

# EFEK RADIASI ENERGI SURYA DENGAN LENSA FOKUS CAHAYA FRESNEL UNTUK PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN THERMOELECTRIC GENERATOR

Mustofa<sup>1</sup>, Sallolo Suluh<sup>2</sup>, Wilson Ua Saruran<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Taduklako  
<sup>2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Kristen Indonesia Toraja

*e-mail : mustofauntad@gmail.com*  
*e-mail : sallololonel@gmail.com*

## Abstrak

Simulasi energi surya dengan menggunakan standar AM1.5G dan lensa Fresnel sebagai konsentrator radiasi pada modul generator termoelektrik (TEG) telah dilakukan dengan software Matlab. Radiasi yang dibutuhkan TEG berada pada spektrum panjang gelombang 700-1150 nm dalam kategori infra merah dekat (Near infra-red) dalam bentuk termal. Simulasi bermanfaat untuk menghemat biaya dan waktu sebelum dilakukan pengujian pada skala laboratorium. Adapun, tujuan penelitian ini untuk melihat karakteristik efek Seebeck TEG yang mendapatkan transmisi radiasi cahaya pada spektrum NiR. Disamping itu, kondisi operasional material TEG yang dalam hal ini dipilih Bismuth Telluride perlu diperhatikan sebagai faktor keamanan selama mendapatkan efek radiasi. Hasil simulasi menunjukkan efisiensi terbaik 3.3% diperoleh pada delta temperatur modul sebesar 25°C dan 0.7 Sun.

Kata kunci: spektrum, lensa Fresnel, generator termoelektrik, termal

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Motivasi Penelitian

Energi surya yang potensinya sangat besar belum sepenuhnya dimanfaatkan untuk konversi energi listrik. Teknologi yang umum digunakan adalah sel fotovoltaik atau sering disebut PV yang mampu

mengkonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Desain panel PV ini ada yang berdiri sendiri menerima radiasi surya dan mengkonversinya menjadi energi listrik dan ada yang terintegrasi dengan

termal kolektor sebagai pemanas air, Mustofa dan Hatib (2014), Mustofa dkk. (2015), dan Mustofa et al.

(2015) maupun terintegrasi dengan sistem pembangkit listrik milik PLN sebagai cadangan energi listrik sewaktu-waktu terjadi shut-down. Namun sistem ini masih jarang ditemukan di Indonesia karena biayanya yang mahal, terbatas hanya pada daerah atau pulau terisolasi dekat pesisir pantai dan lereng bukit tanpa aliran listrik PLN.

Teknologi yang prinsip kerjanya mirip dengan PV adalah apa yang disebut generator termoelektrik (TEG). Sebagai efek Seebeck, modul TEG mampu mengubah perbedaan temperatur antara sisi panas dan dingin menjadi perbedaan tegangan yang juga mengkonversi termal menjadi energi listrik. Perbedaannya dengan TEG terletak pada energi yang dibutuhkan modul, dimana PV butuh energi cahaya atau foton sementara TEG memanfaatkan energi termal atau panas. Semakin besar perbedaan temperatur antara kedua sisi TEG, semakin besar perbedaan tegangan dan arus yang dihasilkan sepanjang dalam batas temperatur operasi modul. Hanya saja dibutuhkan konsentrator untuk mengumpulkan cahaya sebelum diterima sisi panas TEG yang bertujuan meningkatkan intensitas dan panas cahaya.

Penelitian spektrum cahaya matahari dalam bentuk simulasi yang berada pada panjang gelombang near infrared (NiR) sekitar 700-1150 nm dalam bentuk radiasi kalor kebutuhan TEG masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, simulasi ini memperkaya penelusuran akan parameter dan karakteristik modul yang berpengaruh terhadap peningkatan kinerja modul.

### 1.2 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian tentang implementasi konsentrator atau lensa Fresnel cahaya radiasi surya untuk kebutuhan TEG telah dilakukan. Beberapa diantaranya mengkaji dalam bentuk eksperimen, Elsarrag et al. (2015), Li et al. (2015) dan Piarah et al. (2019). Sedangkan untuk simulasi secara intensif dilakukan oleh Ju et al., (2012), Makki et al. (2015) dan Babu et al., (2015). Mereka menggunakan pemisah spektrum energi foton untuk PV dan energi termal ke TEG yang disebut Hot and Cold Mirror. Namun, penelitian mereka tidak menampilkan pengaruh spektrum cahaya sebelum terbagi 2. Padahal penting diketahui lebih detail berapa besar pengaruh spektrum radiasi termal yang langsung diterima TEG tanpa melewati pemisah spektrum tersebut. Oleh karena itu, studi ini akan memfokuskan simulasi spektrum termal ke TEG dari lensa Fresnel untuk mendapatkan kinerja modul TEG. Radiasi AM1.5G yang digunakan adalah pada panjang gelombang antara 700-1150 nm.

