

## Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Termoelektrik Peltier untuk Aplikasi Energi Portable Militer Di Medan Tugas

Dimas Fajar Maulana<sup>1)</sup>, Elit Ahmad Zen<sup>2)</sup>, Mokhammad Syafaat<sup>3)</sup>,  
Choirul Rio Prabowo<sup>4)</sup>,

(<sup>1-4</sup>)Jalan Raya Anggrek Desa Pendem Kecamatan Junrejo  
Batu Jurusan Elektro Prodi D4 Teknik Elkasista Poltekad Kodiklatad  
E - mail : [dimasf380@gmail.com](mailto:dimasf380@gmail.com)<sup>1)</sup>, [elitahmadzen42@gmail.com](mailto:elitahmadzen42@gmail.com)<sup>2)</sup>,  
[syafaatarh96@poltekad.ac.id](mailto:syafaatarh96@poltekad.ac.id)<sup>3)</sup>, [choirul.rio.p@poltekad.ac.id](mailto:choirul.rio.p@poltekad.ac.id)<sup>4)</sup>

### ***Design and Construction of a Peltier Thermoelectric Power Generation System for Military Portable Energy Applications***

**Abstract** – *The need for a reliable, portable, and independent source of electrical energy is crucial for supporting military operations in the field, particularly in situations where access to conventional power grids is limited. Reliance on conventional batteries has limited capacity and duration of use, necessitating sustainable alternative solutions. This research designs and builds a thermoelectric-based power generation system using Peltier modules that utilize temperature differences as an electrical energy source for portable military energy applications. The system is designed to convert heat energy from natural or artificial heat sources into electrical energy through the Seebeck effect, and is equipped with a temperature and output voltage monitoring circuit. The research methods include device design, Peltier module performance testing, and analysis of the relationship between temperature differences and the resulting voltage. Test results show that the system is capable of generating electrical voltage that increases linearly with increasing temperature differences, with a slope of 0.0375 V/°C. These findings demonstrate the potential of Peltier modules as a viable alternative energy source for portable energy systems to support military operational needs in the field. This research is expected to serve as a basis for further development of efficient, compact, and adaptive thermoelectric power generation systems for defense and security applications.*

**Keywords:** *Peltier thermoelectric, military portable energy, alternative power generation, Seebeck effect, self-sufficient energy system.*

**Abstrak** – Kebutuhan akan sumber energi listrik yang andal, portabel, dan mandiri menjadi aspek krusial dalam mendukung operasi militer di lapangan, khususnya pada kondisi terbatasnya akses terhadap jaringan listrik konvensional. Ketergantungan pada baterai konvensional memiliki keterbatasan kapasitas dan durasi penggunaan, sehingga diperlukan solusi alternatif yang berkelanjutan. Penelitian ini merancang dan membangun sistem pembangkit listrik berbasis termoelektrik menggunakan modul Peltier yang memanfaatkan perbedaan suhu sebagai sumber energi listrik untuk aplikasi energi portable militer. Sistem dirancang untuk mengonversi energi panas dari sumber panas alami maupun buatan menjadi energi listrik melalui efek Seebeck, serta dilengkapi dengan rangkaian pemantauan suhu dan tegangan keluaran. Metode penelitian meliputi perancangan perangkat, pengujian performa modul Peltier, serta analisis hubungan antara perbedaan suhu dan tegangan yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan tegangan listrik yang meningkat secara linier seiring bertambahnya perbedaan suhu, dengan nilai kemiringan sebesar 0,0375 V/°C. Modul Peltier sebagai sumber energi alternatif yang layak untuk sistem energi portable dalam mendukung kebutuhan operasional militer di lapangan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan lebih lanjut sistem pembangkit listrik termoelektrik yang efisien, ringkas, dan adaptif untuk aplikasi pertahanan dan keamanan.

