



Harapan Marpaung¹
 Mitra Djamal²
 Linus Pasasa³
 Alamta Singarimbun⁴
 Wahyu Srigutomo⁵
 Ni Ketut Lasmia⁶

INOVASI PENERANGAN: LILIN SEBAGAI ALTERNATIF ENERGI LISTRIK BERBASIS TERMOELEKTRIK. SEBUAH KAJIAN EKSPERIMENTAL

Abstrak

Teknologi pembangkit listrik berbasis termoelektrik (Thermoelectric Generator /TEG) adalah salah satu metode konversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung jika terjadi perbedaan suhu antara sisi panas T_h dan sisi dingin T_c antara kedua sisi TEG. Salah satu penyebab perkembangan teknologi termoelektrik belum menggembirakan, karena efisiensi TEG yang tersedia saat ini secara komersil masih relatif rendah, umumnya masih berkisar antara 4 % hingga 5%, dan efisiensinya akan masih berkurang jika sudah menghasilkan listrik. Pemanfaatan teknologi ini masih terbatas pada suhu tinggi ($>200\text{ }^\circ\text{C}$) sedangkan untuk suhu rendah ($<150\text{ }^\circ\text{C}$) belum banyak menarik minat para peneliti. Karakteristik termoelektrik yang khas yakni sekecil apapun beda suhu antara sisi panas dan sisi dingin pasti akan menghasilkan energi listrik dan dalam penelitian ini akan dikembangkan suatu perangkat yang dapat menghasilkan energi listrik hingga 1 watt dengan sumber panas dari lilin. Pada eksperimen ini akan dikaji bahwa lilin dapat menjadi sumber energi listrik berbasis termoelektrik untuk penerangan masa depan. Tipe termoelektrik yang digunakan pada eksperimen ini adalah TEC1-12706, SP1848 dan TEG1-241-01.4-1.2.

Kata Kunci: Energi, Lilin, Listrik, TEG, Termoelektrik.

Abstract

Thermoelectric-based power generation technology (Thermoelectric Generator / TEG) is a method of directly converting heat energy into electrical energy if there is a temperature difference between the hot side of T_h and the cold side of T_c between the two sides of the TEG. One of the reasons why the development of thermoelectric technology has not been encouraging, is that the efficiency of TEGs currently available commercially is still relatively low, generally ranging from 4% to 5%, and the efficiency will still decrease when electricity is generated. The use of this technology is still limited to high temperatures ($> 200\text{ }^\circ\text{C}$) while low temperatures ($<150\text{ }^\circ\text{C}$) have not attracted much interest from researchers. Typical thermoelectric characteristics, namely the slightest temperature difference between the hot side and the cold side will definitely generate electrical energy and in this research a device will be developed that can generate up to 1 watt of electrical energy with a heat source from a candle. In this experiment, it will be studied that candles can be a source of thermoelectric-based electrical energy for future lighting. The thermoelectric types used in this experiment are TEC1-12706, SP1848 and TEG1-241-01.4-1.2.

Keywords: Candles, Electricity, Energy, TEG, Thermoelectric.

PENDAHULUAN

Teknologi pembangkit listrik berbasis termoelektrik (Thermoelectric Generator/TEG) selanjutnya disebut TEG ditemukan oleh Johan Seebeck (Brand, 2017) merupakan salah satu

^{1,3,4,5}KK Fisika Bumi dan Sistem kompleks, FMIPA, Institut Teknologi Bandung

^{2,6}KK Fisika Instrumentasi dan Komputasi, FMIPA, Institut Teknologi Bandung
 email: lpasasa@itb.ac.id

metode konversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung. Pembangkitan energi listrik terjadi apabila terdapat perbedaan suhu (ΔT) antara sisi panas T_h dan sisi dingin T_c antara kedua sisi termoelektrik (Goldmid, 2010). Usaha mekanik tidak diperlukan pada teknologi konversi energi termoelektrik, sehingga teknologi ini tidak membutuhkan ruang yang besar, jangka waktu pemeliharaan alat lebih lama, tidak menghasilkan gas buang hasil pembakaran, serta tidak menggunakan zat kimia yang mencemari lingkungan. Hal tersebut menjadikan termoelektrik sebagai teknologi konversi energi yang sangat andal dan ramah lingkungan dibandingkan dengan teknologi konversi energi konvensional, seperti turbin uap (Liu, 2014). Teknologi termoelektrik sebagai perangkat konversi energi belum dimanfaatkan secara optimal di Indonesia. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan termoelektrik dapat menjadi salah satu solusi pemenuhan kebutuhan energi listrik, dimulai dari pembangkit listrik skala rumah tangga hingga pembangkit listrik untuk kebutuhan masyarakat secara luas.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah membandingkan performa tiga jenis termoelektrik dalam mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Parameter yang digunakan untuk membandingkan performa ketiga termoelektrik adalah daya, arus, dan tegangan listrik yang dihasilkan termoelektrik terhadap perbedaan suhu $T\Delta$, serta efisiensi termoelektrik. Pada penelitian ini, sumber energi panas yang digunakan merupakan skala rumah tangga, yaitu lilin. Kajian lanjutan dari penelitian ini adalah kemungkinan daya listrik yang dihasilkan sebagai sumber penerangan masa depan dengan lampu LED.

