REKAYASA
Journal of Science and Technology
https://journal.trunojoyo.ac.id/rekayasa

Rekayasa, 2025; 18(3): 430-438
ISSN: 0216-9495 (Print)
ISSN: 2502-5325 (Online)

Optimalisasi Kinerja Thermoelectric Generator (TEG) melalui Analisis Distribusi Kalor dan luaran Listrik dengan Variasi Sirip Penukar Panas

Nugroho Tri Atmoko[1*], Agus Jamaldi[2], Ulikaryani[1], Ghia Pisti Cikarge[1]
[1]Politeknik Negeri Cilacap
Jl Dr.Soetomo 1 Sidakaya Cilacap 53212 Jawa Tengah
[2]Sekolah Tinggi Teknologi Warga Surakarta
Jl Kebangkitan Nasional No. 17 Sriwedari Laweyan Kota Surakarta Jawa Tengah
*E-mail Korespondensi : nugroho.ta@pnc.ac.id
DOI: https://doi.org/10.21107/rekayasa.v18i3.30546
Submitted June 17th 2025, Accepted November 27th 2025, Published December 7th 2025

Abstrak

Pemanfaatan panas terbuang dari kompor gas konvensional sebagai energi listrik merupakan salah satu upaya peningkatan efisiensi energi rumah tangga. Teknologi thermoelectric generator (TEG) memungkinkan konversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung tanpa komponen bergerak. Penelitian ini bertujuan mengkaji performa TEG dalam memanfaatkan panas buang kompor gas melalui penerapan variasi sirip penukar panas untuk meningkatkan penyerapan energi. Tiga jenis sirip, yaitu sirip panjang, sirip pendek, dan sirip acak, digunakan sebagai media penukar panas yang dipasangkan pada selubung kompor gas yang telah dimodifikasi. Empat modul TEG dirangkai secara seri dan diuji untuk mengukur suhu kerja serta luaran listrik yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi sirip pada penukar panas memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi panas dan kinerja TEG. Model sirip acak terbukti memiliki kemampuan penyerapan panas paling tinggi, yaitu sebesar 94,112 J/s, sehingga meningkatkan beda temperatur pada modul TEG. Konsisten dengan hal tersebut, model sirip acak menghasilkan daya listrik tertinggi, yakni 3,369 Watt, dibandingkan dua model sirip lainnya. Temuan ini menegaskan bahwa geometri sirip berperan penting dalam optimalisasi transfer panas pada sistem TEG. Dengan demikian, penggunaan sirip acak merupakan pilihan paling efektif dalam aplikasi TEG pada kompor gas karena mampu meningkatkan efisiensi penyerapan panas sekaligus menghasilkan keluaran listrik yang lebih besar. Temuan ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk implementasi energi mandiri pada perangkat rumah tangga.

Kata Kunci: panas terbuang, kompor gas, termoelektrik generator, sirip penukar panas, luaran listrik.

Abstract

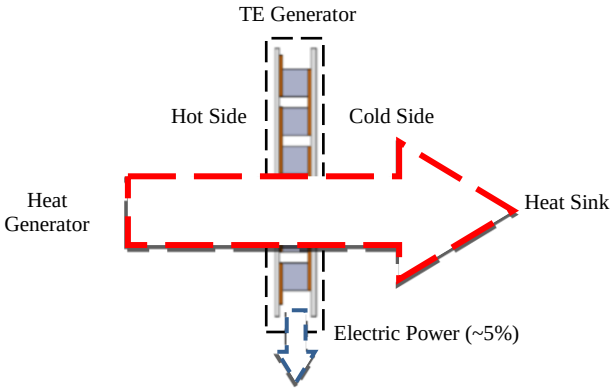
The utilization of waste heat from conventional gas stoves as electrical energy represents an effort to improve household energy efficiency. Thermoelectric generator (TEG) technology enables the direct conversion of thermal energy into electrical energy without moving components. This study aims to investigate the performance of TEGs in harnessing waste heat from gas stoves through the application of various heat-sink fin configurations to enhance thermal absorption. Three types of fins—long fins, short fins, and random fins—were employed as heat exchangers and mounted on a modified stove enclosure. Four TEG modules were connected in series and tested to measure operating temperatures and the resulting electrical output. The findings indicate that fin configuration significantly influences heat distribution and TEG performance. The random fin model demonstrated the highest heat absorption capability, reaching 94.112 J/s, thereby increasing the temperature gradient across the TEG modules. Consequently, the random fin model also produced the highest electrical output, generating 3.369 Watts, outperforming the other fin designs. These results highlight the critical role of fin geometry in optimizing heat transfer within TEG systems. In conclusion, the random fin configuration is the most effective heat exchanger design for TEG applications on gas stoves, as it enhances heat absorption efficiency and delivers greater electrical power output. This finding offers important potential for further development of self-sustaining energy systems in household appliances.

