

Rancang Bangun Pemanfaatan Efek Seebeck terhadap Laju Kenaikan Suhu serta Pemanfaatan Arus Hasil Efek Seebeck

Design and Construction of Seebeck Effect Utilization on Temperature Increase Rate and Utilization of Seebeck Effect Resulting Flow

Hardyansah Satria Putra¹, Salnan Sabdo Wibowo², Mashudi³, Abrianto Akuan⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Ilmu Eksakta, Universitas Nahdlatul Ulama Blitar
e-mail: ¹hardyansahsatriaputra83@gmail.com, ²Salnansabdo@gmail.com, ³Mashudi@gmail.com, ⁴abriantoakuan@gmail.com.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemanfaatan efek Efek Seebeck dalam mengonversi energi panas yang dihasilkan radiator menjadi energi listrik, serta menganalisis pengaruhnya terhadap laju kenaikan suhu radiator. Efek Seebeck merupakan fenomena termoelektrik yang terjadi akibat perbedaan temperatur pada dua sisi material konduktor atau semikonduktor sehingga menghasilkan beda potensial listrik. Metode penelitian yang digunakan meliputi perancangan alat, pembuatan prototipe, serta pengujian kinerja sistem dengan memanfaatkan modul termoelektrik yang ditempatkan pada permukaan radiator. Pengambilan data dilakukan dengan mengukur perubahan suhu radiator, laju kenaikan suhu, serta arus listrik yang dihasilkan akibat perbedaan temperatur yang terjadi selama proses pemanasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan efek Seebeck mampu menghasilkan arus listrik yang sebanding dengan selisih temperatur antara sisi panas dan sisi dingin. Selain itu, pemasangan modul termoelektrik memberikan pengaruh terhadap distribusi panas pada radiator, yang cenderung memperlambat laju kenaikan suhu dibandingkan tanpa penggunaan sistem tersebut. Hal ini menunjukkan adanya potensi pemanfaatan energi panas terbuang sebagai sumber energi alternatif sekaligus membantu proses pendinginan. Kesimpulannya, sistem yang dirancang mampu memanfaatkan energi panas radiator menjadi energi listrik melalui efek Seebeck, serta memberikan kontribusi dalam mengendalikan laju kenaikan suhu radiator. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan teknologi pemanfaatan energi termal yang lebih efisien di masa mendatang.

Kata Kunci: *Efek Seebeck, termoelektrik, radiator, laju kenaikan suhu, energi panas, konversi energi*

Abstrack

This research aims to design and build a system for utilizing the Seebeck Effect in converting heat energy produced by radiators into electrical energy, as well as analyzing its effect on the rate of increase in radiator temperature. The Seebeck effect is a thermoelectric phenomenon that occurs due to temperature differences on two sides of a conductor or semiconductor material, resulting in an electric potential difference. The research methods used include tool design, prototyping, and system performance testing by utilizing thermoelectric modules placed on the surface of the radiator. Data collection is carried out by measuring changes in radiator temperature, the rate of increase in temperature, and the electric current produced due to temperature differences that occur during the heating process.

The research results show that the use of the Seebeck effect is able to produce an electric current that is proportional to the temperature difference between the hot side and the cold side. In addition, the installation of a thermoelectric module has an influence on the heat distribution in the radiator, which tends to slow down the rate of temperature increase compared to without the use of the system. This shows the potential for utilizing wasted heat energy as an alternative energy source while also helping the cooling process. In conclusion, the designed system is able to utilize the radiator's heat energy into electrical energy through the Seebeck effect, as well as contributing to controlling the rate of increase in the radiator temperature. It is hoped that this research can become the basis for developing more efficient thermal energy utilization technology in the future.