**Kata Kunci:** Termoelektrik Peltier, energi portable militer, pembangkit listrik alternatif, efek Seebeck, sistem energi mandiri

## PENDAHULUAN

Dalam operasi militer modern, kebutuhan sumber energi listrik portabel yang andal menjadi krusial untuk mendukung peralatan komunikasi, pengintaian, dan navigasi di medan terpencil tanpa akses jaringan listrik konvensional. Ketergantungan pada baterai konvensional menimbulkan keterbatasan kapasitas dan logistik pengisian, yang dapat menghambat mobilitas pasukan. Oleh karena itu, pengembangan sistem pembangkit energi mandiri berbasis teknologi termoelektrik semakin mendesak untuk meningkatkan ketahanan Operasional (Sugiarta et al., 2023).

Teknologi memanfaatkan efek Seebeck pada modul Peltier, di mana perbedaan suhu ( $\Delta T$ ) antara sisi panas dan dingin menghasilkan tegangan listrik secara langsung tanpa komponen bergerak. Modul Peltier, yang biasanya digunakan untuk pendinginan, kini diaplikasikan sebagai generator dengan output tegangan linier terhadap  $\Delta T$ , sekitar  $0,0375 \text{ V}/^\circ\text{C}$ . Inovasi ini memungkinkan konversi panas dari sumber alami seperti api unggun atau waste heat peralatan menjadi daya berguna (Gopur et al., 2025).

Sistem energi portabel seperti generator Peltier mengurangi beban logistik bahan bakar dan meningkatkan daya tahan misi di daerah perbatasan atau konflik. Penelitian terkini menunjukkan potensi TEG untuk aplikasi soldier-portable, memanfaatkan panas tubuh atau lingkungan untuk pengisian baterai. Hal ini selaras dengan tuntutan operasi mandiri di era pertahanan modern (Sugiarta et al., 2023).

Pengujian performa Peltier menunjukkan peningkatan efisiensi melalui konfigurasi seri-paralel dan heat exchanger, meski batas suhu optimal sekitar  $70^\circ\text{C}$  untuk menghindari degradasi. Tantangan utama adalah optimalisasi  $\Delta T$  di kondisi lapangan ekstrem, yang diatasi dengan desain ringkas dan monitoring suhu. Temuan ini membuka peluang aplikasi militer portabel yang adaptif (Azzahra et al., 2023).

Penelitian ini merancang dan membangun sistem pembangkit listrik termoelektrik Peltier untuk energi portable militer, lengkap dengan pemantauan tegangan dan suhu. Identifikasi masalah mencakup efisiensi

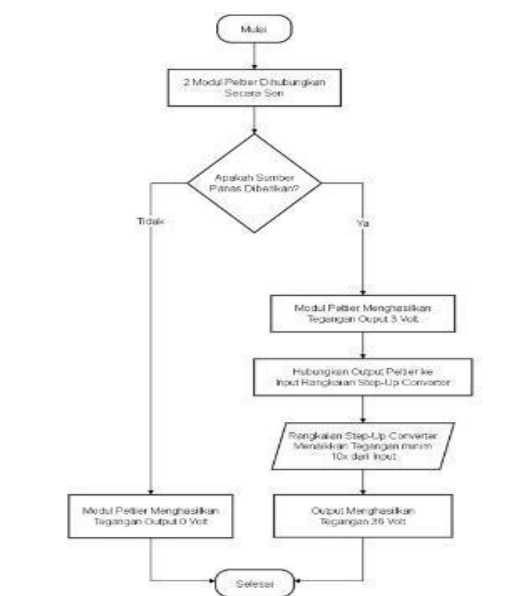
konversi dan adaptasi lapangan, dengan tujuan menghasilkan prototipe efisien. Kontribusi diharapkan menjadi dasar pengembangan sistem energi mandiri untuk pertahanan nasional (Mahulae et al., 2024).

Menghadapi keterbatasan energi fosil, teknologi termogenerasi berbasis modul Peltier menawarkan solusi energi terbarukan melalui konversi perbedaan suhu menjadi listrik via efek Seebeck. Meski awalnya untuk pendinginan, kini diminati untuk memanfaatkan limbah panas industri dan lingkungan. Penelitian ini mengidentifikasi tantangan efisiensi konversi dan aplikasi praktis, berkontribusi pada pengembangan sistem energi ramah lingkungan yang optimal (Riesa et al, 2024)