Key words*: waste heat, gas stove, thermoelectric generator, fin heat exchanger, power output*

PENDAHULUAN

Keberhasilan pemerintah Indonesia dalam menjalankan program konversi penggunaan kompor berbahan bakar minyak menjadi kompor berbahan bakar gas LPG pada tahun 2007 bisa dikatakan berhasil (Thoday *et al.,* 2018). Namun, perlu diketahui bahwa efisiensi energi panas yang dimanfaatkan untuk memasak pada kompor gas LPG konvensional hanya berkisar 66.27% atau 1.784 KW dari total energi yang disuplai ke kompor gas, sedangkan sisanya terbuang ke lingkungan dalam bentuk energi panas dan gas hasil pembakaran (Gohil & Channiwala, 2011). Jika diamati lebih jauh terkait mekanisme sistem kompor

gas LPG, terdapat potensi untuk memanfaatkan panas yang terbuang ke lingkungan dari hasil pembakaran pada kompor gas LPG menjadi energi lain yang lebih bermanfaat. Pembangkit energi listrik dengan cara memanfaatkan energi panas buang menarik banyak perhatian di kalangan peneliti setidaknya dalam waktu tiga dekade terakhir menggunakan modul thermoelectric generator (TEG) (Elghool *et al.,* 2017). Thermoelectric generator adalah teknologi yang secara langsung merubah selisih suhu pada kedua sisi permukaan TEG menjadi energi listrik melalui efek *seebeck* serta komponen material semikonduktor yang menyusun TEG. Namun, TEG tersebut memiliki efisiensi konversi cukup rendah yakni berkisar antara 5-8% (Barma *et al.*, 2015; Champier *et al.*, 2011). Pengembangan kembali termoelektrik sebenarnya sudah dimulai sejak dua dekade terakhir ini (Champier, 2017b). Bahan yang umum digunakan sebagai material module TEG adalah *bismuth telluride* (Bi_2Te_3) (Champier *et al.,* 2011). Prinsip dasar termoelektrik generator dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Prinsip dasar termoelectric generator (Atmoko *et al.,* 2022)

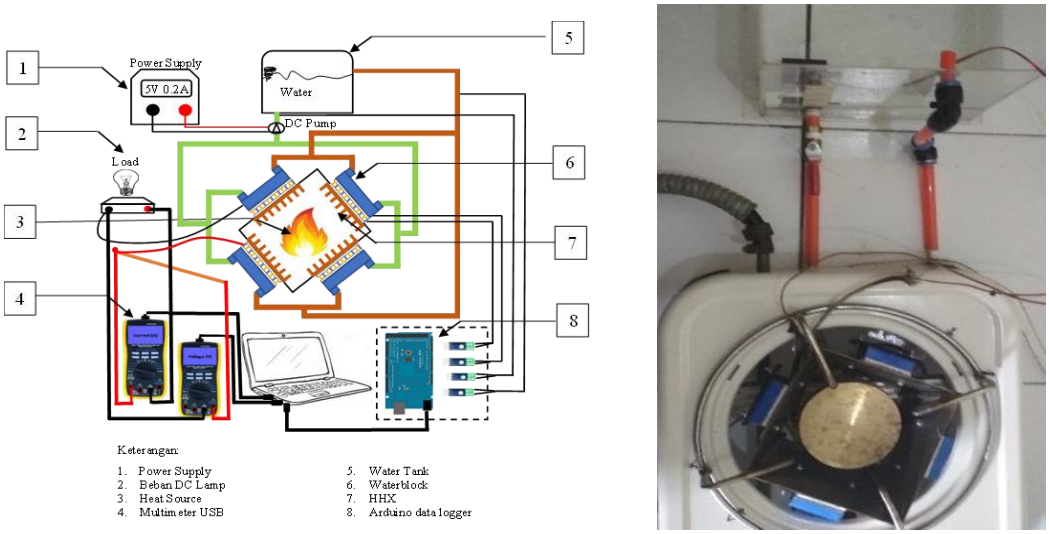
Secara garis besar terdapat tiga komponen utama pada pengaplikasian modul TEG dengan memanfaatkan energi panas terbuang yaitu: *Hot-side Heat Exchanger*, *thermoelectic module* dan *Cold-side Heat Exchanger*. Untuk memaksimalkan kinerja secara keseluruhan, maka tiga komponen tersebut harus diperhatikan (Borcuch *et al.,* 2017; Rezania *et al.*, 2013). Ada banyak jenis sirip penukar panas yang umum digunakan pada pemanfaatan panas terbuang menggunakan modul TEG diantaranya adalah *metal foam* (Nithyanandam & Mahajan, 2023) dan plat bersirip (Liu *et al.*, 2022; Reddy *et al.,* 2015).