Keywords: *Seebeck effect, thermoelectric, radiator, temperature increase rate, heat energy, energy conversion*

PENDAHULUAN

Teknologi termoelektrik bisa digunakan sebagai alternatif untuk menangani masalah tersebut. Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas secara langsung (thermoelectric generator) [3]. Termoelektrik mengacu pada sebuah efek yang disebut efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang bekerja pada pembangkit termoelektrik adalah jika ada dua buah material atau lempeng logam yang tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik.

Di samping relatif lebih ramah lingkungan, teknologi ini sangat efisien, tahan lama, dan juga mampu menghasilkan energi dalam skala besar maupun kecil. Bahan utama yang digunakan untuk membuat generator termoelektrik juga bisa ditemukan dengan mudah di toko-toko elektronik. Teknologi ini juga disebutkan sebagai teknologi hijau yang dibutuhkan untuk sumber energi masa depan karena dapat memanfaatkan limbah panas. Pemanfaatan teknologi termoelektrik sudah banyak ditemukan pada penelitian sebelumnya, seperti penelitian yang dilakukan oleh Ryanuargo dengan judul "Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin" [4]. Pada penelitian ini, dirancang suatu sistem (pembangkit) listrik sederhana dengan memanfaatkan energi limbah panas dari kondensor dengan metode termoelektrik. Berdasarkan hasil percobaan, dengan suhu rata-rata 34°C, dihasilkan tegangan 3.14 Volt dan daya sebesar 0.16 Watt. Prinsip kerja Efek Seebeck berakar pada interaksi antara aliran panas dan aliran pembawa muatan (elektron dan hole) dalam suatu material. Apabila gradien temperatur (ΔT) diterapkan di sepanjang konduktor atau semikonduktor, maka pembawa muatan pada sisi yang panas akan memperoleh energi kinetik yang lebih tinggi dan berdifusi menuju sisi yang dingin. Proses difusi ini mengakibatkan akumulasi muatan pada satu ujung, sehingga menciptakan medan listrik internal dan beda potensial yang dapat diamati (Datta, 2019).

Konfigurasi dasar, dua material berbeda, misalnya semikonduktor tipe-p dan tipe-n, disambungkan secara elektrik secara seri dan secara termal secara paralel. Ketika perbedaan suhu diterapkan, elektron-elektron dalam semikonduktor tipe-n akan bergerak dari sisi panas ke sisi dingin, sementara hole (pembawa muatan positif) dalam semikonduktor tipe-p akan bergerak dalam arah yang sama. Pergerakan muatan yang terarah ini menghasilkan arus listrik searah (DC) ketika rangkaian luar tersambung (Chen, 2017). Tegangan Seebeck yang dihasilkan sebanding dengan perbedaan suhu:

$$V = S \cdot \Delta T$$

a. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja.

Kinerja dan efisiensi konversi energi pada perangkat berbasis Efek Seebeck dipengaruhi oleh beberapa faktor kunci:

1. **Perbedaan Suhu (ΔT):** Tegangan dan daya keluaran meningkat seiring dengan meningkatnya perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Menjadi faktor penggerak utama dalam proses konversi energi (Lee, 2020).
2. **Figure of Merit (ZT):** Merupakan parameter tak berdimensi yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja material termoelektrik. ZT didefinisikan sebagai $ZT = (S^2\sigma/\kappa)T$, di mana S adalah koefisien Seebeck, σ adalah konduktivitas listrik, κ adalah konduktivitas termal total, dan T adalah temperatur absolut. Material dengan nilai ZT yang tinggi (>1) dianggap efisien untuk aplikasi praktis (Datta, 2019).
3. **Konduktivitas Termal Material:** Konduktivitas termal yang rendah diperlukan untuk mempertahankan gradien suhu yang besar di sepanjang material, sehingga mencegah aliran panas yang cepat dari sisi panas ke sisi dingin yang akan mengurangi efisiensi (Chen, 2017).

4. Resistansi internal modul TEG mempengaruhi daya maksimum yang dapat ditransfer ke beban. Impedansi yang sesuai antara TEG dan beban eksternal sangat penting untuk mencapai transfer daya yang optimal.

