

KINERJA SISTEM PENGISIAN BATERAI LITHIUM-ION BERBASIS THERMOELECTRIC MENGGUNAKAN BUCK CONVERTER LM2596

Muhamad Khizam Muayad¹, Herman Saputro¹

¹Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret
Kampus V UNS Pabelan Jl. Ahmad Yani Nomor 200, Surakarta
Email : muhamamadkhizam14@student.uns.ac.id

Abstract

The increasing demand for portable electrical energy requires alternative power sources capable of charging lithium-ion batteries efficiently. This study analyzes the performance of a lithium-ion battery charging system supplied by a thermoelectric-based micropower generation using a buck converter LM2596. An experimental method was employed by measuring voltage, current, power, and charging efficiency over a 25-minute charging period with data recorded at five-minute intervals. The results show that the battery charging system achieved an average system efficiency of 41%, while the buck converter demonstrated a stable efficiency of approximately 47%. The findings indicate that the LM2596 buck converter is effective in stabilizing voltage and improving energy transfer from thermoelectric generators to lithium-ion batteries. This research contributes to the development of efficient portable energy systems based on thermoelectric micropower generation.

Keywords: *Micropower generation, thermoelectric generator, buck converter, lithium-ion, number of battery cells, charging system.*

A. PENDAHULUAN

Meningkatnya penggunaan *gadget* elektronik dan telepon seluler menjadi salah satu faktor penyebab meningkatnya permintaan listrik. Badan Pusat Statistik Indonesia (2024), melaporkan bahwa pada tahun 2023, proporsi penduduk Indonesia yang memiliki telepon seluler mencapai 67,29%. Perangkat ini memiliki sumber energi dari baterai. Peran baterai sangat penting dalam menyediakan energi untuk perangkat elektronik portabel, sehingga

baterai menjadi sumber daya yang vital bagi komponen-komponen listrik (Afif & Pratiwi, 2015). Dalam hal ini diperlukan sumber energi dengan teknologi pembangkit listrik alternatif untuk melakukan pengisian baterai portabel. *Micropower Generator* (MPG) menjadi salah satu solusi dalam hal ini. MPG adalah perangkat berbasis termoelektrik yang memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan listrik. MPG adalah perangkat berbasis termoelektrik yang

memanfaatkan perbedaan suhu untuk menghasilkan listrik. MPG dengan modul konversi energi menghasilkan daya listrik hampir 8,3 W dengan efisiensi konversi 1,5% (Khan et al., 2024).

Komponen utama dari MPG adalah *Thermoelectric Generator* (TEG). Komponen ini bekerja berdasarkan prinsip efek Seebeck, di mana tegangan dihasilkan oleh perbedaan suhu antara dua sisi bahan semikonduktor. Tegangan yang dihasilkan berbanding lurus dengan perbedaan temperatur semakin besar perbedaan temperatur, semakin besar pula tegangan yang dihasilkan (Mohamad Diki et al., 2022).

Pada aplikasi pengisian baterai dengan modul termoelektrik, tegangan keluaran yang dihasilkan sering kali tidak sesuai dan kurang stabil. Oleh karena itu, diperlukan konverter DC/DC untuk mengatur dan menyediakan tegangan serta arus yang dibutuhkan oleh baterai (Fathabadi, 2016). Konverter yang sering digunakan untuk aplikasi pengisian baterai yaitu *boost converter*, *buck converter*, dan *boost-buck converter*.

Baterai *lithium-ion* memiliki kepadatan energi yang tinggi, tidak mengalami efek memori, dan hanya sedikit kehilangan muatan saat tidak digunakan. Untuk pengisian baterai li-ion diperlukan

juga modul *charger* yang dapat mengendalikan proses pengisian dengan aman dan stabil. Modul *charger* TP4056 dapat memenuhi kebutuhan ini.

