

PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN *HYBRID* *THERMOELECTRICS* DENGAN MEMANFAATKAN PANAS MATAHARI DARI KOLEKTOR PARABOLA SILINDRIS

Defrianto*, Eri Wiyadi, Lazuardi Umar
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Riau Pekanbaru

*E-mail korespondensi: defrianto@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Thermoelectric Generator type 10W-4V-40s power generation works through temperature differences on both sides. The hot side (T_h) of a TEG element is placed on a cradle made of Dural Aluminum material and given a heat source derived from a parabolic solar collector, on a cold side (T_c) TEG element mounted heatsink to reduce heat energy through the cold side and keep its temperature to keep it low, the results of the research show that the parabolic solar collectors in this research were able to produce a maximum temperature of 64,2 °C. The maximum Voc voltage generated from the research is 1,087 V in addition to the Vo load voltage on the load resistance variation R_L at T_h 40 °C and the cold side temperature T_c 32 °C is 459,47 mV at R_L 20 Ω. The load current the maximum gain is 125,97 mA at R_L 0,5 Ω and tends to decrease as R_L increases by 23,63 mA at R_L 20 Ω. The highest V_L and I_L voltage when the receiver is at a height of 17,5 cm or right at the reflector focal point, which is 120,90 mV and 31,87 mA with ΔT of 25 °C.

Keywords: Thermoelectric Generator, Seebeck Coefficient, Figure of Merit, Efficiency, Internal Resistance.

ABSTRAK

Pembangkit energi listrik Thermoelectric Generator tipe 10W-4V-40s bekerja melalui perbedaan suhu dikedua sisinya. Sisi panas (T_h) dari sebuah elemen TEG diletakan pada dudukan yang terbuat dari bahan Alumunium Dural dan diberi sumber panas yang berasal dari kolektor surya parabola, pada sisi dingin (T_c) elemen TEG dipasang heatsink guna mengurangi energi panas yang menembus sisi dingin serta menjaga suhunya agar tetap rendah, hasil dari penelitian menunjukan bahwa Kolektor surya parabola dalam penelitian ini mampu menghasilkan suhu maksimum sebesar 64,2 °C. Tegangan Voc maksimum yang dihasilkan dari penelitian adalah sebesar 1,087 V selain itu tegangan beban Vo terhadap variasi hambatan beban R_L pada suhu T_h 40 °C dan suhu sisi dingin T_c 32 °C adalah 459, 47 mV pada R_L 20 Ω., arus beban maksimum yang diperoleh adalah 125,97 mA pada R_L 0,5 Ω dan cenderung turun seiring bertambahnya R_L yaitu sebesar 23,63 mA pada R_L 20 Ω. Nilai tegangan V_L dan I_L paling besar terletak pada saat receiver berada pada ketinggian 17,5 cm atau tepat berada pada titik fokus reflektor, yaitu sebesar 120,90 mV dan 31,87 mA dengan ΔT sebesar 25 °C.

Kata kunci: Termoelektrik Generator, Koefisien Seebeck, *Figure of Merit*, Efisiensi, Hambatan Internal.

Diterima 07-10-2021 | Disetujui 12-11-2021 | Dipublikasi 30-11-2021

PENDAHULUAN

Sejalan dengan tingkat kehidupan dan perkembangan teknologi, kebutuhan terhadap penyediaan energi listrik terus mengalami peningkatan. Peningkatan konsumsi energi listrik diakibatkan oleh bertambahnya

penggunaan perangkat elektronik dalam media telekomunikasi, transportasi, maupun industry [1-3]. Kondisi ini bertentangan dengan realita penyediaan energi listrik yang dilakukan secara konvensional dengan sumber terbesar menggunakan bahan bakar fosil [4]. Berdasarkan laporan dari *International Energy*

Agency, sumber yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dunia sebesar 41.3 % berasal dari batu bara, 21.7 % berasal dari gas alam, 4.4 % berasal dari bahan bakar minyak, 10.6% berasal dari nuklir, 6.3 % dari air, dan 5.7 % dari sumber lainnya, hal ini dapat menyebabkan terjadinya krisis listrik dimasa mendatang karena batu bara sebagai bahan bakar fosil dengan persentase terbesar akan habis seiring berjalannya waktu [5]. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha-usaha untuk menemukan sumber energi listrik alternatif yang ramah lingkungan serta melakukan pengembangan dalam meningkatkan efisiensi sumber energi listrik yang sudah ada.

