I \dots (1)$$

$$E = P \times t \dots (2)$$

dengan:

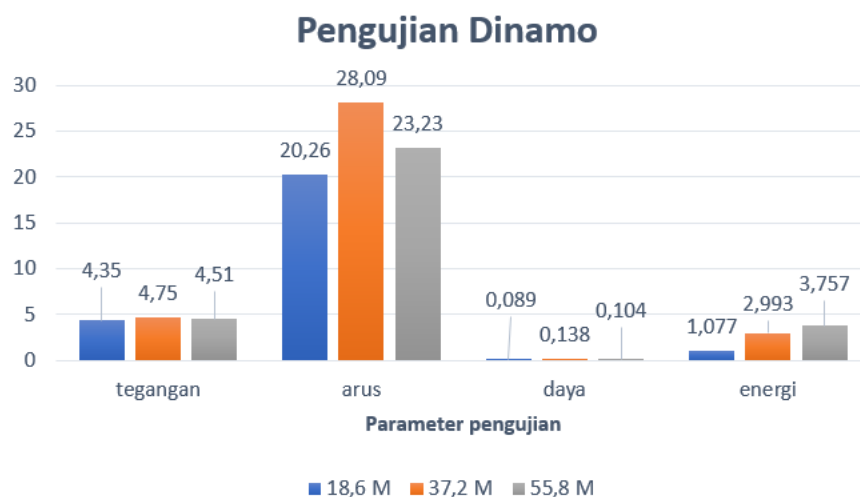
- P = daya (W)
- V = tegangan (V)
- I = arus (mA)
- E = energi (J)
- T = waktu (s)

BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Karakteristik Generator DC Tanpa Beban

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik keluaran Generator DC pada kondisi troli tanpa beban dengan variasi jarak tempuh 18,6 m, 37,2 m, dan 55,8 m. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, dan energi listrik.

Berdasarkan Gambar 4, pada jarak 18,6 m diperoleh tegangan 4,35 V, arus 20,26 mA, daya 0,089 W, dan energi 1,077 J. Pada jarak 37,2 m diperoleh 4,75 V, 28,09 mA, 0,138 W, dan 2,993 J. Sementara pada jarak 55,8 m diperoleh 4,51 V, 23,23 mA, 0,104 W, dan 3,757 J.



Gambar 4 Pengujian Karakteristik Dinamo tanpa beban

Tabel 1 Pengukuran keluaran Dinamo Dengan jarak 18,6 M

No	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)	Energy (Joule)
----	-----------	-----------------	--------------	-----------	----------	----------------

1.	20,99 s	1,77 m/s	5,02 V	43,88 mA	0,220 W	4,617 J
2.	20,68 s	1,80 m/s	4,60 V	22,53 mA	0,103 W	2,130 J
3.	21,77 s	1,70 m/s	4,87 V	33,43 mA	0,162 W	3,526 J
4.	22,72 s	1,63 m/s	4,74 V	21,63 mA	0,102 W	2,317 J
5.	22,85 s	1,62 m/s	4,53 V	23,03 mA	0,104 W	2,376 J
Rata- rata	21,80 s	1,70 m/s	4,75 v	28,09 mA	0,138 W	2,993 J

Tabel 2 Pengukuran keluaran Dinamo Dengan Jarak 37,2 M

No	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)	Energy (Joule)
1.	33,54 s	1,66 m/s	4,73 V	23,43 mA	0,110 W	3,690 J
2.	35,78 s	1,55 m/s	4,70 V	23,42 mA	0,110 W	3,935 J
3.	35,27 s	1,58 m/s	4,72 V	23,48 mA	0,110 W	3,880 J
4.	36,27 s	1,53 m/s	4,27 V	23,42 mA	0,100 W	3,627 J
5.	39,76 s	1,40 m/s	4,12 V	22,41 mA	0,092 W	3,657 J
Rata-rata	36,12 s	1,54 m/s	4,51 V	23,23 mA	0,104 W	3,757 J

No	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)	Energy (Joule)
1.	15,56 s	1,19 m/s	3,87 V	14, 48 mA	0,056 W	0,871 J
2.	11,20 s	1,66 m/s	4,47 V	23,07 mA	0,103 W	1,153 J
3.	11,90 s	1,56 m/s	4,47 V	20,47 mA	0,091 W	1,082 J
4.	11,78 s	1,57 m/s	4,48 V	20,18 mA	0,090 W	1,071 J
5.	11,73 s	1,58 m/s	4,48 V	23,16 mA	0,103 W	1,210 J
Rata – rata	12,43 s	1,51 m/s	4,35 V	20,26 mA	0,089W	1.077 J

Tabel 3 Pengukuran keluaran Dinamo Dengan Jarak 55,8 M

Hasil tersebut menunjukkan bahwa tegangan, arus, dan daya mengalami fluktuasi pada setiap jarak tempuh. Energi tertinggi diperoleh pada jarak 55,8 m sebesar 3,757 J, karena generator beroperasi dalam waktu yang lebih lama. Fluktuasi keluaran dipengaruhi oleh perubahan kecepatan dorongan troli selama pengujian.