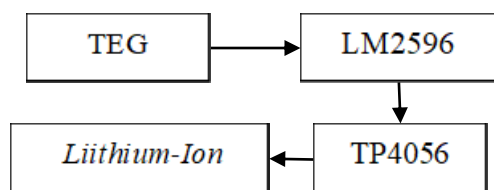
Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji pemanfaatan *thermoelectric generator* sebagai sumber energi alternatif, kajian yang secara khusus mengevaluasi kinerja sistem pengisian baterai lithium-ion menggunakan *buck converter* LM2596 pada skala *micropower generation* masih terbatas. Selain itu, analisis efisiensi sistem secara menyeluruh dari sumber termoelektrik hingga energi tersimpan pada baterai belum banyak dibahas. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk mengevaluasi performa dan efisiensi sistem pengisian baterai berbasis termoelektrik secara eksperimental.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dan efisiensi sistem pengisian baterai *lithium-ion* yang bersumber dari micropower generation berbasis *thermoelectric* menggunakan *buck converter* LM2596.

B. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja sistem pengisian baterai lithium-ion. Sumber energi berasal dari *thermoelectric generator* (TEG) yang

memanfaatkan perbedaan suhu hasil pembakaran pada *combustor*. Tegangan keluaran TEG dikondisikan menggunakan *buck converter* LM2596 sebelum dialirkan ke modul *charger* TP4056 dan baterai *lithium-ion*. Pengujian dilakukan selama 25 menit dengan interval pengambilan data setiap 5 menit. Parameter yang diukur meliputi tegangan, arus, daya, energi listrik, serta efisiensi sistem pengisian.



Gambar 1 Skema blok sistem pengisian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji coba dilakukan sebanyak 3 kali selama 25 menit dengan interval pengambilan data setiap 5 menit dan tegangan awal baterai sebelum pengisian sebesar 3 Volt. Pengumpulan data terdiri dari suhu *hot side* dan *cold side* pada TEG menggunakan *thermocouple*, dan pengukuran energi listrik yang diperoleh dari TEG, *buck converter*, dan baterai menggunakan multimeter digital.

1. Hasil Pengujian TEG

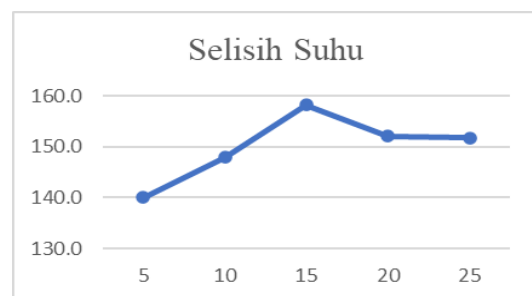
Hasil pengujian TEG sebagai berikut:

Waktu (menit)	ΔT (°C)	Pout (W)
------------------	-----------------	----------

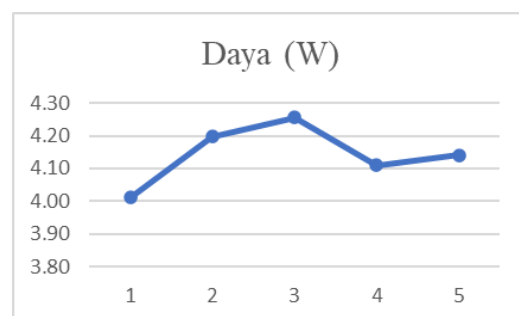
5	140,1	4,01
10	148,0	4,20
15	158,2	4,26
20	152,1	4,11
25	151,7	4,14

Tabel 1 Hasil pengujian TEG

Hasil penelitian menunjukkan pada menit ke-5 suhu ΔT 140,1 °C menghasilkan *output* daya sebesar 4,01 Watt. Pada menit ke-5 s.d menit ke-15 menunjukkan peningkatan perbedaan temperatur (ΔT) mencapai 158,2 °C yang menghasilkan daya 4,26 Watt. Namun temperatur (ΔT) mengalami penurunan pada menit ke-15 s.d menit ke-25 hingga mencapai 151,7 °C yang menghasilkan daya 4,14 Watt.



Gambar 2 Grafik selisih suhu



Gambar 3 Grafik output daya

Pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan daya *output* TEG selaras dengan besarnya selisih temperatur (ΔT). Sejalan dengan penelitian Fahrani et al., (2022) perbedaan suhu (ΔT) yang tercipta diantara sisi panas TEG dan sisi dingin TEG modul termoelektrik (TEG SP1848-27145SA) mempengaruhi keluaran energi potensial yang terjadi, semakin besar perbedaan suhu yang terjadi semakin besar pula energi yang dikeluarkan oleh TEG tersebut. Hal ini sesuai dengan karakteristik termoelektrik berdasarkan teori dasar Seebeck dimana tegangan yang dihasilkan sebanding dengan gradien temperatur yang didapat (Khalid et al., 2016).

