

Variasi Jarak Titik Fokus Cahaya Foton Pada PV Yang di Hibrid dengan TEG Menggunakan Pemisah Spektrum jenis *Hot Mirror*

Mustofa

mustofauntad@gmail.com

Universitas Tadulako

Abstrak

Titik fokus lensa Fresnel memiliki peranan penting untuk menangkap energi foton yang dihasilkan bohlam LED yang digunakan sebagai energi input pada PV yang di hibrid dengan TEG. Penelitian ini bertujuan untuk melihat jarak focus terbaik PV dengan sumber energi cahaya bohlam menggunakan lensa Fresnel. Variasi titik fokus ada 3 bagian; pada titik focus lensa Fresnel (LF) itu sendiri yang sesuai spesifikasinya (11 cm jarak antara lensa dan modul PV), 1 cm di bawah titik fokus LF dan 1 cm di atas titik focus LF. Hasilnya menunjukkan bahwa posisi menjauh dari spesifikasi titik fokus lensa memberikan energi foton yang lebih besar dibandingkan dengan pada posisi titik fokusnya, dan di atas titik fokusnya. Ini terlihat dari arus listrik PV yang dihasilkan terbesar pada posisi di bawah titik fokus tersebut (0.65 mA) dengan efisiensi hibrid pada titik ini sebesar 13.55%. Daya yang dihasilkan berpotensi diaplikasikan sebagai charging mobile phone, power bank dan sejenisnya.

Kata Kunci — posisi PV, hibrid PV-TEG, LED, hot mirror.

Abstract

The focal point of the Fresnel lens has an important role in capturing the photon energy produced by the LED bulb which is used as input energy in PV hybridized with TEG. This study aims to see the best PV focal length with a light bulb energy source using a Fresnel lens. There are 3 variations of the focus point; at the focal point of the Fresnel lens (FL) according to specifications (11 cm distance between the lens and the PV module), 1 cm below the focus point of FL and 1 cm above the focus point of FL. The results show that positioning away from the lens's specific focal point provides more photon energy than at its focal point, and above its focal point. This can be seen from the largest PV electric current generated at a position below the focal point (0.65 mA) with a hybrid efficiency at this point of 13.55%. The power generated has the potential to be used for charging mobile phones, power banks and the like.

Keywords — PV position, hibrid PV-TEG, hot mirror.

tropis memiliki iklim yang potential mendulang energi terbarukan. Salah satunya adalah energi surya, dimana energi ini memberikan 2 sumber manfaat, yaitu termal dan energi cahaya atau foton. Kedua sumber energi bisa dimanfaatkan oleh sel fotovoltaik – PV dan generator termoelektrik – TEG baik tersendiri maupun digabungkan (hybrid). PV menerima energi foton untuk membangkitkan energi listrik, sementara TEG lebih membutuhkan termal untuk memproduksi perbedaan tegangan pada *junction* positif dan negatif semikonduktor. Beberapa penelitian melakukan penggabungan linier antara PV dan TEG dengan menempatkan modul TEG di permukaan bawah panel PV [1]. Ini bertujuan untuk menjaga kestabilan PV dengan menjaga perbedaan suhu permukaan atas dan bawahnya tidak besar, disamping TEG memanfaatkan energi termal tersebut untuk menghasilkan energi listrik secara simultan. Ada juga yang menempatkan kaca penutup di atas permukaan PV dengan tujuan untuk mengurung termal yang tiba dipermukaannya, sehingga pembangkitan listrik gabungan PV-TEG semakin besar [2] dan [3]. Penambahan *heat pipe* di atas TEG diantara termal silica dan PV telah dilakukan oleh Wen et al., [4] yang secara numerik di analisis untuk meningkatkan energi keluaran TEG. Penelitian terbaru yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja hibrid PV-TEG telah di investigasi oleh Mirza et al., [5] dengan menambahkan rangkaian listrik DC-DC *booster* sebagai pengontrol pada keluaran sistem yang mampu meningkatkan 8% penyerapan energi menjadi 99.86%. Secara lengkap sistem hibrid PV-TEG yang ditumpuk atau model linier telah direview oleh Maythern et al., [6]. Namun, metode ini tidak mengindikasikan secara jelas dalam eksperimen apakah termal dan foton energi surya terpisah sesuai kebutuhan PV dan TEG.