B. Pengujian Karakteristik Generator DC Berbeban Troli

Pengujian berbeban dilakukan menggunakan beban 7 kg dan 20 kg dengan variasi jarak tempuh 18,6 m dan 37,2 m. Pengujian bertujuan mengetahui perubahan keluaran Generator DC ketika troli membawa beban.

Tabel 4 Pengukuran Keluaran Dinamo Berbeban 7 Kg Jarak 18,6 M

No	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)	Energy (Joule)
----	-----------	-----------------	--------------	-----------	----------	----------------

1.	14,23 s	1,30 m/s	4,49 V	15,29 mA	0,068 W	0,967 J
2.	12,36 s	1,50 m/s	4,39 V	15,01 mA	0,065 W	0,803 J
3.	11,33 s	1,64 m/s	4,23 V	14,23 mA	0,060 W	0,680 J
4.	11,45 s	1,62 m/s	4,40 V	13,03 mA	0,057 W	0,652 J
5.	13,01 s	1,42 m/s	4,38 V	10,19 mA	0,044 W	0,572 J
Rata-rata	12,48 s	1,49 m/s	4,37 V	13,55 mA	0,058 W	0,734 J

Tabel 5 Pengukuran Keluaran Dinamo berbeban 7 Kg Dengan Jarak 37,2 M

No	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)	Energy (Joule)
1.	11,67 s	1,59 m/s	4,16 V	13,34 mA	0,050 W	0,583 J
2.	11,45 s	1,62 m/s	4,46 V	14,70 mA	0,065 W	0,744 J
3.	11,39 s	1,63 m/s	4,45 V	18,25 mA	0,081 W	0,922 J
4.	12,02 s	1,54 m/s	4,22 V	16,22 mA	0,068 W	0,817 J
5.	10,86 s	1,71 m/s	4,48 V	23,12 mA	0,103 W	1,118 J
Rata-rata	11,47 s	1,61 m/s	4,35 V	17,12 mA	0,073 W	0,836 J

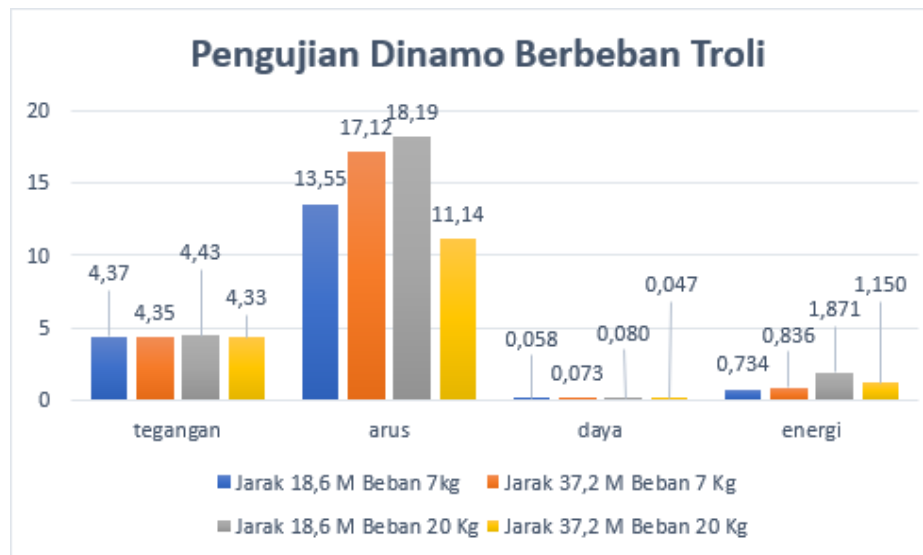
Tabel 6 Pengukuran Keluaran Dinamo Berbeban 20 Kg Dengan Jarak 18,6 M

No	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)	Energy (Joule)
1.	22,49 s	1,65 m/s	4,65 V	21,47 mA	0,100 W	2,250 J
2.	24,77 s	1,50 m/s	4,45 V	22,10 mA	0,098 W	2,247 J
3.	22,89 s	1,62 m/s	4,20 V	17,2 mA	0,072 W	1,650 J
4.	23,50 s	1,58 m/s	4,43 V	15,89 mA	0,070 W	1,645 J
5.	24,86 s	1,49 m/s	4,42 V	14,32 mA	0,063 W	1,566 J
Rata-rata	23,70 s	1,56 m/s	4,43 V	18,19 mA	0,080 W	1,871 J