2. Hasil Pengujian Buck Converter LM2596

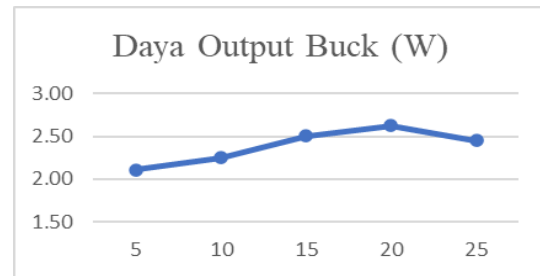
Hasil pengujian *buck converter* LM2596 sebagai berikut:

Waktu (menit)	Pout BC (W)	Efisiensi Buck (%)
5	2,11	46%
10	2,25	47%
15	2,50	47%
20	2,63	47%
25	2,45	47%

Tabel 2 Hasil pengujian buck converter

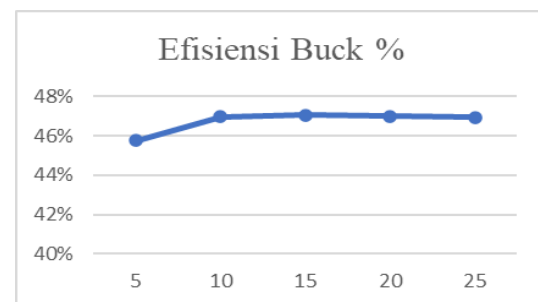
Daya keluaran meningkat dari 2,11 Watt pada menit ke-5 menjadi daya tertinggi yaitu 2,53 Watt pada menit ke-20, kemudian sedikit menurun di akhir menjadi 2,45 Watt pada menit ke-25. Efisiensi *buck*

converter relatif stabil berkisar antara 46%-47%.



Gambar 4 Daya output buck converter

Pada Gambar 4 *output* daya *buck converter* cenderung mengalami peningkatan stabil. Hal ini menunjukkan bagaimana *buck converter* berfungsi sebagai penstabil tegangan dan pengatur arus sehingga daya yang dihasilkan juga stabil.



Gambar 5 Efisiensi buck converter

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa efisiensi *buck converter* menunjukkan kestabilan selama proses pengujian, dengan fluktuasi yang sangat kecil meskipun terdapat variasi tegangan masukan dari sumber daya termoelektrik. Stabilitas efisiensi ini menjadi indikator penting bahwa *buck converter* mampu bekerja

secara optimal dalam menjaga kontinuitas suplai daya, meskipun sumber input mengalami perubahan tegangan yang tidak signifikan. Tegangan *output* yang konstan dari *buck converter* mampu mencegah *overvoltage* maupun *undervoltage* yang dapat merusak sel baterai atau menurunkan efisiensi pengisian. Sebagaimana dinyatakan oleh Suryadi et al., (2020) bahwa *buck converter* dapat digunakan sebagai *converter* DC-DC dan sebagai penstabil tegangan dari sumber yang kurang stabil.

3. Hasil data pengisian baterai

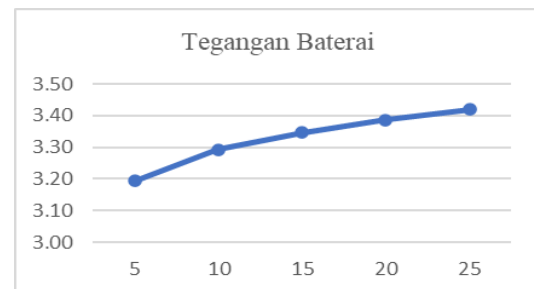
Hasil data pengisian baterai sebagai berikut:

Waktu (menit)	Tegangan Baterai (V)	Arus Pengisian TP4056 (A)
5	3,19	0,45
10	3,29	0,48
15	3,35	0,53
20	3,39	0,56
25	3,42	0,52