Penggunaan *Sun simulator* adalah metode lain pengganti energi matahari yang bisa dilakukan dalam ruangan. Hanya saja membutuhkan biaya hingga ratusan juta untuk pengadaan instalasinya. Pada tahun 2018, [7] mengawali pemilihan cahaya bohlam jenis mendekati spektrum matahari sesuai dengan rekomendasi [8] yang menyebutkan bohlam jenis Mercury, Xenon dan Halogen sebagai sumber energi termal dan foton pada hibrid PV-TEG menggunakan hot mirror sebagai *spectrum splitter*. Namun secara ekonomis ini tidak mendukung untuk ditindaklanjuti karena menggunakan jenis

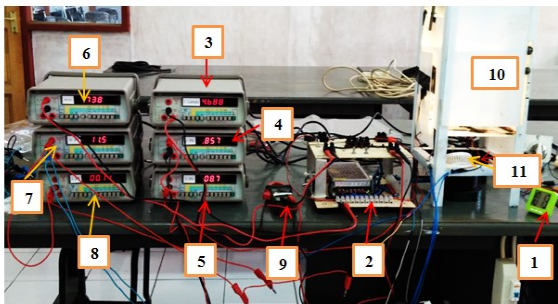
I. PENDAHULUAN

Aplikasi energi bersih (clean energy) menjadi tren yang terus mewarnai istilah pemanfaatan energi terbarukan sebagai pengganti atau pendukung energi fosil yang semakin hari semakin menipis ketersediannya. Indonesia sebagai negara

bohlam yang tidak komersil umum di masyarakat. Pemanfaatan bohlam berdaya rendah 50 Watt menggunakan Xenon, Halogen dan Pijar telah disimulasikan dengan apik oleh Piarah et al., [9] dan dilanjutkan dengan eksperimen [10]. Hasilnya menunjukkan bahwa bohlam jenis Xenon memberikan kinerja yang terbaik. Selanjutnya [11] penggunaan jenis bohlam LED yang banyak dijumpai di pasaran digunakan pada studi ini untuk melihat kinerja modul PV berukuran mini 52x19 mm dipasang seri dengan titik fokus cahaya (focal length) lensa Fresnel 110 mm, tebal 2 mm dan transmisi 92% jenis PMMA dengan dimensi 112 x 73 mm. Namun, jika menggunakan titik fokus ini ada bagian luasan PV yang tidak mendapatkan cahaya bohlam. Oleh karena itu perlu investigasi lebih lanjut bagaimana efeknya keluaran modul PV jika digeser ke atas titik fokus dan di bawah titik fokus cahaya pada masing-masing 10 mm. Penelitian ini bertujuan untuk melihat karakteristik arus dan tegangan modul PV yang di hibrid TEG menggunakan *hot mirror* sebagai pemisah spektrum cahaya foton bohlam LED, dimana posisi modul PV divariasikan jaraknya dari lensa Fresnel, sementara posisi modul TEG pada posisi tegak lurus dari sumber refleksi cahaya menggunakan *hot mirror*. *Hot mirror* adalah pemisah spectrum yang mentransmisikan cahaya foton ke modul PV, sementara yang direfleksikan ke modul TEG lebih kepada cahaya infra-red (Near infrared, NiR).

II. METODE

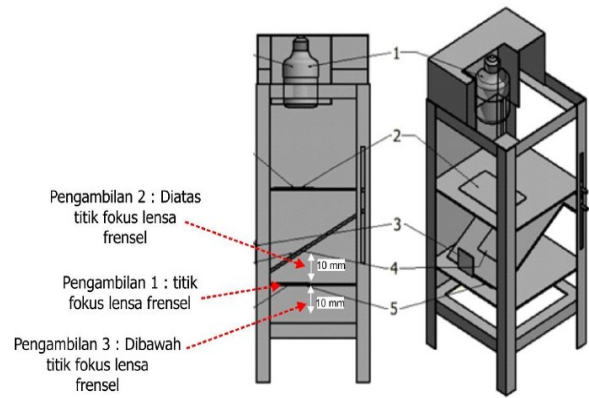
Bohlam LED yang digunakan pada pengujian adalah merek dagang Muxindo dengan daya 10, 15 dan 20 Watt. Adapun tahap pengambilan data terlihat seperti pada Gambar 1.