Berdasarkan berbagai studi terdahulu, kinerja TEG sangat dipengaruhi oleh karakteristik perpindahan panas pada sisi *hot surface*, khususnya geometri sirip penukar panas yang menentukan distribusi temperatur dan kestabilan gradien panas (Liu *et al.*, 2014; Manikandan & Kaushik, 2015). Beberapa penelitian sebelumnya telah mengevaluasi pengaruh dimensi sirip seperti lebar dan ketebalan terhadap peningkatan selisih suhu pada modul TEG (Champier, 2017a), namun kajian mengenai variasi bentuk sirip yang diaplikasikan langsung pada kompor gas rumah tangga masih sangat terbatas. Selain itu, sebagian besar penelitian lebih berfokus pada sistem TEG skala industri atau waste heat recovery mesin pembakaran, sehingga belum ada penelitian yang secara langsung mengkaji konfigurasi sirip kecil, panjang, dan acak pada sumber panas berskala domestik yang memiliki fluktuasi temperatur tinggi serta area kontak panas yang relatif sempit (Technologies & Tregenza, 2023).

Selain itu diketahui bahwa luaran listrik dan performa maksimal dari sistem TEG dipengaruhi oleh: lebar sirip penukar panas, ketebalan sirip penukar panas dan bentuk sirip penukar panas (Liu *et al.,* 2014). Karena belum tersedianya analisis komprehensif mengenai pengaruh variasi bentuk sirip penukar panas terhadap performa TEG yang dipasang pada kompor gas LPG sebagai sumber panas limbah rumah tangga, maka pada penelitian ini memiliki tujuan untuk mengidentifikasi bentuk sirip penukar panas yang mampu menghasilkan daya listrik paling optimal dari modul TEG pada kondisi operasi kompor gas. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan data eksperimental baru terkait pengaruh geometri sirip terhadap peningkatan energi listrik dari sistem TEG skala domestik, sekaligus menawarkan pendekatan desain penukar panas yang lebih efektif dan dapat direplikasi pada teknologi pemanfaatan panas limbah rumah tangga berbasis TEG.

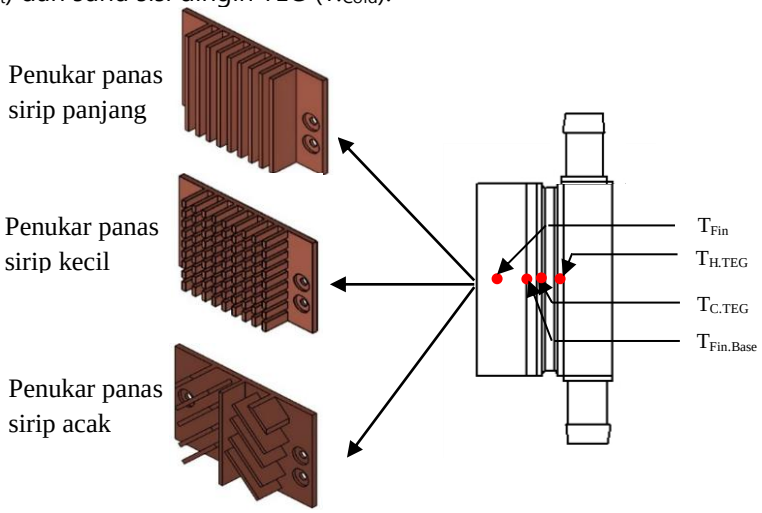
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari-Agustus di Laboratorium Teknik Mesin dengan memanfaatkan sebuah kompor gas yang telah dimodifikasi sehingga memungkinkan pemasangan modul *Thermoelectric Generator* (TEG) berjenis SP1848-27145 SA pada dinding selubung kompor (Widodo *et al.,* 2022). Gambar 2 menunjukkan skema penelitian pemanfaatan panas buang dari kompor gas. Dari skema tersebut diketahui bahwa sistem pendingin air bersirkulasi dengan volume 4 liter digunakan untuk mempertahankan temperatur sisi dingin modul. Peralatan yang digunakan dalam pengujian meliputi Arduino data logger sebagai akuisisi data temperatur, multimeter USB untuk mengukur tegangan dan arus keluaran, termokopel tipe-K, beban lampu DC untuk menentukan nilai *net power output*, serta stopwatch dan *water flow meter* untuk memastikan kestabilan debit air pendingin. Kompor dinyalakan hingga mencapai kondisi tunak, kemudian data temperatur sisi panas dan sisi dingin TEG direkam secara kontinu, sementara luaran listrik dicatat pada setiap variasi bentuk sirip penukar panas dan setiap pengujian diulang sebanyak tiga kali.