Tabel 7 Pengukuran Keluaran Dinamo Berbeban 20 Kg Dengan Jarak 37,2 M

No	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)	Energy (Joule)
1.	23,98 s	1,55 m/s	4,38 V	11,23 mA	0,049 W	1,175 J
2.	24,56 s	1,51 m/s	4,28 V	10,57 mA	0,045 W	1,107 J
3.	24,17 s	1,53 m/s	4,29 V	11,76 mA	0,050 W	1,208 J
4.	25,20 s	1,47 m/s	4,37 V	11,19 mA	0,048 W	1,210 J

5.	24,51 s	1,51 m/s	4,34 V	10,99 mA	0,043 W	1,053 J
Rata-rata	24,49 s	1,51 m/s	4,33 V	11,14 mA	0,047 W	1,150 J



Gambar 5. Penguian Karakteristik Dinamo berbeban troli

Berdasarkan Gambar 5, pada beban 7 kg dan jarak 18,6 m diperoleh tegangan 4,37 V, arus 13,55 mA, daya 0,058 W, dan energi 0,734 J. Pada jarak 37,2 m diperoleh 4,35 V, 17,12 mA, 0,073 W, dan 0,836 J. Pada beban 20 kg dan jarak 18,6 m diperoleh 4,43 V, 18,19 mA, 0,080 W, dan 1,871 J, sedangkan pada jarak 37,2 m diperoleh 4,33 V, 11,14 mA, 0,047 W, dan 1,150 J. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan jarak tempuh tidak selalu menghasilkan peningkatan energi. Pada beban 7 kg energi meningkat dari 0,734 J menjadi 0,836 J, sedangkan pada beban 20 kg menurun dari 1,871 J menjadi 1,150 J. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kondisi pergerakan troli, terutama kecepatan dorongan dan kestabilan putaran Generator DC.

IV.KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem *energy harvesting* berbasis putaran roda, dapat disimpulkan bahwa Dinamo DC mampu mengubah energi mekanik dari putaran roda troli menjadi energi listrik pada seluruh kondisi pengujian. Pada kondisi tanpa beban, pengujian dilakukan pada jarak 18,6 m, 37,2 m, dan 55,8 m, dengan hasil terbaik pada jarak 55,8 m berupa tegangan rata-rata 4,51 V, arus 23,23 mA, daya 0,104 W, dan energi 3,757 J. Pada pengujian berbeban 7 kg dan 20 kg yang dilakukan pada jarak 18,6 m dan 37,2 m, diperoleh hasil bahwa perubahan beban dan jarak tempuh memengaruhi keluaran energi listrik. Pada beban 7 kg, energi rata-rata meningkat dari 0,734 J menjadi 0,836 J, sedangkan pada beban 20 kg energi rata-rata menurun dari 1,871 J menjadi 1,150 J ketika jarak tempuh diperpanjang dari 18,6 m menjadi 37,2 m. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan tidak hanya dipengaruhi oleh jarak tempuh, tetapi juga oleh kecepatan

dorongan dan lama putaran Dinamo. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan Dinamo DC dapat disimpan ke dalam baterai. Pada pengujian tanpa beban sistem selama 30 menit, tegangan baterai meningkat dari 3,75 V menjadi 3,78 V dan kapasitas baterai meningkat dari 50% menjadi 52%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem *energy harvesting* dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi tambahan (*auxiliary power*), meskipun energi yang dihasilkan masih relatif kecil

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Pei *et al.*, “Review and analysis of energy harvesting technologies in roadway transportation,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 288, p. 125338, 2021.
- [2] L. D. Nugraha *et al.*, “Metode-metode harvesting energy mekanik pada sepeda motor listrik untuk meningkatkan efisiensi baterai,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3S1, 2025.
- [3] J. L. Patero, “Electromagnetic induction: Unraveling Faraday’s laws and their applications in dinamos and transformers,” *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 814–819, 2023.
- [4] I. Boldea, “Electric dinamos and motors: An overview,” *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 3–14, 2017.
- [5] K. V. Selvan and M. S. M. Ali, “Micro-scale energy harvesting devices: Review of methodological performances in the last decade,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 54, pp. 1035–1047, 2016.
- [6] E. Listijorini *et al.*, “Rancang bangun ALPENLIBE (alat pemanen energi listrik berbasis piezoelektrik) sebagai upaya mewujudkan energi terbarukan,” *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2024.
- [7] I. S. Lubis and R. Rahmadian, “Pengaruh sistem dan rasio pulley terhadap daya listrik pada dinamo pembangkit listrik tenaga pikohidro,” *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 40–48, 2023.
- [8] F. Yang *et al.*, “Magnetic and electric energy harvesting technologies in power grids: A review,” *Sensors*, vol. 20, no. 5, p. 1496, 2020.
- [9] D. A. Putri *et al.*, “Analisis hubungan tegangan dan arus dalam rangkaian seri dan paralel berdasarkan Hukum Ohm,” *PHY*, pp. 201–206, 2025.
- [10] U. A. Bakshi, *Basic Electrical Engineering*. Technical Publications, 2020.