METODE PENELITIAN

a. Road Map Penelitian

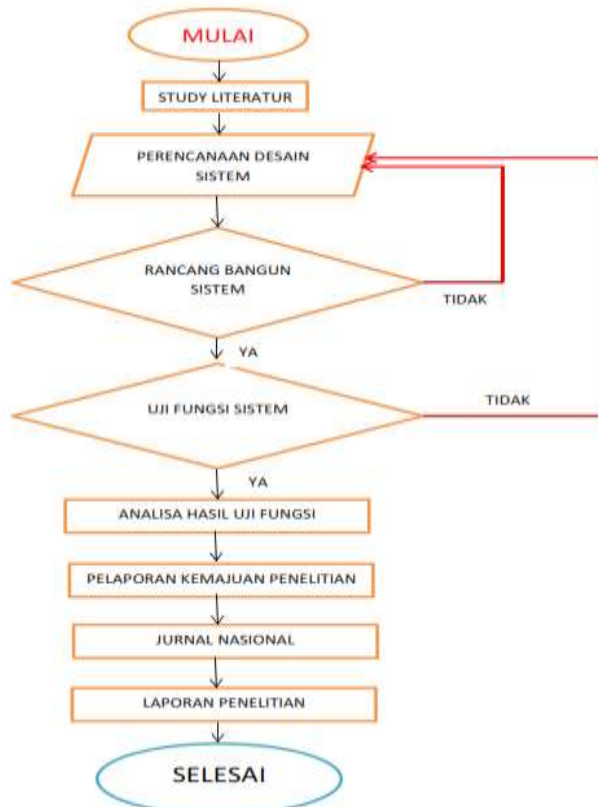
Road Map penelitian ini mengacu pada garis besar rencana penelitian yang akan kami kerjakan rancang bangun sistem paltier pada radiator untuk mengurangi laju perubahan suhu dan dapat menghasilkan listrik.



Gambar 1. Road Map Penelitian.

b. Teknik Pengumpulan Data

Rencana penelien ini menggunakan metode eksperimental. Dengan diagram alir penelitian sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

c. Teknik analisis data

Analisa data dilakukan dengan cara membandingkan antara perhitungan secara analytic dan numeric. Nilai data analytic dicari dengan persamaan efisiensi energy, maka akan diperoleh nilai dan grafik yang tepat sebagai pembandingan. Data numeric diperoleh dari pengumpulan data dengan parameter yang berpengaruh. Kemudian data diolah secara komputasi numeric. Penelitian dilakukan pengulangan tiga kali. Sehingga memenuhi syarat analisa untuk metode analisa standart deviasi dan standart error.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perakitan

perakitan merupakan proses pembuatan alat dengan merangkai bahan penelitian berupa komponen-komponen elektronika sesuai sistem kerja yang telah direncanakan sebelumnya ,tahap perakitan akan dilakukan dengan menggunakan bahan utama yang telah disediakan dan skema atau wiring diagram yang sudah disesuaikan dengan spesifikasi bahan yang sudah ditentukan.

Gambaran kerjanya dalam penelitian ini adalah rancangan pendingin tambahan pada sistem pendinginan motor (Radiator) dengan penambahan rangkaian peltier yang di rangkai seri pada hetsink yang sudah di sesuaikan ukurannya dan dipasangkan di radiator motor.perakitan dimulai dari menentukan ukuran hetsink yang harus disesuaikan dengan ukuran space pada radiator agar presisi dan tidak mengganggu kinerja radiator.