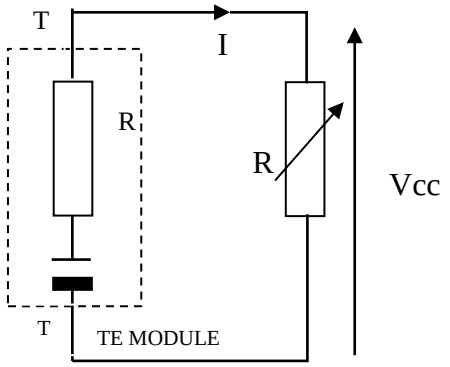
Gambar 2. a) Skema penelitian dan b) proses pengambilan data pada pemanfaatan panas buang kompor gas LPG menggunakan modul TEG dengan variasi sirip penukar panas

Bentuk dari sirip penukar panas serta posisi pengambilan data suhu pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3. Pengambilan data suhu memanfaatkan thermocouple type K yang dikombinasikan dengan sensor suhu MAX 6675 dan arduino mega. Pengambilan data suhu dilakukan pada permukaan suhu sisi panas TEG ($T_{.Hot}$) dan suhu sisi dingin TEG ($T_{.Cold}$).



Gambar 3. Bentuk sirip penukar panas dan posisi pengambilan data suhu

Analisis data dilakukan dengan menghitung laju perpindahan panas dan luaran listrik yang dihasilkan oleh modul berdasarkan formulasi yang ada. Gambar 4. menunjukkan rangkaian elektrik sistem TEG ketika diberi beban dari luar berupa lampu DC. Pembebanan ini bertujuan untuk mencari daya maksimum yang ditransfer modul TEG jika menggunakan lebih dari 1 modul. Perhitungan kinerja TEG pada rangkaian listrik dengan beban lampu dilakukan sebagai berikut (Royale & Simic, 2015):



Gambar 4. Sirkuit listrik pada sistem TEG (Nugroho Tri Atmoko et al., 2021)

Tegangan TEG tanpa pembebanan Voltage Open Circuit:

$$V_{oc} = a(T_H - T_c) \quad (1)$$

Current Arus listrik yang mengalir melalui rangkaian sistem TEG:

$$I = a.\Delta T/(R_i + R_L) = \frac{V_{oc}}{2R_i} \quad (2)$$

Net power output from GSPTG:

$$P_{max} = N\, I^2 R_L = N\, \frac{a^2(T_H - T_c)^2}{4R_L} \quad (3)$$

Ketika TEG diaplikasikan pada kompor gas, perlu diketahui bahwa kesetimbangan energi yang terjadi pada kompor gas tersebut mengikuti hukum termodinamika I (hukum kekekalan energi) yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan (Najjar & Kseibi, 2016). Namun karena nilai kalor udara yang masuk kompor terlalu kecil sehingga dapat diabaikan dan terdapat efisiensi pembakaran dalam kompor gas (Atmoko *et al.,* 2023). Sehingga kesetimbangan energi yang terdapat pada kompor gas dapat mengikuti persamaan dibawah ini:

$$\mu_c.Q_{LPG} = Q_{api} + Q_{dinding} + Q_{sirip} \quad (4)$$

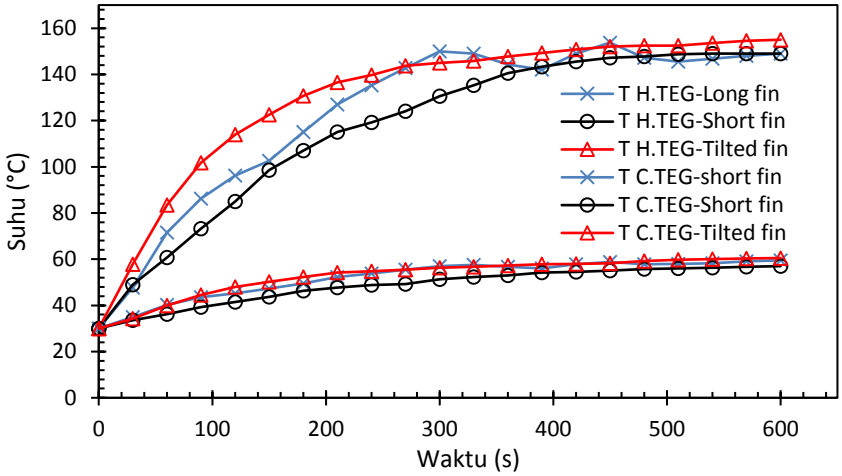
$$Q_{sirip} = (A_{unfin}.h_i.(T_f - T_{fin}) + \mu_{fin}.A_{fin}.h_i.(T_f - T_{fin})) + (\varepsilon_f.\sigma.A_{fin}.{T_f}^4) \quad (5)$$