Untuk mencapai tujuan itu, suatu sistem pembangkit energi tenaga mikro merupakan jawabannya. Secara umum, ditinjau dari besarnya daya listrik yang dihasilkan ada dua jenis sumber energi yang dapat digunakan dalam menghasilkan energi listrik [6]. Pertama, pembangkit listrik dengan kapasitas makro yang biasanya memanfaatkan air, uap, gas, nuklir dan lain sebagainya. Kedua, pembangkit listrik dengan kapasitas mikro yang salah satunya memanfaatkan energi berupa panas, energi panas tersebut antara lain berasal dari sinar matahari, Apabila energi panas tersebut dapat dikonversikan ke dalam bentuk energi listrik tentunya akan dapat membantu memenuhi kebutuhan energi yang meningkat tersebut [7].

Indonesia terletak di garis katulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayah Indonesia. Selain itu, kondisi cuaca cerah indonesia pertahun (*sunshine hours annually*) adalah sekitar 2975 jam atau 124 hari sedangkan rata-rata lamanya penyinaran sekitar 8,2 jam per hari [1, 8, 9].

Salah satu piranti elektronik yang dapat menghasilkan energi listrik dari energi panas adalah elemen termoelektrik (Termoelektrik Generator ,TEG) yang bekerja berdasarkan efek Seebeck, teknologi ini memiliki beberapa kelebihan, antara lain aman terhadap lingkungan, sederhana, berukuran kecil, sangat

ringan, tidak bersuara, dan tidak memerlukan perawatan karena tidak ada bagian yang bergerak [2, 10].

METODE PENELITIAN

Kolektor surya parabola dan dudukan TEG didesain menggunakan fasilitas desain grafis pada software AutoCAD, penentuan bentuk kurva dari parabola ini tergantung dari lebar aperture kolektor panas dan sudut rim, data ini merupakan langkah awal dalam menentukan titik fokus dan bentuk kurva parabola dari kolektor surya. Untuk mencari spesifikasi kolektor surya digunakan persamaan (1) sampai (6) berikut.

$$\frac{f}{d} = \frac{1}{4 \tan\left(\frac{\psi \text{ rim}}{2}\right)} \quad (1)$$

Dengan aturan dari jarak fokus (f) dan diameter/lebar aperture (d), maka untuk menentukan tinggi (h) dari kurva parabola menggunakan persamaan:

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (2)$$

Rasio konsentrasi merupakan perbandingan diameter dari aperture/ pemantul (d) dengan diameter pipa penerima (D) menggunakan persamaan berikut:

$$C = \frac{d}{\pi D} \quad (3)$$

Selanjutnya untuk menghitung dimensi lebar sebenarnya dari kolektor panas jenis parabola yaitu dengan menentukan lebar dari permukaan pemantul (lebar permukaan sebelum dibentuk parabola). Dimensi dari lebar permukaan pemantul s dapat ditentukan menggunakan persamaan:

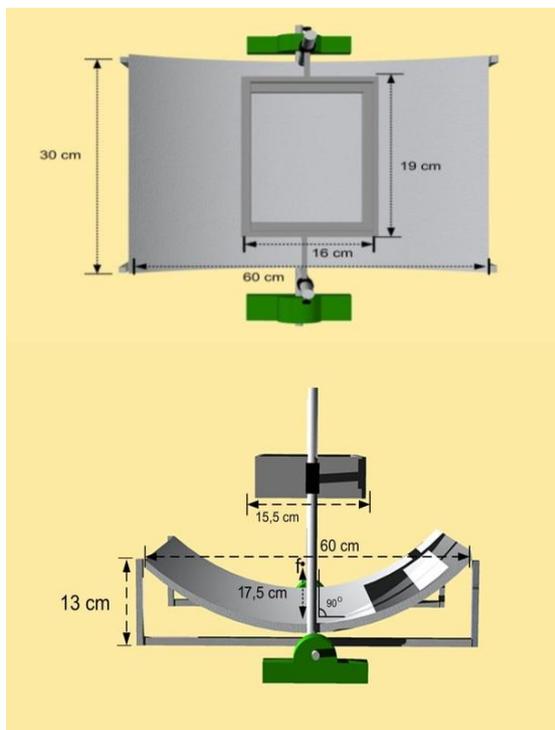
$$S = \frac{d}{2} \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1} + 2f \ln\left[\left(\frac{4h}{d}\right) + \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1}\right] \quad (4)$$

Lebar *aperture* (d), tinggi kurva parabola (h), dan jarak fokus parabola mempengaruhi total loss pada permukaan *aperture* (A_l) dari sebuah kolektor panas parabola. Dimana A_l mempengaruhi faktor geometri (A_f) dari sebuah kolektor panas parabola.

$$A_l = \frac{2}{3} d \cdot h + f \cdot d \left[1 + \frac{d}{48 f^2} \right] \quad (5)$$

$$A_f = \frac{A_l}{A_a} \quad (6)$$

A_f merupakan perbandingan total loss pada permukaan *aperture* (A_l) dengan luas permukaan *aperture* (A_a). Semakin besar A_f , maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan dari sebuah kolektor panas. Persamaan (5) dan (6) adalah untuk menentukan besar A_l dan A_f .



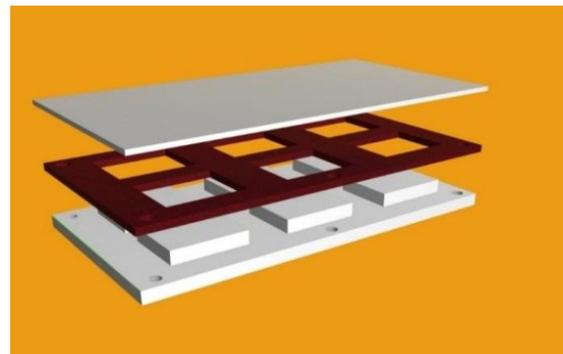
Gambar 1. Desain kolektor surya konsentrator parabola.

Berdasarkan persamaan (1) sampai (6) dapat ditentukan spesifikasi serta dimensi dari kolektor surya parabola sebagai sumber panas elemen TEG.

Tabel 1. Spesifikasi kolektor surya parabola.

Spesifikasi Kolektor Panas Parabola	
Dimensi kolektor	60 × 30 cm
Luas <i>aperture</i> (A_a)	1800 cm ²
Sudut rim (ψ_{rim})	90°
Rasio f/d	0,25
Jarak fokus (f)	17,5 cm
Rasio konsentrasi (C)	0,597
Faktor geometri (A_f)	0,0132
Panjang penerima (L)	16 cm
Bahan <i>aperture</i>	Plat <i>stainless steel</i> (0,6 mm)
Bahan receiver	<i>Stainless Steel</i>

Dudukan elemen terbuat dari bahan Aluminium Dural yang disekat dengan logam pertinaks sebagai isolator panas dan terdiri atas enam arrays untuk enam modul TEG yang tersusun seri, dudukan elemen diletakan di dalam kotak receiver dan tegak lurus terhadap reflektor, bagian sisi dingin elemen termoelektrik diberi heatsink yang bertujuan agar suhu pada sisi dingin elemen dapat dipertahankan. Susunan dari dudukan TEG dapat dilihat dari Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Desain dudukan elemen TEG.