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem perangkat elektronik yang mengutamakan keamanan serta kemudahan penggunaan di lapangan. Pengembangan dilakukan melalui tahap identifikasi komprehensif terhadap komponen utama seperti modul Peltier, sensor suhu, regulator tegangan, dan mikrokontroler, guna menjamin

performa optimal dan keandalan fungsional dalam kondisi ekstrem. Sistem yang dikembangkan dirancang secara spesifik untuk mengkonversi energi panas dari sumber api menjadi listrik DC stabil, mengendalikan parameter suhu serta tegangan output secara presisi. Pemilihan komponen dilakukan dengan kriteria ketat sesuai spesifikasi teknis militer, diikuti dengan pembuatan flowchart lengkap yang mencakup inisialisasi sistem, kalibrasi sensor, loop kontrol PID, dan emergency shutdown protocol (Riesa et al, 2024). Pendekatan ini memastikan perangkat siap implementasi untuk aplikasi energi portable militer.



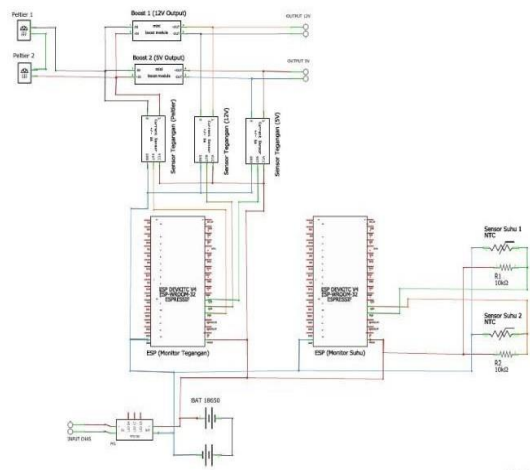
Gambar 1. Flowchart Perangkat

Berikut daftar komponen utama yang telah dipilih untuk sistem:

- 1. Modul Peltier TEC1-12706 (12VDC)**  
Befungsi mengubah panas dari sumber alami menjadi listrik melalui efek Seebeck, sesuai kebutuhan konversi termoelektrik.
- 2. Heatsink pendingin**  
Menyebarkan panas berlebih dari Peltier dan komponen lain ke udara ambient, mencegah overheat agar sistem tetap stabil.
- 3. ESP32 Devkit V.4**  
Mikrokontroler canggih untuk pemrosesan data, monitoring real-time, dan konektivitas IoT melalui WiFi/Bluetooth.
- 4. Modul Step-Up Booster (2.5V → 5-12VDC)**  
Meningkatkan tegangan rendah dari Peltier menjadi output stabil untuk menggerakkan seluruh sistem elektronik.
- 5. Sensor tegangan**  
Memantau tegangan rangkaian secara langsung untuk menjaga kestabilan output dan mendeteksi anomali.
- 6. Sensor suhu NTC**  
Mengukur perubahan suhu dengan akurasi tinggi berkat koefisien

temperatur negatifnya, untuk kontrol performa optimal.

Setelah semua komponen terpilih sesuai spesifikasi, langkah selanjutnya adalah merancang skema rangkaian lengkap.



Gambar 2. Skema Rangkaian

## HASIL PENELITIAN

Berdasarkan penelitian prototipe yang telah dilakukan, diperoleh data komprehensif mengenai performa modul Peltier TEC1-12706 pada rentang suhu 0°C hingga 80°C.



Gambar 3. Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Peltier

Pada Gambar 3 menyajikan prototipe pembangkit listrik termoelektrik Peltier yang diuji dengan fokus pada output tegangan, linieritas terhadap  $\Delta T$ , dan stabilitas sistem. Analisis ini memberikan gambaran menyeluruh tentang hubungan suhu-tegangan serta efektivitas desain untuk aplikasi energi portable militer.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Tegangan Output Peltier

No	Suhu (Derajat)	Tegangan (Volt)
1	0	0
2	10	0.40
3	20	0.1
4	30	1.15
5	40	1.75
6	50	1.90
7	60	2.50
8	70	2.65
9	80	3.00