Dimana Q_{sirip} adalah energi panas yang diserap oleh sirip penukar panas, sedangkan h_i merepresentasikan koefisien perpindahan panas di dalam kompor gas, A_{fin} yaitu total luas sirip, T_f merupakan suhu nyala api pada tekanan konstan sedangkan T_{fin} adalah, σ merupakan ketetapan stefan boltzmann dan ε_f adalah emisivitas gas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Selisih Suhu Permukaan TEG

Hasil pengambilan data pada variasi sirip penukar panas pendek, panjang dan acak ditampilkan pada Gambar 5. Adapun komponen yang diukur adalah suhu pada permukaan sisi panas TEG ($T._{Hot}$) dan suhu sisi dingin TEG ($T._{Cold}$). Dari grafik dapat diketahui bahwa penggunaan sirip penukar panas dengan bentuk tilted fin tercatat memiliki suhu paling tinggi. Ketika menggunakan sirip penukar panas panjang perubahan suhu yang terjadi cenderung tidak stabil, hal ini dimungkinkan karena terjadinya sirkulasi udara yang cukup tinggi sekitar kompor gas yang menyebabkan sumber panas tidak stabil. Sedangkan penggunaan sirip penukar panas pendek menghasilkan suhu pada permukaan panas TEG paling rendah. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan sirip penukar panas pendek lebih efektif untuk mentransfer energi kalor dari sumber panas (Widodo *et al.,* 2025). Disisi lain penggunaan variasi sirip penukar panas tidak berpengaruh banyak terhadap perubahan suhu pada permukaan dingin TEG.



Gambar 5. Hasil pengambilan suhu permukaan *hot* dan *cold* TEG dengan variasi sirip penukar panas pendek, panjang dan acak.

Energi kalor yang diserap

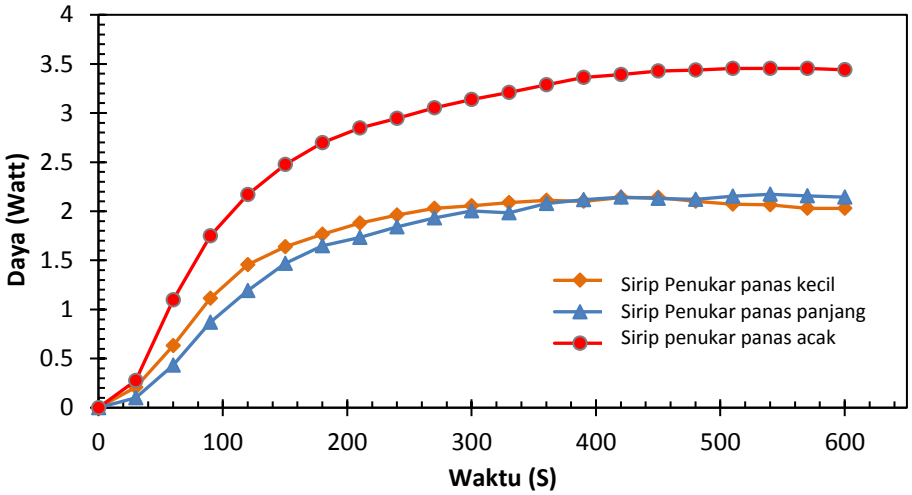
Hasil perhitungan kalor yang diserap oleh sirip penukar panas pada kompor gas yang telah dimodifikasi dapat dilihat pada Tabel 1. Dari tabel hasil perhitungan kesetimbangan energi yang terjadi maka diketahui bahwa variasi sirip penukar panas akan mempengaruhi kesetimbangan energi yang terjadi pada kompor gas modifikasi. Berdasarkan perhitungan sesuai dengan persamaan (4-5) maka penggunaan sirip penukar panas model acak mampu menyerap energi kalor dari sumber panas paling banyak yakni 94.112 J/s, sedangkan penggunaan sirip penukar panas sirip pendek dan kecil menyerap energi kalor dari sumber panas lebih sedikit. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan sirip penukar panas model acak lebih efektif digunakan sebagai komponen penukar kalor pada sisi panas TEG dibandingkan dengan sirip pendek dan sirip kecil.