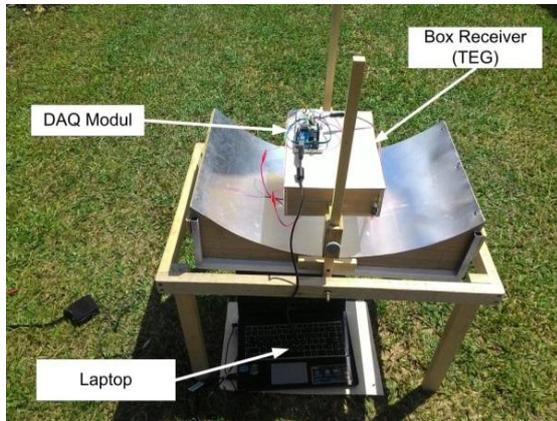
Modul Thermoelektrik yang digunakan adalah tipe TEGpro 10W-4V-40s dengan spesifikasi temperatur panas maksimum adalah 300 °C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Voc TEG dengan variasi suhu T_h dan T_c

Setup pengukuran output TEG kolektor surya terdiri atas reflektor dari kolektor surya, box receiver sebagai tempat elemen TEG, dan DAQ modul sebagai akuisisi data untuk

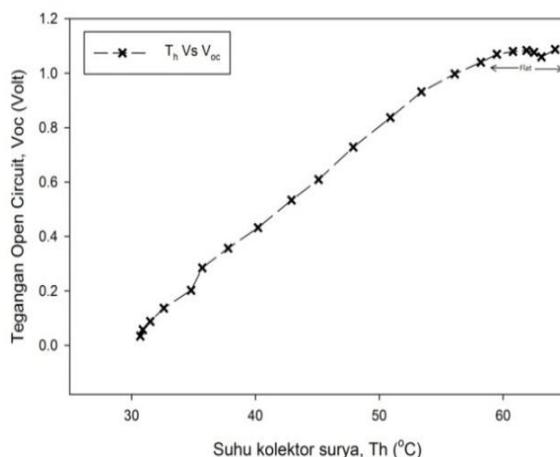
mencatat parameter berupa suhu, tegangan, dan arus. Data yang diperoleh langsung di import kedalam *microsoft excel* sehingga besarnya tegangan, arus, dan suhu TEG kolektor ini dapat diketahui secara langsung.



Gambar 3. Set-up pengukuran TEG kolektor surya.

Gambar 4 memperlihatkan grafik perbandingan antara tegangan open circuit V_{oc} dari modul elemen TEG terhadap suhu yang dihasilkan oleh reflektor kolektor surya parabola, suhu awal pada pengukuran ini adalah $30,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan tegangan awal yang sudah terbaca pada alat ukur sebesar $34,2\text{ mV}$.

Tegangan awal yang terbaca pada alat ukur ini disebabkan oleh sensitivitas Termoelektrik yang tinggi sehingga saat terjadi perbedaan suhu akan dikonversi menjadi listrik secara langsung.



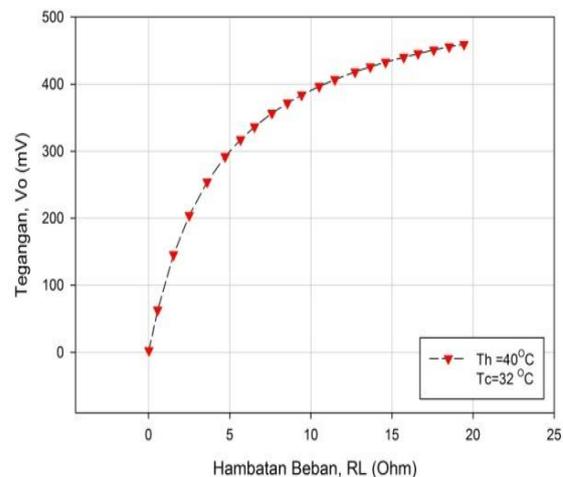
Gambar 4. Grafik perbandingan suhu sisi bagian panas (T_h) terhadap tegangan open circuit (V_{oc}) TEG.

Kolektor surya parabola dalam penelitian ini mampu menghasilkan suhu maksimum sebesar $64,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan cenderung konstan saat receiver tepat berada pada titik fokusnya, tegangan V_{oc} maksimum yang dihasilkan dari penelitian pada saat mencapai suhu maksimum adalah sebesar $1,087\text{ V}$.