Sumber energi panas didapatkan dari proses pemanasan air oleh lilin pada sebuah cangkir yang berisi 100 gram air yang dipanaskan selama 10 menit (Gambar 1). Suhu awal (T_i) sebesar $23,8\text{ }^\circ\text{C}$ dan suhu akhir (T_f) sebesar $78,4\text{ }^\circ\text{C}$, jumlah kalori yang diterima oleh air dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Liu, 2014),

$$Q_{\text{air}} = m.c. \Delta T \tag{1}$$

dimana

Q_{air} = besar kalori yang diterima oleh air (Joule)

m = massa air (gr)

c = kalor jenis air (kalori/gr/ $^\circ\text{C}$)

ΔT = perubahan suhu ($^\circ\text{C}$)

$Q_{\text{air}} = 100 \times 1 \times 54,6 = 5460 \text{ kalori} / 600 \text{ detik}$

$Q_{\text{air}} = 9,1 \text{ kal/dt} = 31,2 \text{ J/dt} = 38,2 \text{ watt}$

Energi panas yang diterima oleh air setara dengan energi listrik sebesar 38,2 watt yang seharusnya energi ini masih lebih besar karena sebagian energinya hilang ke sekitar lilin.



Gambar 1. Eksperimen dengan lilin

Hal menarik yang dapat disimpulkan dalam eksperimen ini adalah, jika ada perangkat yang dapat mengkonversi energi panas ini menjadi energi listrik 100% maka akan menghasilkan energi listrik sebesar 32,8. Salah satu teknologi yang bisa mewujudkan konsep adalah dengan memanfaatkan teknologi termoelektrik yang sedang berkembang pesat saat ini, sayangnya efisiensi termoelektrik yang banyak beredar secara komersil baru mencapai 4%, namun beberapa laporan ilmiah menyebutkan telah berhasil mengembangkan termoelektrik dengan

efisiensi 10% tapi belum dipasarkan secara komersil (Mamur, 2014). Perkembangan teknologi dibidang semikonduktor dan termoelektrik yang sangat signifikan saat ini, memungkinkan efisiensi dapat ditingkatkan hingga 20% atau bahkan lebih dalam waktu dekat.

METODE

Pada penelitian ini ada beberapa langkah yang akan dilakukan, yaitu uji karakteristik tiga jenis termoelektrik yang akan digunakan, eksperimen dengan sumber panas 1 (satu) lilin tanpa sisi panas, eksperimen dengan 3 (tiga lilin) tanpa sisi panas maupun dengan sisi panas material, penghitungan efisiensi dan ide pengembangan berikutnya.

Pengujian Performa termoelektrik

Eksperimen dilakukan terhadap tiga jenis termoelektrik, yaitu TEC1-12706, SP1848, dan TEG1-241-1.4-1.2 dengan tujuan untuk mendapatkan data teknis masing-masing (Gambar 2). Selanjutnya, data digunakan sebagai referensi untuk eksperimen dengan sumber panas lilin.

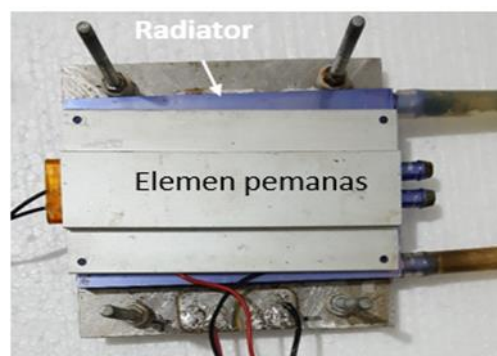
Tipe SP1848 dan TEG1-241-1.4-1.2 didesain khusus sebagai pembangkit listrik yang dikenal dengan nama pembangkit termoelektrik (Termoelektrik Generator) dan selanjutnya disebut TEG, sedangkan tipe TEC1-12706 ini sebenarnya dirancang bukan sebagai pembangkit listrik tapi sebagai pendingin.