Tabel 1. Energi kalor yang diserap oleh sirip penukar panas berdasarkan perhitungan

No	Model sirip penukar panas	T.Wall (K)	T.Ambient (K)	Kalor yang diserap oleh sirip penukar panas (Q, J/s)
1	Sirip penukar panas model kecil	429.58	305	**87.406**
2	Sirip penukar panas model Panjang	433.44	305	**90.333**
3	Sirip penukar panas model acak	438.68	305	**94.112**

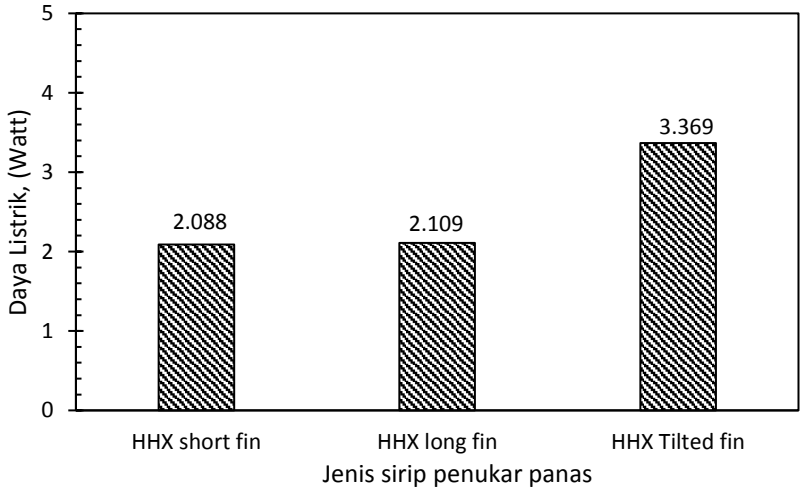
Kinerja TEG

Gambar 6 menunjukkan pengaruh variasi sirip penukar panas terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh TEG yang diaplikasikan pada kompor gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan sirip penukar panas dengan bentuk berbeda mempengaruhi luaran daya yang dihasilkan oleh TEG, luaran Listrik berupa daya yang didapat dari selisih suhu pada permukaan TEG yang menghasilkan luaran *output* berupa voltage dan current disetiap variasi sirip penukar panas. Sedangkan daya merupakan perkalian dari arus dengan tegangan.



Gambar 6. Hubungan antara variasi sirip penukar panas terhadap daya yang dihasilkan TEG

Gambar 7 menunjukkan perbandingan hasil kinerja berupa daya yang dihasilkan oleh modul TEG antara perhitungan menggunakan formulasi dengan pengukuran hasil eksperimen. Pada variasi sirip panjang daya listrik yang dihasilkan berdasarkan hasil pengukuran sebesar 2.109 Watt sedangkan hasil perhitungan didapatkan daya sebesar 5.727 Watt. Selanjutnya untuk daya yang dihasilkan oleh sirip penukar panas model pendek dari hasil pengukuran dan perhitungan masing-masing sebesar 2.008 Watt dan 5.911 Watt. Dari ketiga variasi sirip penukar panas yang digunakan, sirip penukar panas model acak menghasilkan daya yang paling tinggi dibandingkan yang lain. Hasil pengukuran dan luaran listrik yang terukur dari TEG bahwa penggunaan sirip penukar panas model acak masing-masing sebesar 3.369 dan 6.035 Watt. Hal ini dikarenakan laju perpindahan panas yang paling optimal terjadi pada variasi sirip penukar panas model acak selain itu, perbedaan antara hasil pengukuran dan perhitungan pada kinerja TEG yang diaplikasikan pada kompor gas berupa daya dimungkinkan karena adanya *heat loss* yang terjadi ketika eksperimen berlangsung, sedangkan pada saat perhitungan *heat loss* diabaikan (Liu *et al.*, 2018).



Gambar 7. Hubungan antara variasi sirip penukar panas terhadap daya maksimal yang dihasilkan TEG

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sirip lurus pada penukar panas mampu meningkatkan beda temperatur (ΔT) dan keluaran listrik modul TEG secara signifikan. Temuan ini konsisten dengan teori perpindahan panas yang menyatakan bahwa penambahan luas permukaan melalui sirip dapat meningkatkan heat flux menuju modul (Safi'i *et al.*, 2024). Secara khusus, peningkatan ΔT dari 39 °C menjadi 200 °C sejalan dengan hasil Zhang et al., yang melaporkan bahwa geometri sirip dengan area lebih besar secara efektif memperbaiki distribusi temperatur pada aplikasi TEG (Zhang & Zhao, 2015).