Gbr. 1 Foto prototype lengkap perangkat eksperimen hibrid PV-TEG

Keterangan:

- 1: jam duduk interval per menit pembacaan data
- 2: terminal blok sensor suhu dan daya bohlam
- 3: digital multimeter arus listrik bohlam
- 4: digital multimeter arus listrik PV
- 5: digital multimeter tegangan PV
- 6: digital multimeter sensor suhu set up PV- TEG
- 7: digital multimeter tegangan TEG
- 8: digital multimeter arus listrik TEG
- 9: digital multimeter tegangan bohlam
- 10. perangkat uji hybrid PV-TEG tertutup dinding bahan akrilik (lihat Gambar 3.17)
- 11. fan heat sink TEG



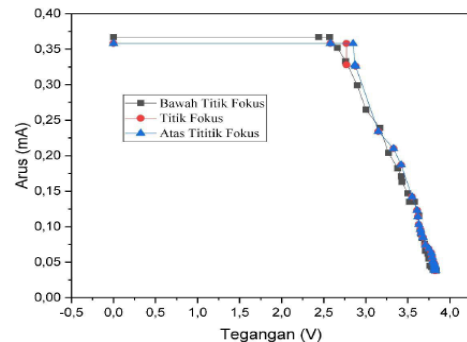
Gbr. 2 Sketsa eksperimen variasi titik fokus PV pada hibrid PV-TEG

Gambar 2 memperlihatkan sketsa lengkap pengambilan data hibrid PV-TEG, dimana bohlam ditempatkan pada angka 1 bagian paling atas, selanjutnya lensa Fresnel (LF) nomor 2 ditempatkan di bawah bohlam untuk memfokuskan cahayanya ke hot mirror (HM) pada nomor 4. Di HM cahaya terbagi 2, ada yang direfleksikan ke modul TEG pada angka 3, dan ada yang ditransmisikan ke modul PV nomor 5. Modul PV ini yang divariasikan jaraknya dari LF, baik pada titik fokusnya sejauh 11 cm, 10 mm ke atas titik fokus LF (10 cm dari LF) dan 10 mm di bawah titik fokus LF (12 cm). Sementara posisi TEG dibiarkan tetap posisi tegak lurus dengan arah datangnya cahaya atau refleksi dari *hot mirror*. Pengambilan data dilakukan perdetik dengan menggunakan multimeter digital pada nomor 3 sampai 8 pada Gambar 1 yang bias mengukur arus dalam satuan mikro meter (μm). Nomor 2 pada Gambar 1 khusus untuk mengukur suhu permukaan modul PV atas-bawah, TEG atas bawah dan suhu lingkungan.

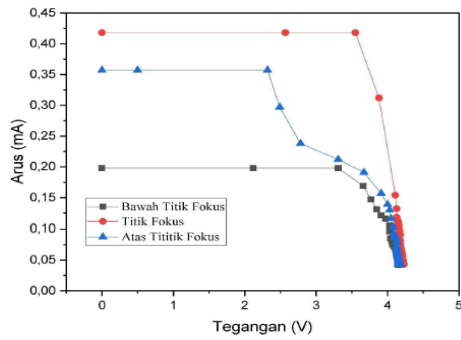
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik I-V pada 3 variasi posisi PV dengan bohlam 10, 15 dan 20 Watt

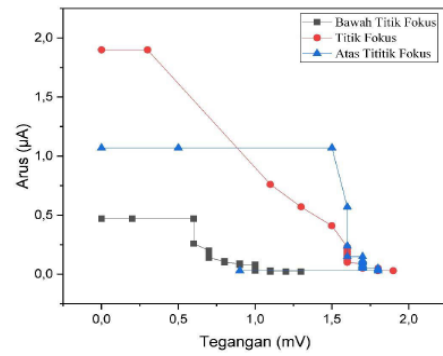
Grafik-grafik pada Gambar 3 sampai 5 memperlihatkan karakteristik arus-tegangan listrik (I-V) khusus pada PV yang di hibrid dengan TEG pada 3 variasi jarak PV dari fokus LF menggunakan 1 jenis bohlam Muxindo dengan daya 10, 15 dan 20 Watt.