Pengukuran I_L dan V_o elemen TEG dengan variasi R_L

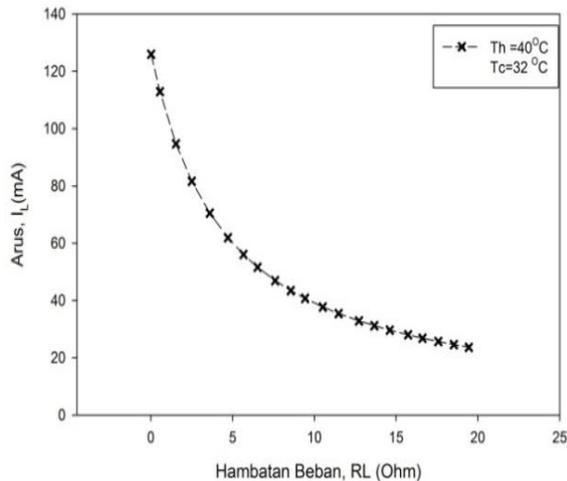
Pengukuran arus dan tegangan beban (I_L dan V_o) dilakukan dengan memvariasikan nilai hambatan beban yang terpasang pada output TEG dengan range nilai R_L yang digunakan adalah $1\ \Omega$ sampai $20\ \Omega$.

Gambar 5 memperlihatkan kurva eksponensial dari tegangan beban V_o terhadap variasi hambatan beban R_L pada suhu T_h $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan suhu sisi dingin T_c $32\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tegangan maksimum yang diperoleh adalah $459,47\text{ mV}$ dan terus naik namun tidak begitu signifikan hal ini disebabkan oleh adanya panas yang menembus elemen dari sisi panas menuju sisi dingin elemen TEG sehingga memperkecil ΔT diantara kedua sisi elemen.



Gambar 5. Grafik perbandingan V_o terhadap R_L .

Perbandingan Arus I_L terhadap R_L diperlihatkan pada Gambar 6 yang merupakan fungsi kebalikan dari perbandingan tegangan dan hambatan beban R_L dimana semakin besar hambatan beban maka arus yang dihasilkan semakin kecil.



Gambar 6. Grafik perbandingan I_L terhadap R_L .

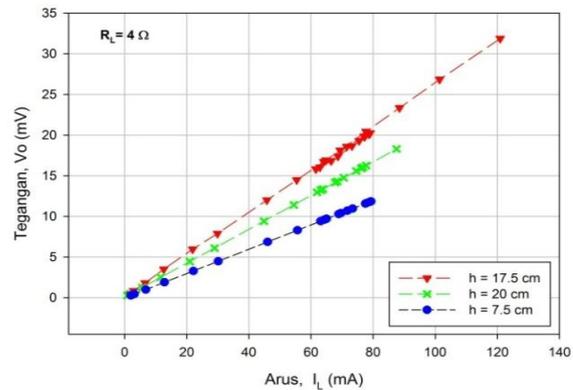
Arus maksimum yang dicapai pada pengukuran tahap ini mencapai 125,97 mA pada R_L 0,5 Ω dan cenderung turun seiring bertambahnya R_L yaitu sebesar 23,63 mA pada R_L 20 Ω .

Pengukuran V_L dan I_L TEG berdasarkan variasi ketinggian titik fokus

Suhu yang dihasilkan oleh kolektor surya parabola bervariasi bergantung dengan ketinggian receiver terhadap titik fokusnya. Pengukuran V_L dan I_L dilakukan dengan memberi hambatan beban sebesar 4 Ω untuk setiap variasi ketinggian yaitu saat berada di titik fokus dengan jarak 17.5 cm dari pusat kelengkungan (vertex), diatas titik fokus dengan jarak 20 cm dari vertex dan dibawah titik fokus dengan jarak 7,5 cm dari vertex.