Hasil penelitian ini juga mendukung temuan Rjafallah et al., bahwa keseragaman temperatur pada permukaan hot-side merupakan faktor kunci peningkatan performa listrik TEG. Peningkatan tegangan dan arus yang terjadi masing-masing dari 0,7 V menjadi 0,9 V dan dari 2,78 mA menjadi 2,98 mA menegaskan bahwa desain sirip mampu memperbaiki stabilitas termal modul, sehingga mengurangi *thermal mismatch* sebagaimana dijelaskan dalam studi mereka (Rjafallah *et al.,* 2024). Selain itu, peningkatan daya listrik dari 19 mW menjadi 27 mW menguatkan laporan Babu et al., bahwa modifikasi penukar panas berbasis sirip dapat meningkatkan efisiensi konversi energi termoelektrik pada sumber panas bersuhu menengah. Berbeda dengan penelitian tersebut yang menitikberatkan pada variasi material, penelitian ini memberikan kontribusi baru pada efek geometrik sirip terhadap performa MTEG dalam konfigurasi panas buang berskala kecil (Babu & Kumar, 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan perhitungan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sirip penukar panas yang diaplikasikan pada modul TEG mempengaruhi kesetimbangan energi dan daya listrik yang dihasilkan dari kompor gas modifikasi. Penggunaan sirip penukar panas model acak menyerap energi kalor dari sumber panas paling banyak yakni sebesar 94.112 J/s. Hasil pengukuran dan perhitungan luaran berupa daya dari TEG yang diaplikasikan pada kompor gas menggunakan sirip penukar panas model acak juga didapatkan nilai tertinggi dibandingkan dengan variasi sirip panjang dan kecil, dimana hasil pengukuran dan perhitungan didapatkan nilai masing-masing sebesar 3.369 Watt dan 6.035 Watt. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan sirip penukar panas model acak lebih efektif digunakan sebagai komponen penukar kalor pada sisi panas TEG.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih atas dukungan pendanaan oleh Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains dan Teknologi melalui Program Penelitian Dosen Pemula (PDP) Tahun 2025 berdasarkan Kontrak Nomor: 084/PL43/AL.04/2025.

DAFTAR PUSTAKA

Atmoko, N. T., Jamaldi, A., & Riyadi, T. W. B. (2022). An Experimental Study of the TEG Performance using Cooling Systems of Waterblock and Heatsink-Fan. *Automotive Experiences*, *5*(3), 361–367. https://doi.org/10.31603/ae.6250

Atmoko, N. T., Riyadi, T. W. B., Utomo, B. R., Jamaldi, A., & Nugroho, A. S. (2023). Heat Transfer Analysis and Performance Investigation of Generator Thermoelectric Applied in LPG Stove Waste Heat Recovery. *International Journal of Renewable Energy Research*, *13*(1), 70–76. https://doi.org/10.20508/ijrer.v13i1.13137.g8696

Atmoko, N. T., Veza, I., Widodo, T., & Riyadi, B. (2021). *Study On The Energy Conversion In The Thermoelectric Liquefied Petroleum Gas Cooking Stove With Different Cooling Methods*. *69*(1), 185–193. https://doi.org/10.14445/22315381/IJETT-V69I1P228

Barma, M. C., Riaz, M., Saidur, R., & Long, B. D. (2015). Estimation of thermoelectric power generation by recovering waste heat from Biomass fired thermal oil heater. *Energy Conversion and Management*, *98*, 303–313. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.03.103

Borcuch, M., Musiał, M., Gumuła, S., Sztekler, K., & Wojciechowski, K. (2017). Analysis of the fins geometry of a hot-side heat exchanger on the performance parameters of a thermoelectric generation system. *Applied Thermal Engineering*, *127*, 1355–1363. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.08.147

Champier, D., Bédécarrats, J. P., Kousksou, T., Rivaletto, M., Strub, F., & Pignolet, P. (2011). Study of a TE (thermoelectric) generator incorporated in a multifunction wood stove. *Energy*, *36*(3), 1518–1526. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.012

Champier, Daniel. (2017a). Thermoelectric generators: A review of applications. *Energy Conversion and*

Management, *140*, 167–181. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.02.070

Champier, Daniel. (2017b). *Thermoelectric Generators: A Review of Present and Future Applications*. *October*, 19–23. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45677-5