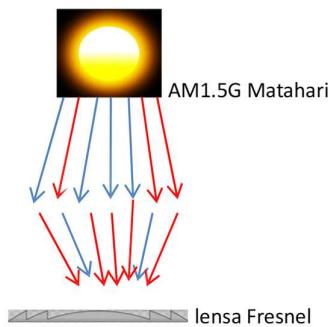
Untuk simulasi TEG, Kossyvakis et al. (2015) menguraikan penggunaan konsentrator yang mengkonsentrasi radiasi termal dan optik. Pada sisi panas TEG ditambahkan pelat penyerap fluks kalor sebelum dikonveksikan. Sedangkan pada permukaan sisi dingin ditambahkan heat sink dari bahan Aluminium untuk mempercepat perpindahan kalor pada sisi dingin TEG, sehingga perbedaan temperatur pada kedua sisi TEG lebih cepat dan lebih besar. Penelitian yang sama dengan cara eksperimen telah dilakukan oleh Mustofa et al. (2018) dengan menggunakan sumber radiasi bohlam pijar dengan daya 45, 75 dan 100 Watt. Peneliti menampilkan spektrum cahaya

# PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNIK MESIN UKI TORAJA 2022

pijar yang diukur dengan Theremo Spectrometer dan besarnya daya yang dibangkitkan modul. Sayangnya, nilai spektral irradians tidak diketahui dan efisiensi TEG tidak ditampilkan. Padahal karakteristik TEG memerlukan parameter - parameter ini, terutama spektral irradians yang merupakan nilai absorpsi cahaya yang mendekati besarnya intensitas. Dibutuhkan tambahan alat ukur untuk mendapatkan parameter itu. Diperlukan penelitian simulasi pada daya sumber radiasi yang rendah untuk memperkaya hasil studi ini.

### 1.3 Metodologi Penelitian

Ilustrasi simulasi radiasi spektrum matahari standar AM1.5G yang difokuskan ke lensa Fresnel menuju modul TEG dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi radiasi matahari, lensa Fresnel dan TEG

Besarnya daya emisi cahaya yang dipancarkan spektrum AM1.5G pada batas panjang gelombang 700-1150 nm seperti pada persamaan (1)

$$H = \int_{700}^{1150} F(\lambda) d\lambda$$

dengan variasi spektrum radiasi panjang gelombang pada 0.05, 0.1, 0.25, 0.5 dan 0.7 Sun ( $< 1 \text{ Sun} = 1000 \text{ W/m}^2$ ) yang dikategorikan dalam skala *indoor use*.

Untuk perhitungan kinerja modul TEG diuraikan seperti berikut ini.

(a) Daya keluaran

$$P_{TEG} = I^{TEG} R_{Load} \quad (2)$$

$$I_{TEG} = \frac{\alpha(T_{hot} - T_{cold})}{R_{TEG} + R_{Load}} \quad (3)$$

$$R_{TEG} = 6.54 \text{ k}\Omega$$

sedangkan  $\alpha$  adalah koefisien *Seebeck* yang dihasilkan dari persamaan berikut:

$$\alpha = \frac{\Delta V}{T_{hot} - T_{cold}}$$

$R_{TEG}$  = beban internal TEG (6.54 k $\Omega$ )

$R_{Load}$  = beban rangkaian (k $\Omega$ )