Gambar 3. Pemotongan Pendingin(Gambar Pribadi)

selanjutnya yaitu penyusunan posisi peltier pada hetsink yang sudah di sesuaikan dengan disertai pemberian pasta pada peltier. selanjutnya proses instalasi, ada hal yang perlu di ketahui yaitu pemasangan kutub negative dan positif pada peltier jangan sampai terbalik sehingga tidak mempengaruhi arus dari output peltier yang di rangkai seri dengan menghubungkan kutub positif ke kutub negative peltier satu dengan yang lain, sehingga dapat diperoleh besaran output yang optimal.



Ganmbar 4. Peltier Yang Sudah Di Rangkai (Gambar Pribadi)

Setelah perakitan peltier pada hetsink selesai sistem pendingin tambahan yang di buat siap untuk dipasangkan pada radiator motor. Sebelum dipasangkan bisa diteliti lagi apakah dalam perakitan peltier masih ada yang kurang tepat baik dari segi pemasangan hetsink ataupun penyambungan kabel yang masih longgar sehingga seluruh komponen dapat dipastikan bekerja dengan optimal. Pada pemasangan alat ini perlu dihati hati untuk memasukkan pengunci baut pada hetsink dan radiator supaya radiator tidak tergores dan menutup ventilasi yang berukuran

kecil dan pastikan pemasangan alat pada radiator cukup rapat untuk menjamin optimalnya alat yang bekerja dalam menyerap panas, ataupun terkena getaran diasaat motor dipakai untuk perjalanan.



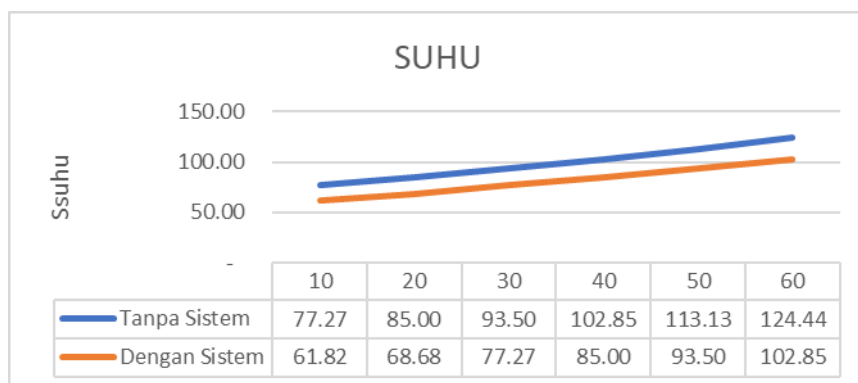
Gambar 5. Sistem Pending Tambahan Yang Terpasang

Pengambilan Data

Dalam proses pemantauan suhu, pengambilan data menjadi langkah penting untuk memahami kondisi termal sistem secara alami. sebagai berikut :

Tabel1. Data Suhu dan Effisiensi

Waktu	Tanpa Sistem	Dengan Sistem	Effisiensi
	Suhu	Suhu	Suhu
10	77.27	61.82	20.0%
20	85.00	68.68	19.2%
30	93.50	77.27	17.4%
40	102.85	85.00	17.4%
50	113.13	93.50	17.4%
60	124.44	102.85	17.4%



Grafik 6. Suhu Tanpa Pendingin

Berdasarkan prinsip termodinamika, dapat diprediksikan bahwa:

Pada menit-menit awal, perbedaan suhu antara kedua skenario mungkin belum signifikan, karena kapasitas panas sistem membutuhkan waktu untuk mencapai kondisi operasi modul Peltier. Pada fase operasi stabil, grafik suhu pada skenario Dengan Sistem diharapkan menunjukkan:

- Titik operasi maksimum (peak temperature) yang lebih rendah.
- Laju kenaikan suhu (slope kurva) yang lebih landai.
- Waktu yang lebih lama untuk mencapai suhu kritis tertentu.

Hal ini disebabkan oleh efek pendinginan aktif dari modul Peltier yang menyerap panas dari sistem.