Gambar 2. Tipe termoelektrik yang akan diuji

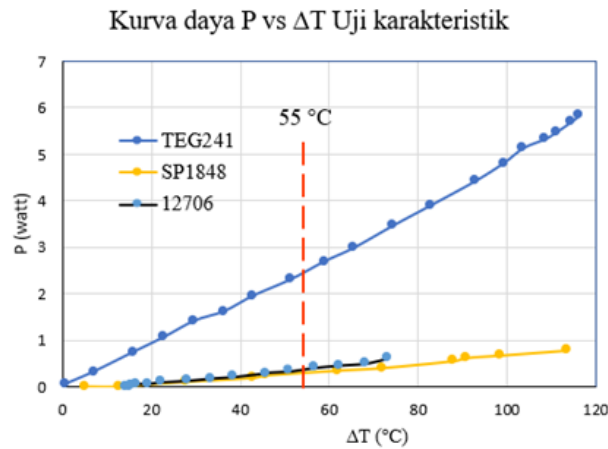
TEC adalah singkatan dari Thermoelectric Cooler, sering dijumpai dalam perangkat dispenser sebagai pendingin air maupun dalam teknologi kedokteran dan kecantikan. Sebagian besar penelitian tentang termoelektrik yang dilakukan oleh para peneliti di Indonesia menggunakan tipe TEC1-12706, tapi karena energi listrik yang dihasilkan cukup kecil, ada kesan bahwa pengembangan pembangkit listrik berbasis termoelektrik dengan suhu rendah kurang layak dikembangkan. Berdasarkan data teknis TEG1-241-1.4-1.2, daya luaran adalah 7 watt pada ΔT sebesar 170 °C, konduktivitas panas 2,18 W/m.°C, dimensi 54,4 mm x 54,4 mm dan ketebalan 3,4 mm (Marpaung, 2023).

Pengambilan data selama uji karakteristik dilakukan dengan suatu perangkat yang disebut pembangkit listrik mini yang terdiri atas komponen radiator, termoelektrik, elemen pemanas dan asesoris lainnya (Gambar 3).



Gambar 3. Pembangkit listrik mini

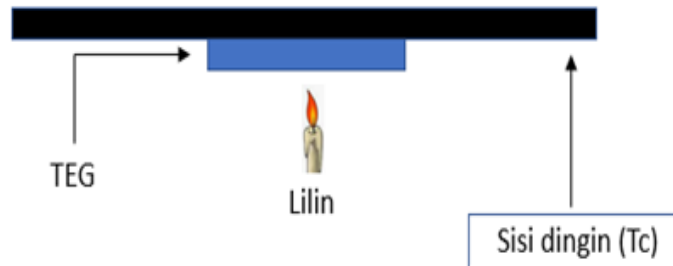
Radiator berfungsi sebagai sisi dingin T_c dan suhunya dipertahankan tetap stabil dengan mengalirkan air dingin ke radiator, elemen pemanas berfungsi sebagai sisi panas T_h , sementara termoelektrik berada di antara kedua sisi. Hasil pengukuran ditunjukkan oleh Gambar 4.



Gambar 4. Hasil uji termoelektrik

Eksperimen 1 Lilin Tanpa Sisi Panas

Eksperimen dengan sumber panas lilin dilakukan tanpa material sisi panas sehingga energi panas lilin langsung bagian TEG (Gambar 5) dan sebagai sisi dingin menggunakan material bersirip yang sering diterapkan dalam teknologi audio (Gambar 6).



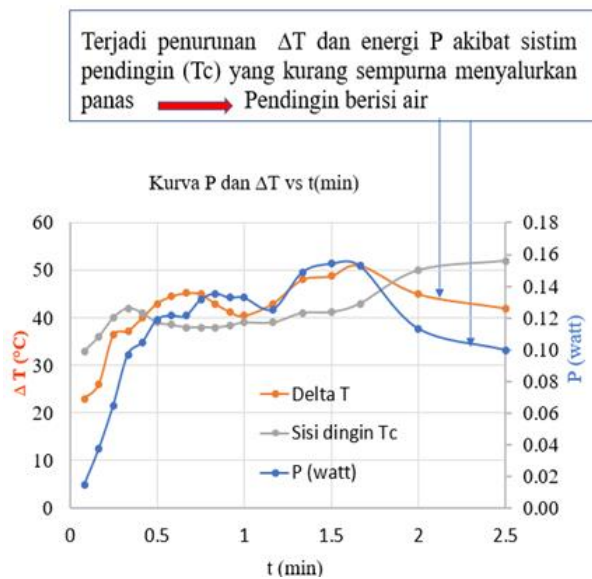
Gambar. 5. Sketsa tanpa sisi panas

Gambar 5 menunjukkan sketsa sistim tanpa sisi panas sedangkan Gambar 6 adalah konstruksi yang dibangun. Sisi dingin T_c terbuat dari material bersirip yang biasa digunakan dalam teknik audio.