Tabel 3 Hasil data pengisian baterai

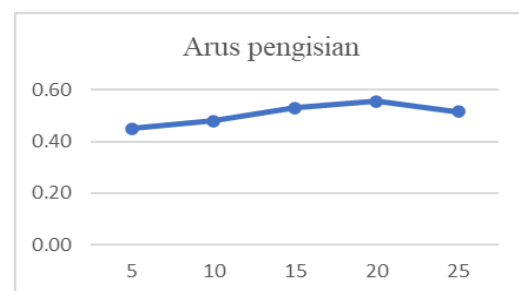
Hasil penelitian menunjukkan tegangan baterai mencapai 3,19 Volt pada menit ke-5, dan terus meningkat secara bertahap seiring waktu pengisian hingga 3,42 Volt pada menit ke-25. Arus pengisian mengalami kenaikan dari 0,45 Ampere pada menit ke-5 hingga mencapai

puncaknya pada menit ke-20 sebesar 0,56 Ampere, kemudian menurun pada menit ke-25 menjadi 0,52 Ampere.



Gambar 6 Tegangan Baterai

Pada Gambar 6 dapat dilihat tegangan baterai naik selama pengisian. Hal ini menunjukkan sistem mampu bekerja dengan baik untuk melakukan pengisian baterai *lithium-ion* dari sumber MPG. Sistem ini juga berhasil menjaga stabilitas tegangan selama proses pengisian, yang penting untuk mencegah kerusakan pada sel baterai *lithium-ion* (Otong, 2019).



Gambar 7 Arus pengisian

Pada Gambar 7 dapat dilihat arus *input* ke baterai cenderung stabil menunjukkan sistem pengisian dalam mode CC (*Constant Current*) dimana arus pengisian stabil dan tegangan naik secara bertahap. Hal ini juga

menunjukkan bahwa dalam mode CC, pengisi daya dapat mempertahankan arus konstan (Nizam et al., 2022).

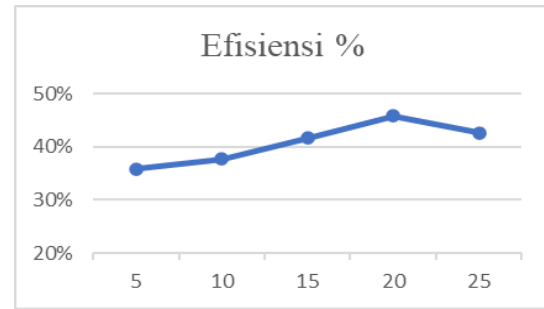
4. Hasil Pengujian Efisiensi sistem pengisian

Efisiensi sistem pengisian sebagai berikut:

Waktu (menit)	Energi TEG (Wh)	Energi Baterai (Wh)	Efisiensi (%)
5	0,33	0,12	36%
10	0,35	0,13	38%
15	0,35	0,15	42%
20	0,34	0,16	46%
25	0,34	0,15	43%

Tabel 4 Hasil pengujian efisiensi sistem pengisian

Hasil penelitian menunjukkan energi yang dihasilkan TEG cukup stabil dari awal hingga akhir waktu pengujian di dalam rentang 0,33 Wh sampai 0,35 Wh. Energi yang tersimpan di baterai pada menit ke-5 sebesar 0,12 Wh dan terus meningkat hingga mencapai 0,16 Wh pada menit ke-20, kemudian sedikit turun menjadi 0,15 Wh pada menit ke-25. Efisiensi dari 36% pada menit ke-5 naik menjadi 46% pada menit ke-20, kemudian sedikit menurun menjadi 43% di menit ke-25.



Gambar 8 Efisiensi sistem pengisian

Pada Gambar 8 efisiensi sistem pengisian cenderung mengalami peningkatan stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pada fase awal hingga pertengahan, sistem pengisian bekerja secara optimal dalam mentransfer energi dari sumber ke baterai. Peningkatan efisiensi ini mencerminkan penyesuaian sistem terhadap kondisi pengisian awal baterai, di mana resistansi internal masih rendah dan arus pengisian dapat mengalir dengan baik.