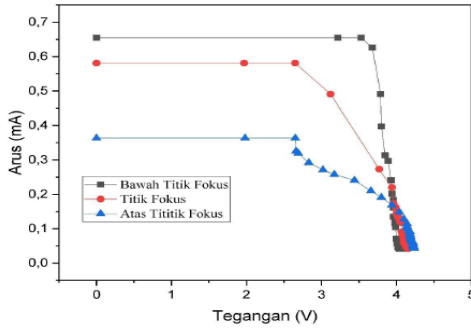
Gbr. 3 Karakteristik I-V PV dengan bohlam Muxindo 10 Watt



Gbr. 4 Karakteristik I-V PV dengan bohlam Muxindo 15 Watt



Gbr. 7 Karakteristik I-V TEG pada 3 posisi PV bohlam 15 Watt

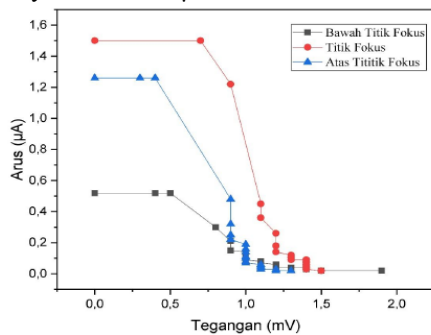


Gbr. 5 Karakteristik I-V PV dengan bohlam Muxindo 20 Watt

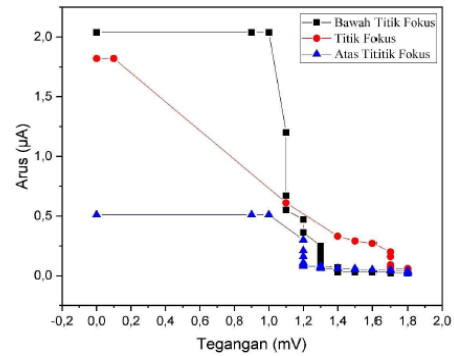
Karakteristik daya keluaran PV di atas menunjukkan ada korelasi linier peningkatan arus listrik dengan penambahan daya bohlam. Sementara itu tegangan listrik yang dihasilkan adalah tetap. Dalam hal posisi PV, di bawah titik fokus LF menampilkan karakteristik arus yang terbaik diikuti posisi titik fokus dan paling rendah adalah di atas titik fokus. Ini kemungkinan disebabkan oleh intensitas cahaya yang mengecil jika mendekati LF, sehingga arus juga mengecil.

B. Karakteristik I-V TEG pada 3 variasi PV dengan bohlam 10, 15 dan 20 Watt

Berbeda dengan PV, daya keluaran TEG yang dibangkitkan sangat kecil dalam satuan mikro Ampere arus yang dihasilkan (Gambar 6-8). Ini menunjukkan bahwa termal yang dipancarkan bohlam LED sangat rendah, sehingga arus yang dihasilkan hanya sekitar 2.0 μ A.



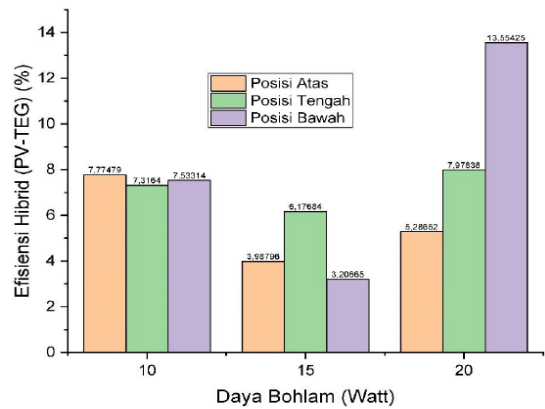
Gbr. 6 Karakteristik I-V TEG pada 3 posisi PV bohlam 10 Watt



Gbr. 8 Karakteristik I-V TEG pada 3 posisi PV bohlam 20 Watt

C. Efisiensi hibrid PV-TEG dengan 3 variasi fokus PV dari LF

Peningkatan daya bohlam tidak diiringi dengan penambahan efisiensi hibrid PV-TEG. Ini terlihat pada Gambar 9 bahwa daya bohlam 15 Watt memberikan energi keluaran yang lebih kecil dari 10 dan 20 Watt. Bohlam 20 Watt lebih stabil dan jelas perbedaan efisiensinya berdasarkan 3 posisi PV dengan TEG posisi konstan. Efisiensi tertinggi diperoleh sebesar 13.55% pada posisi PV di bawah titik fokus LF dengan sumber energi bohlam 20 Watt. Kontribusi terbesar ini diberikan oleh modul PV.