Pengukuran dilakukan selama beberapa menit dengan kamera dalam format mp4, selanjutnya data dikompilasi dan menghasilkan kurva P dan ΔT vs t (Gambar 7).



Gambar 6. Sistim tanpa sisi panas



Gambar 7. Kurva penurunan ΔT mengakibatkan penurunan daya luaran

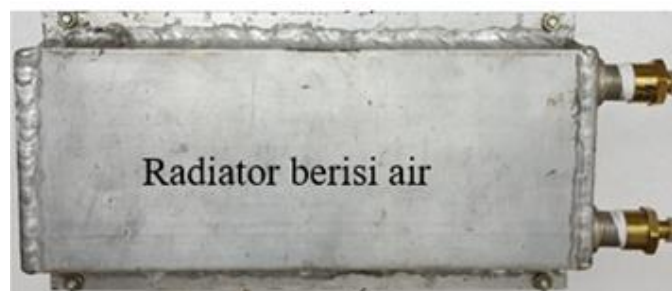
Pada saat eksperimen dilakukan, terjadi perubahan suhu yang signifikan, suhu awal sisi dingin T_c sebesar 30 C naik menjadi 40 °C pada detik ke 30 dan meningkat lagi menjadi 50 °C pada detik ke 150, sehingga ΔT akan turun yang mengakibatkan daya luaran semakin kecil (Gambar 7). Hal ini terjadi karena sistim pendingin yang kurang sempurna dari sirip material, sehingga tidak mampu untuk menyerap panas dari TEG.

Untuk mengatasi masalah sisi dingin yang kurang sempurna tersebut, sistem pendingin dikembangkan untuk dapat menyerap lebih banyak panas yang terbuat dari material bersirip (Gambar 8) dirangkai sedemikian rupa menjadi radiator yang diisi oleh air (Gambar 9).



Gambar 8. Material bersirip

Radiator ini selanjutnya digunakan pada penelitian untuk tipe SP1848 dan TEG1-241-1.4-1.2.



Gambar 9. Radiator yang diisi oleh air

Ekserimen Dengan Pendingin Radiator

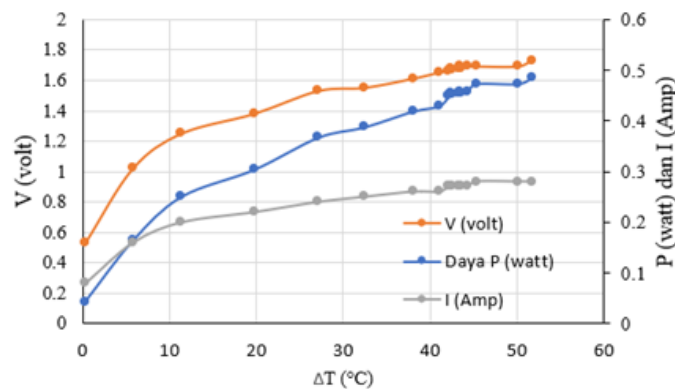
Penelitian dengan radiator sebagai pendingin akan dilakukan untuk tipe SP1848, TEG1-241-1.4-1.2 dengan sumber 1 (satu) lilin maupun 3 (tiga) lilin.



Gambar 10. Radiator yang diisi oleh air

Hasil yang didapat dari eksperimen dengan sumber panas 1 (satu) lilin untuk tipe SP1848 dan TEG1-241-1.4-1.2 terlihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.

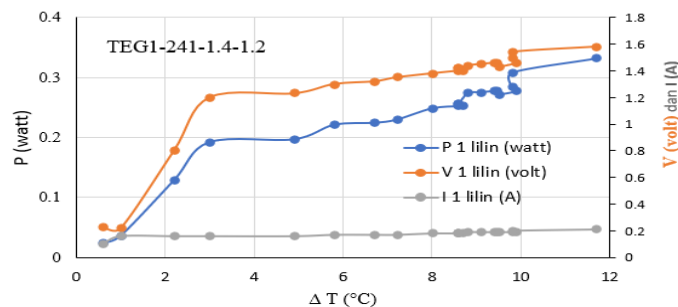
Kurva P, V dan I vs T (SP1848)



Gambar 11. Kurva P, V dan I terhadap ΔT

Hasil eksperimen dengan 1(satu) lilin untuk SP 1848, yaitu kurva kurva P, V, I vs ΔT (Gambar 11), menunjukkan hasil yang lebih baik dari sebelumnya. Kurva pada Gambar 11 terlihat kenaikan daya luaran akibat terjadinya kenaikan ΔT , hal ini karena sistim pendingin yang lebih baik sehingga suhu sisi dingin tetap rendah.