Penurunan efisiensi yang terjadi di akhir pengujian disebabkan oleh kondisi baterai yang telah mendekati titik saturasi (*full charge*). Pada fase ini, sistem pengisian secara otomatis menurunkan laju arus masuk untuk mencegah *overcharging*, sebagaimana prinsip dasar metode pengisian *constant current - constant voltage* (CC-CV). Guo et al., (2015) juga menyatakan bahwa efisiensi akan menurun mendekati tahap akhir pengisian karena energi yang masuk tidak sepenuhnya diserap akibat kenaikan resistansi internal baterai.

D. PENUTUP

Simpulan

Sistem pengisian baterai *lithium-ion* berbasis *micropower generation* menggunakan *thermoelectric generator* dan *buck converter* LM2596 mampu bekerja dengan baik dan stabil. Sistem ini menghasilkan efisiensi rata-rata sebesar 41%, sedangkan *buck converter* menunjukkan efisiensi sekitar 47%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *buck converter* LM2596 efektif dalam menstabilkan tegangan dan meningkatkan performa pengisian baterai dari sumber energi termoelektrik.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji penggunaan jenis *DC-DC converter* lain serta variasi kapasitas dan jenis baterai guna meningkatkan efisiensi sistem. Selain itu, optimasi desain *thermoelectric generator* dan sistem pendinginan perlu dikembangkan untuk memperoleh perbedaan temperatur yang lebih besar dan daya keluaran yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Afif, M. T., & Pratiwi, I. A. P. (2015). Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid Dan Nickel-Metal Hydride Pada

Penggunaan Mobil Listrik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(2), 95–99.

Badan Pusat Statistik Indonesia. (2024). *Statistik Telekomunikasi Indonesia 2023*. 12(1), 1–14.

Fahriani, V. P., Sahril, M., Setiawan, R., & Pertiwi, S. R. (2022). Uji Eksperimen Konfigurasi Lup pada Termoelektrik Generator Tipe TEG SP1848-27145 SA untuk Alat Penerangan Jalan. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 10(2), 98–108.
<https://doi.org/10.32487/jtt.v10i2.1490>

Fathabadi, H. (2016). Novel high efficiency DC/DC boost converter for using in photovoltaic systems. *Solar Energy*, 125, 22–31.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.11.047>

Guo, Z., Li, T., Sun, Z., & Wu, J. (2015). *Study on Drop Test of Electric Vehicle Battery*. *Icmmcce*, 818–823.
<https://doi.org/10.2991/icmmcce-15.2015.164>

Khalid, M., Syukri, M., & Gapy, M. (2016). Tanemakizo. *Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik*, 1(3), 57–62.

Khan, M. A., Gadgil, H., & Kumar, S. (2024). Spray characteristics of a self-aspirating ethanol ejector for high-efficiency combustion-based thermoelectric micropower generators. *Applied Thermal Engineering*, 241(July 2023), 122363.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.122363>

Mohamad Diki, Charis Fathul Hadi, Risk Fita Lestari, & Rezki Nalandari. (2022). Pemanfaatan Termoelektrik Sebagai Sumber Energi Terbaru. *Journal Zetroem*, 4(1), 23–25.

<https://doi.org/10.36526/ztr.v4i1.1913>

- Nizam, M., Maghfiroh, H., Ubaidilah, A., & Adriyanto, F. (2022). Constant current-fuzzy logic algorithm for lithium-ion battery charging. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, 13(2), 926–937. <https://doi.org/10.11591/ijped.v13.i2.pp926-937>
- Otong, M. (2019). Perancangan Modular Baterai Lithium Ion (Li-Ion) untuk Beban Lampu LED. *Setrum : Sistem Kendali-Tenaga-Elektronika-Telekomunikasi-Komputer*, 8(2), 260. <https://doi.org/10.36055/setrum.v8i2.6808>
- Suryadi, A., Tulus Asmoro, P., & Sofwan, A. (2020). Design and Simulation Converter with Buck-boost Converter as The Voltage Stabilizer. *International Journal of Electrical, Energy and Power System Engineering*, 3(3), 77–81. <https://doi.org/10.31258/ijeepse.3.3.77-81>