Perbedaan output yang dihasilkan oleh TEG melalui variasi ketinggian terlihat jelas pada Gambar 7, tegangan dan arus maksimum yang diperoleh pada kondisi ini adalah 120,90 mV dan 31,87 mA dengan ΔT sebesar 25 $^{\circ}C$, saat ketinggian receiver berada diatas titik fokus atau pada jarak 20 cm dari vertex tegangan dan arus yang dihasilkan adalah 87,57 mV dan 18,28 mA dengan ΔT sebesar 20 $^{\circ}C$, dan pada saat receiver berada 7,5 cm dibawah titik fokus tegangan dan arus yang dihasilkan adalah 77,93 mV dan 11,616 mA dengan ΔT sebesar 18,7 $^{\circ}C$. Perbandingan tegangan dan arus output paling

kecil terletak pada ketinggian receiver 7,5 cm disebabkan oleh tidak adanya cahaya matahari yang mengenai sisi panas elemen karena terlalu dekat dengan pusat reflektor sehingga refleksi dari cahaya matahari hanya mengenai dinding box dari receiver, sedangkan nilai tegangan V_L dan I_L paling besar terletak pada saat receiver berada pada ketinggian 17,5 cm atau tepat berada pada titik fokus reflektor.



Gambar 7. Perbandingan V_L terhadap I_L berdasarkan variasi ketinggian receiver.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa kolektor surya parabola dalam penelitian ini mampu menghasilkan suhu maksimum sebesar 64,2 $^{\circ}C$. Tegangan V_{oc} maksimum yang dihasilkan dari penelitian adalah sebesar 1,087 V. Tegangan beban V_o terhadap variasi hambatan beban R_L pada suhu T_h 40 $^{\circ}C$ dan suhu sisi dingin T_c 32 $^{\circ}C$ adalah 459, 47 mV pada R_L 20 Ω . Arus beban maksimum yang diperoleh adalah 125,97 mA pada R_L 0,5 Ω dan cenderung turun seiring bertambahnya R_L yaitu sebesar 23,63 mA pada R_L 20 Ω . Nilai tegangan V_L dan I_L paling besar terletak pada saat receiver berada pada ketinggian 17,5 cm atau tepat berada pada titik fokus reflektor, yaitu sebesar 120,90 mV dan 31,87 mA dengan ΔT sebesar 25 $^{\circ}C$.

DAFTAR PUSTAKA

- Jaramillo, O. A., Venegas-Reyes, E., Aguilar, J. O., Castrejón-García, R., &

- Sosa-Montemayor, F. (2013). Parabolic trough concentrators for low enthalpy processes. *Renewable Energy*, **60**, 529–539.
2. Molki, A. (2010). Simple Demonstration of the Seebeck Effect. *Science Education Review*, **9**(3), 103–107.
 3. Puspita, W., Defrianto, D., & Soerbakti, Y. (2021). Prediksi Kadar Particulate Matter (PM10) Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan di Kota Pekanbaru. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **18**(1), 1–4.
 4. Bergman, T. L., Incropera, F. P., DeWitt, D. P., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons.
 5. Baltrenas, P., Vaitiekūnas, P., Vasarevičius, S., & Jordaneh, S. (2008). Modelling of motor transport exhaust gas influence on the atmosphere. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **16**(2), 65–75.
 6. Juostas, A., & Janulevičius, A. (2009). Evaluating working quality of tractors by their harmful impact on the environment. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, **17**(2), 106–113.
 7. Zhao, D., & Tan, G. (2014). A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications. *Applied Thermal Engineering*, **66**(1-2), 15–24.
 8. DiSalvo, F. J. (1999). Thermoelectric cooling and power generation. *Science*, **285**(5428), 703–706.
 9. Seprima, M. & Defrianto, D. (2020). Prediksi Curah Hujan dan Kelembaban Udara Kota Pekanbaru Menggunakan Metode Monte Carlo. *Komunikasi Fisika Indonesia*, **17**(3), 134–138.
 10. Talom, H. L., & Beyene, A. (2009). Heat recovery from automotive engine. *Applied Thermal Engineering*, **29**(2-3), 439–444.



Artikel ini menggunakan lisensi
[Creative Commons Attribution
 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)