Kurva P, V dan I vs ΔT (°C)

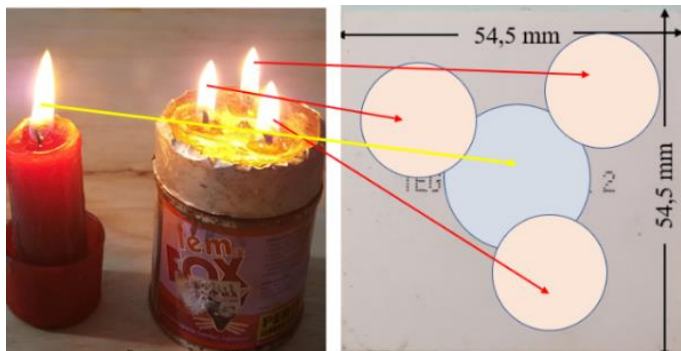


Gambar 12. Kurva P, V, dan I terhadap ΔT

Eksperimen yang dilakukan untuk TEG1-241-1.4-1.2 dengan sumber panas satu lilin menghasilkan ΔT sebesar $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan energi listrik luaran sekitar 0,32 watt (Gambar 12), ini disebabkan penyebaran panas hanya terjadi di bagian tengah (Gambar 13).

Eksperimen Dengan 3 Lilin

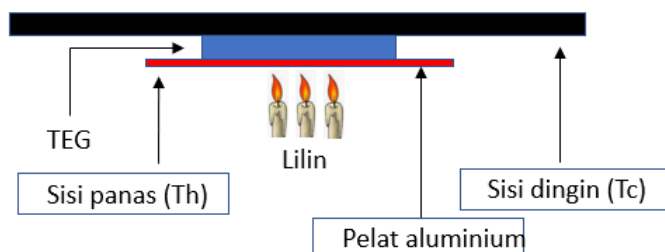
Eksperimen dilakukan terhadap tipe TEG1-241-1.4-1.2'



Gambar. 13. Penyebaran panas dengan sumber satu lilin (biru) dan tiga lilin (pink)

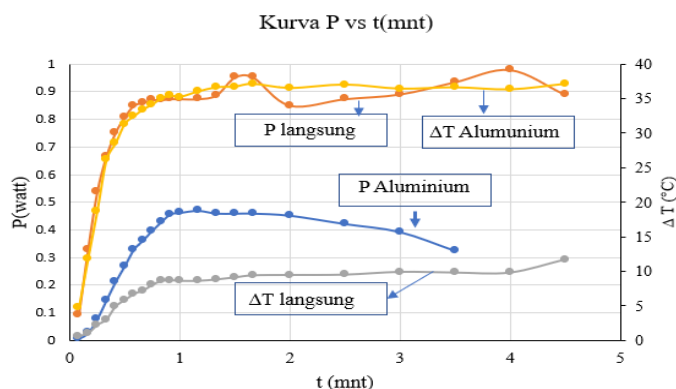
Jika dengan sumber panas 1 (satu) lilin menghasilkan daya luaran sebesar 0,32 watt (Gambar 12), dengan sumber panas 3 (tiga) lilin dapat menghasilkan energi listrik hingga 0,9 watt (diukur dengan wattmeter) karena penyebaran panas lebih besar dan lebih merata ke seluruh sisi TEG (Gambar 13). Energi luarannya masih dapat ditingkatkan lagi dengan melakukan berbagai eksperimen.

Selanjutnya eksperimen dilakukan dengan media sisi panas dari material logam aluminium (Gambar 14).



Gambar. 14. Sketsa dengan sisi panas material

Material aluminium adalah salah satu material logam dengan konduktivitas panas yang cukup tinggi sebesar sekitar $220\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$ (Ansermet, 2019) dan tipe TEG yang digunakan adalah TEG1-241-1.4-1.2



Gambar 15. Kurva P vs t(mnt) dengan media sisi panas aluminium dan tanpa media

Pengukuran dengan sisi panas material material dengan ketebalan 1 mm dan dilakukan dengan sumber panas 3 lilin yang hasilnya akan dibandingkan dengan tanpa material/langsung. Gambar 15 menunjukkan energi luaran maksimum dengan sisi panas material sebesar 0,4 watt sementara tanpa sisi panas / langsung energi luaran maksimum sebesar 0,9 watt. Sesuatu yang menarik dalam eksperimen ini, ternyata ΔT dengan sisi panas material jauh lebih besar dibandingkan tanpa material, namun daya luaran lebih kecil. Hal ini disebabkan sebahagian besar energi panas dari lilin terdistribusi disekitar material sehingga yang melalui TEG semakin kecil.