$$I = \frac{\alpha (T_{hot} - T_{cold})}{R_{TEG} + R_{Load}} \quad (5)$$

Sementara untuk panas yang diserap ( $Q_h$ ) dihitung dari persamaan

$$Q_h = \alpha I T_{hot} + K(T_{hot} - T_{cold}) - 0.5 I^2 R_{TEG} \quad (6)$$

$$K = \frac{k A_{TEG}}{t} \quad (7)$$

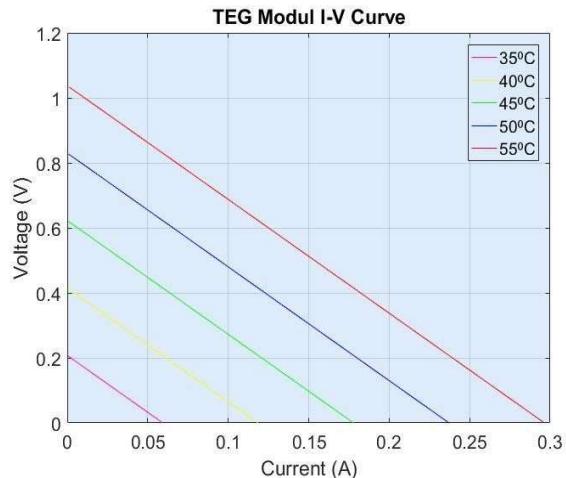
dimana  $k$  adalah konduktivitas termal modul,  $T_{hot}$  adalah temperatur sisi panas,  $T_{cold}$  temperatur sisi dingin,  $I$  arus TEG,  $\alpha$  koefisien Seebeck,  $R_{TEG}$  adalah hambatan internal,  $A_{TEG}$  luas permukaan TEG dan  $t$  adalah tebal TEG. Untuk perhitungan efisiensi (Ƞ) modul TEG dapat dihitung dengan persamaan (8).

$$\eta_{TEG} = \frac{P_{TEG}}{Q_h} \times 100 \quad (8)$$

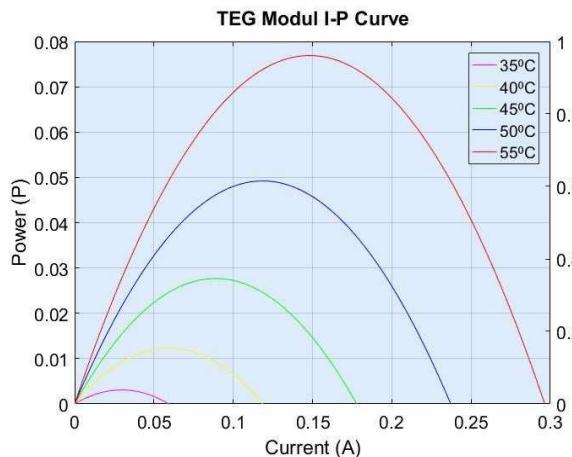
## 2. PEMBAHASAN

### (a) Temperatur sisi panas TEG

Hasil simulasi dengan Matlab menunjukkan nilai arus (A) bertambah diikuti dengan bertambah tegangan (V) seperti pada Gambar 2. Nilai maksimumnya diperoleh pada temperatur sisi panas TEG sebesar 55°C, sehingga daya optimal yang dibangkitkan juga pada arus maksimum (Gambar 3).

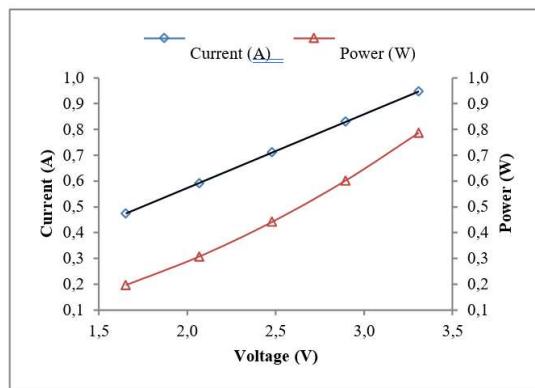


Gambar 2. Kurva perubahan temperatur sisi panas terhadap I-V pada TEG



Gambar 3. Kurva perubahan temperatur sisi panas terhadap I-P pada TEG

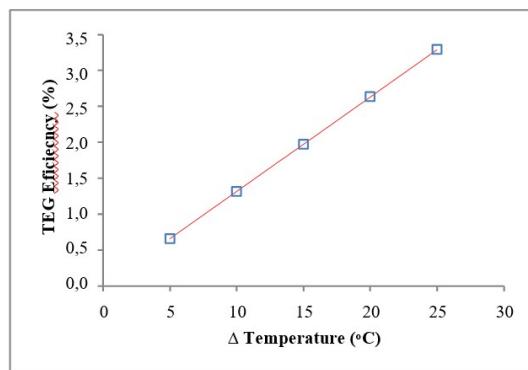
Pada Gambar 3 memperlihatkan hubungan fungsi tegangan, arus dan daya listrik modul yang dapat dituliskan menjadi  $f(V) = I$  dan  $f(V) = P$ . Peningkatan nilai tegangan ( $V$ ) diikuti secara linier nilai arus listrik ( $I$ ), sementara dengan daya keluaran TEG membentuk semi linier dengan terjadi deviasi linier pada tegangan 2.5 Volt.