- Nilai **Efisiensi** dalam tabel diharapkan menunjukkan tren yang meningkat seiring dengan naiknya suhu pada skenario baseline. Hal ini karena koefisien performa (COP) modul Peltier dan tegangan Seebeck umumnya meningkat seiring dengan membesarnya gradien temperatur (ΔT).
- Efisiensi tertinggi diharapkan terjadi pada rentang suhu operasi mesin yang optimal, di mana perbedaan suhu antara sumber panas dan heatsink cukup besar untuk mendukung kinerja termoelektrik yang baik, namun belum mencapai titik di mana disipasi panas menjadi tidak efektif.
Analisis dari tabel ini akan memberikan validasi empiris terhadap beberapa hipotesis penelitian:
- Kelayakan Teknis: Jika sistem konsisten menunjukkan efisiensi reduksi suhu positif ($>0\%$), maka fungsi utama sistem sebagai booster pendingin terbukti.
- Optimasi Energi: Jika daya listrik yang dihasilkan dari Efek Seebeck (yang dapat dihitung dari data tambahan) bernilai signifikan, sistem mendekati konsep energy-neutral atau bahkan energy-positive untuk komponen kelistrikannya sendiri.
- Stabilitas Termal: Kurva suhu yang lebih stabil dan landai pada skenario Dengan Sistem menunjukkan peningkatan stabilitas termal mesin, yang pada akhirnya dapat berkontribusi pada efisiensi pembakaran dan penurunan emisi.

KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan Kelayakan Teknis: Nilai Efisiensi dalam tabel diharapkan menunjukkan tren yang meningkat seiring dengan naiknya suhu pada skenario baseline. Hal ini karena koefisien performa (COP) modul Peltier dan tegangan Seebeck umumnya meningkat seiring dengan membesarnya gradien temperatur (ΔT). Efisiensi tertinggi diharapkan terjadi pada rentang suhu operasi mesin yang optimal, di mana perbedaan suhu antara sumber panas dan heatsink cukup besar untuk mendukung kinerja termoelektrik yang baik, namun belum mencapai titik di mana disipasi panas menjadi tidak efektif.

disarankan perbaikan pada komponen sistem dan komponen pendingin pada kendaraan yang digunakan untuk pengujian berikutnya harus lebih memperhatikan Kelayakan Teknis: Jika sistem konsisten menunjukkan efisiensi reduksi suhu positif ($>0\%$), maka fungsi utama sistem sebagai booster pendingin terbukti. optimasi Energi: Jika daya listrik yang dihasilkan dari Efek Seebeck (yang dapat dihitung dari data tambahan) bernilai signifikan, sistem mendekati konsep energy-neutral atau bahkan energy-positive untuk komponen kelistrikannya sendiri. stabilitas Termal: Kurva suhu yang lebih stabil dan landai pada skenario Dengan Sistem menunjukkan peningkatan stabilitas termal mesin, yang pada akhirnya dapat berkontribusi pada efisiensi pembakaran dan penurunan emisi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chen, G. (2017). *Nanoscale Energy Transport and Conversion*. Oxford University Press.
- [2] Datta, S. (2019). *Lessons from Nanoelectronics: A New Perspective on Transport*. World Scientific.
- [3] Goldsmid, H. J. (2016). *Introduction to Thermoelectricity*. Springer.
- [4] Lee, J. (2020). *Thermoelectric Devices: Principles, Design, and Applications*. CRC Press.
- [5] Rowe, D. M. (Ed.). (2018). *Thermoelectrics Handbook: Macro to Nano*. CRC Press.

-
- [6] Snyder, G. J., & Toberer, E. S. (2008). Complex thermoelectric materials. *Nature Materials*, 7(2), 105-114.
 - [7] DiSalvo, F. J. (1999). Thermoelectric cooling and power generation. *Science*, 285(5428), 703-706.
 - [8] Bell, L. E. (2008). Cooling, heating, generating power, and recovering waste heat with thermoelectric systems. *Science*, 321(5895), 1457-1461.