Efisiensi TEG

Efisiensi TEG dapat dihitung cara teoritis dan efisiensi setelah menghasilkan energi listrik. Cara teoritis digunakan pada saat memproduksi TEG dan efisiensi ini menjadi data teknis yang dikeluarkan oleh pabrik dan tidak dapat diubah lagi (Jaziri, et al. 2020).

$$\eta = \frac{\Delta T}{T_h} \frac{\sqrt{1+ZT} - 1}{\sqrt{1+ZT + \frac{T_c}{T_h}}}$$

Dimana η adalah efisiensi, ZT adalah figure of Merit, T_c adalah suhu sisi dingin, T_h adalah suhu sisi panas dan ΔT adalah $T_h - T_c$ (Abdel-Motaleb, 2017; Northwestern University, 2021).

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho k} = \frac{\alpha^2 \sigma}{k}$$

Dimana: α adalah koefisien Seebeck dalam $\mu V/K$ (Ravindra, et al. 2018), σ adalah konduktivitas listrik dalam $\Omega.m^{-1}$ dan λ adalah konduktivitas termal dalam $W/m.K$. Para peneliti sangat tertarik untuk meningkatkan besaran figure of merit yaitu dengan dengan meningkatkan koefisien Seebeck α yaitu dengan memanfaatkan teknologi semikonduktor.

Efisiensi setelah menghasilkan energi listrik dihitung menggunakan hukum Fourier (Thermodynamics, 1992; Ansermet, 2019).

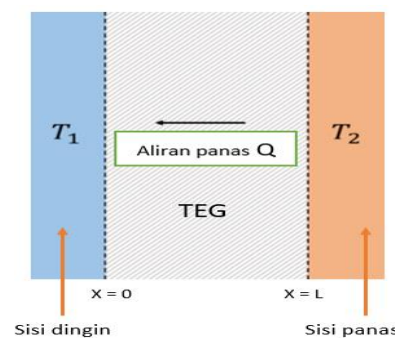
$$Q_{teg} = Q_{in} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

$$Q_{in} = kA \frac{\Delta T}{L} \text{ (Energi yang melalui TEG)}$$

$$Q_{out} \text{ (energi luaran TEG)} = V \times I$$

$$\eta = Q_{in}/Q_{out} \times 100\%$$

dimana Q_{teg} adalah jumlah kalor yang merambat melalui TEG persatuan waktu dalam J/S atau Watt, k adalah konduktivitas panas dalam $J/m.s.K$ atau $W/m.^{\circ}C$, A adalah luas penampang material dalam m^2 , L adalah ketebalan material dalam meter (Gambar 16), dan $\Delta T = T_h - T_c$ adalah perbedaan suhu dalam $^{\circ}C$.



Gambar 16. Aliran panas pada TEG

Data TEG1-241-1.4-1.2, k adalah konduktivitas panas ($2,18 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$), A adalah luas penampang ($5,5 \text{ cm}^2 \times 5,4 \text{ cm}^2$), L adalah ketebalan 34 mm (Marpaung, 2023), ΔT adalah perbedaan suhu antara sisi panas T_h dan sisi dingin T_c sebesar 12 °C , maka energi listrik yang mengalir melalui TEG,

$$Q_{in} = Q_{teg} = (2,18 \text{ W/m}\cdot\text{°C}) \times (29,7 \times 10^{-4} \text{ m}^2) \times (12 \text{ °C}) / (0,0034 \text{ m}) = 22,8 \text{ watt.}$$

Q_{out} adalah besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh TEG, yaitu sebesar $0,35 \text{ watt}$, sehingga efisiensi η adalah,

$$\eta = Q_{in}/Q_{out} = 0,35 \text{ W}/22,8 \text{ W} = 0,0154 = 1,54 \%, \text{ pada } \Delta T 12 \text{ °C}$$

Efisiensi masih dapat ditingkatkan antara lain dengan memakai pasta panas (*thermal paste*) maupun menyempurnakan kontak antara TEG dengan kedua sisi panas dan sisi dingin (Ren, 2017).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Informasi yang diperoleh dari rangkaian eksperimen yang telah dilakukan dapat dilihat dari kurva-kurva sebelumnya.