Elghool, A., Basrawi, F., Ibrahim, T. K., Habib, K., Ibrahim, H., & Idris, D. M. N. D. (2017). A review on heat sink for thermo-electric power generation: Classifications and parameters affecting performance. *Energy Conversion and Management*, *134*, 260–277. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.12.046

Gohil, P. P., & Channiwala, S. A. (2011). Experimental Investigation of Performance of Conventional LPG Cooking Stove. *Fundamental J. Thermal Science and Engineering*, *1*(1), 25–34. http://www.frdint.com/

He, W., Wang, S., Zhang, X., Li, Y., & Lu, C. (2015). Optimization design method of thermoelectric generator based on exhaust gas parameters for recovery of engine waste heat. *Energy*, *91*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.022

Kumar, P. M., Babu, V. J., & Subramanian, A. (2019). *The Design of a Thermoelectric Generator and Its Medical Applications*. 1–26. https://doi.org/10.3390/designs3020022

Liu, J., Yadav, S., & Kim, S. C. (2022). Performance of a thermoelectric generator system for waste heat recovery utilizing plate fin heat sink in bronze ingot casting industry. *Case Studies in Thermal Engineering*, *38*(August), 102340. https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102340

Liu, X., Deng, Y. D., Zhang, K., Xu, M., Xu, Y., & Su, C. Q. (2014). Experiments and simulations on heat exchangers in thermoelectric generator for automotive application. *Applied Thermal Engineering*, *71*(1), 364–370. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2014.07.022

Lv, H., Li, G., Zheng, Y., Hu, J., & Li, J. (2018). *Compact Water-Cooled Thermoelectric Generator*. https://doi.org/10.3390/en11092231

Lv, S., He, W., Jiang, Q., Hu, Z., Liu, X., Chen, H., & Liu, M. (2018). Study of different heat exchange technologies influence on the performance of thermoelectric generators. *Energy Conversion and Management*, *156*(October 2017), 167–177. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.11.011

Manikandan, S., & Kaushik, S. C. (2015). Thermodynamic studies and maximum power point tracking in thermoelectric generator-thermoelectric cooler combined system. *Cryogenics*, *67*, 52–62. https://doi.org/10.1016/j.cryogenics.2015.01.008

Najjar, Y. S. H., & Kseibi, M. M. (2016). Heat transfer and performance analysis of thermoelectric stoves. *Applied Thermal Engineering*, *102*(March), 1045–1058. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.03.114

Nithyanandam, K., & Mahajan, R. L. (2023). Evaluation of metal foam based thermoelectric generators for automobile waste heat recovery. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *122*, 877–883. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.02.029

Reddy, G. N., Venkatesan, V., & Maniyar, U. (2015). Estimation of harvestable energy from vehicle waste heat. *International Conference on Renewable Energy Research and Applications, ICRERA 2015*, *5*, 618–625. https://doi.org/10.1109/ICRERA.2015.7418487

Rezania, A., Yazawa, K., Rosendahl, L. A., & Shakouri, A. (2013). Co-optimized design of microchannel heat exchangers and thermoelectric generators. *International Journal of Thermal Sciences*, *72*, 73–81. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2013.05.002

Royale, A., & Simic, M. (2015). Research in vehicles with thermal energy recovery systems. *Procedia Computer Science*, *60*(1), 1443–1452. https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.221

Technologies, S. E., & Tregenza, O. (2023). *A review of thermoelectric generators for waste heat recovery in marine applications*. *August*. https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103394

Thoday, K., Benjamin, P., Gan, M., & Puzzolo, E. (2018). The Mega Conversion Program from kerosene to

LPG in Indonesia: Lessons learned and recommendations for future clean cooking energy expansion. *Energy for Sustainable Development*, *46*, 71–81. https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.05.011

Widodo, T., Riyadi, B., Nugraha, N. A., Suroto, E. M., Sulistyanto, A., & Hendrawan, A. (2025). *Effect of Mass Flow Rates of the Liquid Petroleum Gas on the Power of the Thermoelectric Generator*. *440*, 61–67. https://doi.org/10.4028/p-D7Bcru

Widodo, T., Riyadi, B., Radiant, B., Effendy, M., Tri, A., & Al-kayiem, H. H. (2022). Effect of thermal cycling with various heating rates on the performance of thermoelectric modules. *International Journal of Thermal Sciences*, *178*(March), 107601. https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107601

Widodo, T., Riyadi, B., Soumi, A. I., & Hendrawan, A. (2024). Performance Assessment of a Photovoltaic Cell Coupled with a Thermoelectric Generator †. *MDPI: Engineering Proceedings*.