Gbr. 9 Efisiensi hibrid PV-TEG dengan 3 variasi PV dari LF

IV. KESIMPULAN

Dari studi ini dapat disimpulkan bahwa posisi modul PV di bawah titik focus LF, yaitu 12 cm dari LF adalah posisi yang terbaik memberikan daya keluaran modul hibrid PV-TEG menggunakan sumber energi bohlam LED. Kenyataannya modul PV memberikan kontribusi energi yang lebih baik dibandingkan dengan TEG. Intensitas cahaya LED yang besar memberikan efek pada energi keluaran PV yang mempengaruhi secara total energi keluaran hibrid modul PV dan TEG.

REFERENSI

- [1] M. Ruzaimi Ariffin, S. Shafie, W. Z. W. Hassan, N. Azis, and M. Effendy Ya'Acob, "Conceptual design of hybrid photovoltaic-thermoelectric generator (PV/TEG) for Automated Greenhouse system," *IEEE Student Conf. Res. Dev. Inspiring Technol. Humanit. SCORED 2017 - Proc.*, vol. 2018-Janua, pp. 309–314, 2018, doi: 10.1109/SCORED.2017.8305373.
- [2] C. Babu and P. Ponnambalam, "The theoretical performance evaluation of hybrid PV-TEG system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 173, no. July, pp. 450–460, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.07.104.
- [3] D. Kraemer *et al.*, "High-performance flat-panel solar thermoelectric generators with high thermal concentration," *Nat. Mater.*, vol. 10, no. 7, pp. 532–538, 2011, doi: 10.1038/nmat3013.
- [4] X. Wen, J. Ji, Z. Song, Z. Li, H. Xie, and J. Wang, "Comparison analysis of two different concentrated photovoltaic/thermal-TEG hybrid systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 234, no. February, p. 113940, 2021, doi: 10.1016/j.enconman.2021.113940.
- [5] A. F. Mirza, M. Mansoor, K. Zerbakht, M. Y. Javed, M. H. Zafar, and N. M. Khan, "High-efficiency hybrid PV-TEG system with intelligent control to harvest maximum energy under various non-static operating conditions," *J. Clean. Prod.*, vol. 320, no. June, p. 128643, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128643.
- [6] A. N. Al-shamani, "Using Hybrid System Photovoltaic Thermal / Phase Change Materials / Thermoelectric (PVT / PCM / TE): A Review," vol. 2022, no. 1365, pp. 1365–1400, 2022.
- [7] Mustofa, Z. Djafar, Syafaruddin, and W. H. Piarah, "A new hybrid of photovoltaic-thermoelectric generator with hot mirror as spectrum splitter," *J. Phys. Sci.*, 2018, doi: 10.21315/jps2018.29.s2.6.
- [8] A. Doolittle, "Lecture 2 : The Nature of Light Reading Assignment – Chapter 2 of PVCDDROM The Nature of Light," *Nat. Light. Read. Assign.*, p. Chapter 2, 2007, [Online]. Available: http://users.ece.gatech.edu/~alan/ECE4833/Lectures/Lecture2_PropertiesOfSunlight.pdf.
- [9] W. H. Piarah, Z. Djafar, Hariyanto, and Mustofa, "A new simulation of photovoltaic and thermoelectric generator hybrid system with a beam splitter cold and hot mirror for low intensity," *Int. Rev. Mech. Eng.*, vol. 13, no. 9, 2019, doi: 10.15866/ireme.v13i9.17884.
- [10] W. H. Piarah, Z. Djafar, Syafaruddin, and Mustofa, "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*, 2019, doi: 10.3390/en12030353.
- [11] Mustofa, Iskandar, Muchsin, S. Suluh, and T. M. Kamaludin, "The effectiveness of a mini photovoltaic cell by using light LED bulbs as a source of photon energy," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 926, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/926/1/012090.