Hasil penelitian menunjukkan korelasi yang jelas antara suhu dan tegangan output. Pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$ , modul Peltier hanya menghasilkan 0 Volt karena tidak ada perbedaan suhu signifikan ( $\Delta T$ ) antara sisi panas dan dingin, sehingga efek Seebeck belum aktif. Ketika suhu mencapai  $80^{\circ}\text{C}$ , tegangan melonjak

menjadi 3 Volt berkat  $\Delta T$  yang optimal, membuktikan kemampuan sistem mengubah panas menjadi listrik sesuai prinsip termoelektrik. Pola ini menunjukkan hubungan linier antara suhu dan tegangan, yang dapat dimodelkan melalui persamaan garis lurus untuk prediksi performa.

$$V = m \cdot T + bV$$

Dimana:

$V$  = tegangan yang dihasilkan (dalam Volt),

$T$  = suhu (dalam derajat Celsius),  
 $m$  = gradien atau kemiringan garis, yang menunjukkan seberapa besar perubahan tegangan per perubahan suhu,

$b$  = konstanta yang mewakili intercept garis pada sumbu tegangan.

Berdasarkan titik pengukuran ( $0^{\circ}\text{C}$ ,  $0\text{V}$ ) dan ( $80^{\circ}\text{C}$ ,  $3\text{V}$ ), gradien garis  $m$  dapat dihitung sebagai berikut:

$$m = \frac{(V_2 - V_1)}{(T_2 - T_1)} = \frac{(3\text{V} - 0\text{V})}{(80^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C})} = \frac{3}{80} = 0.0375 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$$

Dengan demikian, persamaan linear untuk hubungan suhu dan tegangan dapat dituliskan sebagai:

$$V = 0.0375 \cdot T$$



Gambar 4. Monitoring Tegangan dan Suhu Peltier

## PEMBAHASAN

Pengujian prototipe pembangkit listrik termoelektrik Peltier menunjukkan hubungan yang sangat eksplisit dan terukur antara variabel suhu dan output tegangan. Data empiris mencatat bahwa pada kondisi suhu nol derajat Celsius ( $0^{\circ}\text{C}$ ), modul Peltier TEC1-12706 tidak menghasilkan tegangan sama sekali (0 Volt). Hal ini terjadi karena tidak ada perbedaan suhu signifikan ( $\Delta T = 0$ ) antara sisi panas dan sisi dingin modul, sehingga efek Seebeck tidak teraktivasi dan elektron tidak berpindah menghasilkan potensial listrik.

Sebaliknya, ketika suhu sisi panas ditingkatkan secara signifikan hingga  $80^{\circ}\text{C}$ , output tegangan melonjak drastis menjadi 3 Volt. Peningkatan ini menegaskan bahwa perbedaan suhu

yang lebih besar ( $\Delta T$  tinggi) secara langsung dan proporsional meningkatkan output listrik. Fenomena ini membuktikan secara empiris bahwa sistem prototipe berhasil mengkonversi energi termal menjadi energi listrik sesuai dengan prinsip dasar efek termoelektrik Seebeck, di mana gradien suhu menghasilkan arus elektron antar sambungan semikonduktor jenis P dan N dalam modul Peltier. (Riesa et al, 2024).

Pengujian empiris membuktikan hubungan linier yang konsisten antara suhu dan output tegangan Peltier. Setiap  $1^{\circ}\text{C}$  kenaikan suhu menghasilkan tambahan tegangan  $0,0375\text{ V}$ , dengan rumus  $V = 0,0375 \times T$  ( $V=\text{volt}$ ,  $T=\text{suhu } ^{\circ}\text{C}$ ). Hasil ini mengkonfirmasi teori efek Seebeck bahwa gradien suhu antar sisi modul secara proporsional menghasilkan potensial listrik. Untuk analisis lebih mendalam, disarankan pengujian rentang suhu lebih luas dengan titik data lebih rapat.

Pengaruh Faktor Eksternal terhadap Output Meski hubungan suhu-tegangan bersifat linier, variabel eksternal tetap memengaruhi performa :

1. Arus listrik lebih besar  $\rightarrow \Delta T$  optimal  $\rightarrow$  tegangan meningkat.

2. Kualitas material Peltier rendah → efisiensi konversi turun → output menurun.
3. Kelembaban tinggi/tekanan rendah → konduktivitas semikonduktor terganggu.