Uji karakteristik tiga TEG dengan sumber panas dari elemen pemanas (Gambar 4), pada $\Delta T 50 \text{ °C}$ (garis merah putus-putus) menunjukkan bahwa daya luaran TEC1-12706 sebesar $0,3 \text{ watt}$, SP1848 sebesar $0,35 \text{ watt}$ dan TEG1-241-1.4-1.2 sebesar $2,5 \text{ watt}$.

Hasil eksperimen dengan satu lilin ditunjukkan oleh Gambar 7 dan daya yang dihasilkan oleh TEC1-12706 sebesar $0,16 \text{ watt}$ pada $\Delta T 50 \text{ °C}$ namun beberapa saat kemudian terjadi penurunan ΔT yang cukup signifikan diikuti oleh penurunan daya luaran. Hal ini disebabkan sistem pendingin pada bagian sisi dingin tidak mampu untuk melepaskan energi panas dari lilin. Untuk mengatasi hal tersebut, dirancanglah sistem pendingin yang lebih baik dengan radiator yang diisi oleh air (Gambar 9).

Eksperimen berikutnya dengan pendingin radiator terhadap SP1848 dan TEG1-241-1.4-1.2 dengan sumber panas 1 (satu) lilin maupun 3 (tiga) lilin. Kurva P , V dan I terhadap ΔT untuk SP1848 (Gambar 11) menunjukkan daya luaran sebesar $0,48 \text{ watt}$ pada $\Delta T 50 \text{ °C}$ dengan kecenderungan adanya kenaikan daya, terlihat jelas pengaruh sistem pendingin yang lebih baik. Kurva P, V , dan I terhadap ΔT untuk TEG1-241-1.4-1.2 (Gambar 11) menunjukkan bahwa ΔT hanya mencapai 12 °C dengan daya luaran sebesar $0,34 \text{ watt}$, hal ini disebabkan dimensi tipe ini $54,5 \text{ cm} \times 54,5 \text{ cm}$ sehingga distribusi panas dari lilin hanya di bagian tengah dibandingkan tipe SP1848 dengan dimensi $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ yang lebih terdistribusi (Gambar 13).

Eksperimen selanjutnya untuk TEG1-241-1.4-1.2 dengan sumber panas 3 (tiga) lilin, dapat menghasilkan energi listrik sebesar $0,95 \text{ watt}$ pada ΔT sebesar 32 °C dengan tegangan $3,5 \text{ volt}$ dan arus 270 mA (diukur dengan Wattmeter).

Besarnya energi yang dihasilkan masih dapat disempurnakan dengan memperbaiki kontak antara sisi dingin dengan termoelektrik menggunakan pelumas termal (*thermal paste*) dengan konduktivitas panas yang tinggi maupun modifikasi sumber panas dengan melakukan berbagai eksperimen. Pemanfaatan material sebagai sisi panas T_h ternyata kurang optimal karena energi panas yang ditransfer jauh berkurang, sehingga perlu dilakukan penelitian selanjutnya.

Eksperimen dengan lampu led (*light emitting diode*) dengan sumber panas 3 lilin memberikan penerangan yang cukup memadai, sehingga teknologi pembangkit energi listrik berbasis termoelektrik sebagai sumber penerangan dengan sumber panas lilin sebenarnya sangat layak untuk dikembangkan. Berdasarkan data teknis yang dikeluarkan oleh pabrik, efisiensi TEG yang digunakan masih sekitar 4% , jika efisiensi meningkat sekitar 10% maka energi listrik yang dihasilkan menjadi $2,5$ kali.

Foto berikut menunjukkan kondisi ruangan sebelum (Gambar 17) dan sesudah TEG dipanaskan dengan 3 (tiga) lilin (Gambar 18). Beban yang digunakan adalah lampu LED berkualitas baik dengan daya 1 watt .



Gambar 17. Kondisi ruangan sebelum TEG dipanaskan



Gambar 18. Kondisi ruangan setelah TEG dipanaskan

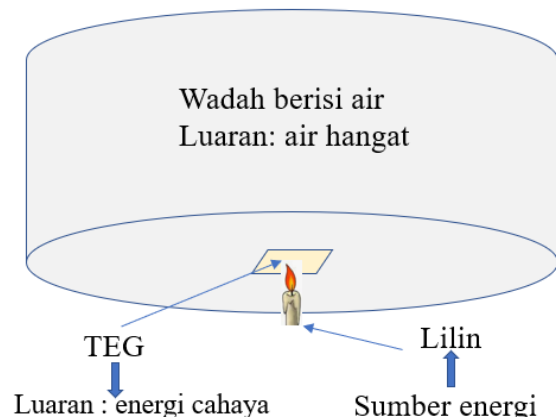
Terlihat dengan jelas bahwa energi cahaya yang dihasilkan lebih besar dari energi cahaya dari lilin sendiri dan hal yang menarik, terdapat 2 (dua) sumber energi cahaya tanpa adanya tambahan energi dari luar.