Gambar 4. Hubungan fungsi  $f(V) = I$  dan  $f(V) = P$  pada modul TEG

#### (b) Efisiensi modul TEG

Efisiensi yang dihasilkan memperlihatkan peningkatan signifikan pada perbedaan suhu sisi panas dan sisi dingin ( $\Delta T$ ) TEG. Terbukti dengan ( $\Delta T$ ) yang terbesar 25°C, efisiensi yang ditampilkan juga optimal pada angka 3.3%. seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Perubahan temperatur permukaan terhadap efisiensi TEG

### 3. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dapat ditarik kesimpulan bahwa dengan daya spektrum radiasi surya yang rendah kurang dari 1 Sun telah memberikan nilai efisiensi yang cukup baik. Hal ini disebabkan efektivitas lensa Fresnel dalam meningkatkan efisiensi dan memfokuskan radiasi yang datang dan diteruskan ke permukaan sisi panas TEG. Selanjutnya, beda temperatur pada sisi panas dan dingin mempengaruhi juga peningkatan efisiensi keluaran modul.

### REFERENSI

- Babu, C., and Ponnambalam, P. (2018) The theoretical performance evaluation of hybrid PV-TEG system," *Energy Convers. Manag.*, 173: 450–460.
- Elsarrag, E. et al. (2015). Spectrum splitting for efficient utilization of solar radiation: A novel photovoltaic–thermoelectric power generation system. *Renew. Wind. Water Solar*, 2(16): 1–11, <https://doi.org/10.1186/s40807-015-0016-y>.
- Ju, X. et al. (2012). Numerical analysis and optimization of a spectrum splitting concentration photovoltaic – thermoelectric hybrid system. *Sol. Energy*, 86(6), 1941–1954.
- Kossyvakis, D.N., Vossou C.G., Provatidis, C.G., and Hristoforou, E.V. (2015). Computational analysis and performance optimization of a solar thermoelectric generator. *Renewable Energy*. Elsevier. 81:150-161.
- Li, Y., Witharana, S., Cao, H., Lasfargues, M., Huang, Y. and Ding, Y. (2014) Wide spectrum solar energy harvesting through an integrated photovoltaic and thermoelectric system, *Particuology*, 15: 39–44.
- Makki, A., Omer, S., and Sabir, H., (2015) Advancements in hybrid photovoltaic

## PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNIK MESIN UKI TORAJA 2022

- systems for enhanced solar cells performance, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 41: 658–684, 2015.
- Mustofa, dan Hatib, R. 2014. Konfigurasi Serpentine-Paralel dan Paralel-Serpentine Pada Pipa Fluida Pemanas Air Surya Sistem Thermosiphon. *Jurnal MEKANIKAL*, 5(1); 464-469. Diakses online pada <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/mechanikal/article/view/3159>.
- Mustofa, Magga, R., dan Arifin, Y. (2015). Desain Hybrid Panel Surya Tipe Monocrystalline dan Thermal Kolektor Fluida Air. *Jurnal IPTEK ITATS*, 19(2): 68-73. DOI: <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2015.v19i2.11>
- Mustofa, Magga, R., Arifin, Y., and Hatib, R. (2015). Performance of Polycrystalline Photovoltaic and Thermal Collector (PVT) on Serpentine-Parallel Absorbers Design, *International Journal on Smart Material and Mechatronics*, 2(2): 98-101.
- Mustofa, Magga, R., Arifin, Y., and Hatib, R. (2015). Performance of Polycrystalline Photovoltaic and Thermal Collector (PVT) on Serpentine-Parallel Absorbers Design, *International Journal on Smart Material and Mechatronics*, 2(2): 98-101.
- Mustofa, Basri, Rahman, Y.A. (2018). Experimental investigation from different focal length  $h$  of Fresnel lens on thermoelectric generators performance. *IOP Conf. Series. Earth and Environmental Science*. 175. doi :10.1088/1755-1315/175/1/012004. Diakses online pada <https://iopscience.iop.org/issue/1755-1315/175/1>
- Piarah, W.H., Djafar, Z., Syafaruddin, Mustofa, (2019) The Characterization of a Spectrum Splitter of TechSpec AOI 50.0mm Square Hot and Cold Mirrors Using a Halogen Light for a Photovoltaic Thermoelectric Generator Hybrid, *Energies*, 12(3): 1-13.