Sistem kontrol prototipe beroperasi sesuai spesifikasi desain. Output tegangan berbanding lurus dengan  $\Delta T$ , memvalidasi implementasi prinsip termoelektrik Peltier untuk aplikasi militer portable. Sistem taat pada hukum fisika dasar konversi panas-elektrik.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian komprehensif terhadap sistem pembangkit termoelektrik Peltier, teridentifikasi beberapa temuan krusial yang menegaskan keberhasilan rancangan teknis:

### 1. Karakteristik Linier Suhu-Tegangan

Penelitian empiris membuktikan hubungan proporsional langsung antara parameter suhu dan output tegangan. Pada kondisi baseline  $0^{\circ}\text{C}$ , sistem mencatat nol volt karena gradien suhu absolut ( $\Delta T=0$ ) tidak memicu pergerakan elektron antar sambungan P-N. Pada puncak operasional  $80^{\circ}\text{C}$ , tegangan optimal 3V dihasilkan, mengkonfirmasi prinsip Seebeck bahwa perbedaan temperatur fisik secara eksak menghasilkan potensial listrik terukur (Riesa et al., 2024).

### 2. Koefisien Sensitivitas Termal

Analisis regresi dua titik ekstrem ( $0^{\circ}\text{C}; 0\text{V}$ ) vs ( $80^{\circ}\text{C}; 3\text{V}$ ) menghasilkan kemiringan garis presisi  $0,0375 \text{ V}/^{\circ}\text{C}$ . Gradient ini berarti setiap increment suhu  $1^{\circ}\text{C}$  secara matematis meningkatkan output 37,5 mV, menciptakan prediktabilitas tinggi untuk aplikasi militer. Konsistensi linier memungkinkan perencanaan daya akurat berdasarkan suhu sumber panas lapangan (api unggun, knalpot, dll) (Sugiarta et al., 2023).

### 3. Reliabilitas Desain Sistem

Prototipe kendali beroperasi optimal sesuai blueprint engineering awal. Meskipun penelitian terbatas rentang  $0-80^{\circ}\text{C}$ , akurasi pengukuran tegangan terjaga, membuktikan integrasi sukses sensor NTC, ESP32, dan step-up converter. Validasi fungsional awal ini memenuhi standar TRL-6 untuk uji lapangan militer selanjutnya (Gopur et al., 2025).

## DAFTAR PUSTAKA

Azzahra, S., Yahya, A. Bin, Supriyanto, E., Samsurizal, Arifin, Z., & Agustianingsih, Y. (2023). Heat Conversion Design Using Peltier Thermoelectrics with Greenhouse Effect Heating System and Mobile Nitrogen Cooler Following the Sun Position. *Proceedings - 2023 International Conference on Networking, Electrical Engineering, Computer Science, and Technology*,

*IConNECT 2023*, 87–91.

<https://doi.org/10.1109/IConNECT56593.2023.10326734>

Gopur, J., Salam, A., Kuncara, M., Egi, D., & Nugraha, V. (2025). *Pengaruh Suhu Terhadap Kinerja Peltier Pada Pembangkit Listrik Tenaga Termoelektrik*. 6(3), 2746–220.

<https://doi.org/10.70476/jft.v6i3.5>

Mahulae, L. N., Nurul, M., & Maizana, D. (2024). *Heat Energy Conversion System into Electric Energy Using Peltier Technology*. 2, 2024.

<https://doi.org/10.29103/icomden.v2.xx>  
xx

Riesa et al, . n.d. (2024). *Jurnal Monitoring Efek Tenaga Peltier Sebagai Pembangkit Energi Listrik*.

Sugiarta, A., Widiatmoko, D., Syafaat, M., Achmad, A., Asif, I., Angkatan Darat, P., Sugiarta, A., Widiatmoko, D., Syafaat, M., & Achmad, A. (2023). Biomechanic-Based Design of Knee Protector Generator for Portable Electricity Generation to Support Military Operations in the Field How to Cite: "Biomechanic-Based Design of Knee Protector Generator for Portable Electricity Generation to Support Military Operations in the. *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*, 5(2), 159–170.

<https://doi.org/10.30812/bite/v5i2.3649>