Gambar 19. Distribusi energi setelah terjadi pemanasan

Gambar 19 menjelaskan, pada saat pemanasan dilakukan terlihat 2 (dua) jenis energi baru yaitu energi cahaya dari lampu led dan energi panas yang diserap oleh radiator pendingin.

Mengacu pada Gambar 19, timbul suatu ide untuk memanfaatkan energi yang ada semaksimal mungkin yang disebut sebagai pemanfaatan multifungsi (Gambar 20) yaitu dengan merancang sistim pendingin berupa wadah berisi air. Dalam waktu yang cukup lama akan terjadi kenaikan suhu dalam wadah air yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan.



Gambar 20. Pemanfaatan multifungsi

Penggunaan materil (Gambar 14) pada sisi panas ternyata tidak efektif karena energi panas terdistribusi disekitar material akibatnya daya luaran semakin kecil. Perlu kajian lanjutan untuk menemukan materil yang efektif (Lozano, 2015) atau tanpa materil.

SIMPULAN

Lilin sebagai sumber penerangan berbasis termoelektrik layak dikembangkan. Pemanfaatan termoelektrik sebagai pembangkit energi listrik sangat menarik untuk dikembangkan karena selama terjadi perbedaan suhu antara sisi dingin dan sisi panas akan timbul energi listrik. Sumber panas dari lilin dapat dimodifikasi dalam bentuk sumber panas lainnya untuk menghasilkan energi listrik dan pemanas air. Perkembangan teknologi termoelektrik yang cukup pesat, memungkinkan untuk menemukan efisiensi yang lebih tinggi sehingga pemanfaatan sumber panas kecil seperti lilin layak untuk dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Motaleb, I. M., & Qadri, S. M. (2017). Thermoelectric devices: principles and future trends. arXiv preprint arXiv:1704.07742.
- Ansermet, J. P., & Brechet, S. D. (2019). Principles of thermodynamics. Cambridge University Press.
- Ansermet, J. P., & Brechet, S. D. (2019). Principles of thermodynamics. Cambridge University Press.
- Brand, O., Fedder, G. K., Hierold, C., Korvink, J. G., & Tabata, O. (2017). Thermoelectric energy conversion: basic concepts and device applications. John Wiley & Sons.
- Goldsmid, H. J. (2010). Introduction to thermoelectricity (Vol. 121, p. 46). Berlin: Springer.
- Jaziri, N., Boughamoura, A., Müller, J., Mezghani, B., Tounsi, F., & Ismail, M. (2020). A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications. *Energy Reports*, 6, 264-287.
- Liu, C., Chen, P., & Li, K. (2014). A 500 W low-temperature thermoelectric generator: Design and experimental study. *International journal of hydrogen energy*, 39(28), 15497-15505.
- Liu, C., Chen, P., & Li, K. (2014, February). A 1 KW thermoelectric generator for low-temperature geothermal resources. In *Proceedings of the Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford, CA, USA (pp. 24-26).
- Lozano, F.M. (2015). 'Thermal Conductivity and Specific Heat Measurement', *Escola Technica, Universitat Autònoma de Barcelona* [Preprint].
- Mamur, H., & Ahiska, R. (2014). A review: Thermoelectric generators in renewable energy. *International journal of renewable energy research*, 4(1), 128-136.
- Marpaung, H., Singarimbun, A., Srigutomo, W., & Lasmi, N. K. (2023). Thermoelectric Application of TEG1-241-1.4-1.2 for Power Generation from Low Temperature Geothermal Fluid. *Advances in Science and Technology*, 126, 67-77.

Northwestern University. (2021). *Thermoelectrics Engineering*. Northwestern Materials Sciences and Engineering.

Ravindra, N. M., Jariwala, B., Bañobre, A., & Maske, A. (2018). *Thermoelectrics: fundamentals, materials selection, properties, and performance*. Springer.

Ren, Z., Lan, Y., & Zhang, Q. (Eds.). (2017). *Advanced thermoelectrics: materials, contacts, devices, and systems*. CRC Press.

Thermodynamics, 'Heat Transfer and heatFlow' . U.S. Department of Energy Washington, D.C.20585, 2 of 3. 1992.