

INTEGRASI PHOTOVOLTAIC DAN THERMOELECTRIC GENERATOR DENGAN KONSENTRATOR LENS FRESNEL

INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC AND THERMOELECTRIC GENERATOR SYSTEM WITH FRESNEL LENS CONCENTRATOR

Ahmad Rizki Yudistira¹, Wahmisari Priharti², Mohammad Ramdhani³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

¹yudistirayudis@student.telkomuniversity.ac.id ²wpriharti@telkomuniversity.ac.id ,
³mohamadramdhani@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Photovoltaic (PV) dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Namun selain menghasilkan energi listrik, PV juga dapat menghasilkan panas yang terbuang. Panas buang tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik yaitu dengan menggunakan thermoelectric generator (TEG). Keluaran daya dari kombinasi PV-TEG dapat ditingkatkan lagi yaitu dengan menambahkan konsentrator. Pada penelitian ini, dirancang suatu integrasi sistem PV dan TEG dengan konsentrator lensa fresnel yang diharapkan dapat meningkatkan daya yang dihasilkan serta meningkatkan panas buang yang dihasilkan oleh PV. Jenis PV yang digunakan adalah jenis polycrystalline dengan kapasitas 20 W. Sedangkan TEG yang digunakan adalah jenis TEC-12706. Pengujian ini berlangsung selama dua hari dengan membandingkan sistem PV-TEG dengan konsentrator dengan PV tanpa konsentrator. Dari hasil pengujian yang dilakukan, nilai rata-rata tegangan, arus dan daya yang dihasilkan oleh PV dengan konsentrator masing-masing sebesar yaitu 6.32 V, 309.14 mA, 2.17 W. Jika dibandingkan dengan PV tanpa konsentrator, terdapat peningkatan tegangan, arus, dan daya rata-rata masing-masing sebesar 136 %, 145%, dan 404 %. Sedangkan dari TEG, diperoleh tegangan, arus, dan daya rata-rata masing-masing sebesar 0.52V, 0.54 mA, dan 0.9 W. Keluaran PV paling optimal dihasilkan dengan menggunakan jarak antara PV dan konsentrator Fresnel sejauh 39 cm.

Kata Kunci : konsentrator Fresnel, photovoltaic, thermoelectric generator, panas terbuang, daya

Abstract

Photovoltaic can convert sunlight energy into electrical energy. But in addition to producing electrical energy, photovoltaic can also produce wasted heat. Waste heat can be reused as electrical energy by using a thermoelectric generator (TEG). Power output of the photovoltaic-TEG combination can be increased by adding a concentrator. In this research, an integration of PV and TEG systems with a Fresnel lens concentrator is designed which is expected to increase the power generated and increase the exhaust heat generated by PV. The type of PV used is polycrystalline type with a capacity of 20 W. While the TEG used is the type of TEC-12706. This test lasted for two days by comparing the PV-TEG system with a concentrator with PV without a concentrator. From the results of the tests carried out, the average value of voltage, current and power produced by PV with a concentrator is 6.32 V, 309.14 mA, 2.17 W. When compared to PV without a concentrator, there is an increase in voltage, current, and the average power is 136%, 145%, and 404%, respectively. Meanwhile, from TEG, the average voltage, current, and power are 0.52V, 0.54 mA, and 0.9 W, respectively. The most optimal PV output is obtained by using the distance between the PV and the Fresnel concentrator as far as 39 cm. **Keywords :** Concentrator Fresnel, photovoltaic, thermoelectric generator, wasted heat, power

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang terletak digaris khatulistiwa. Sehingga sumber panas matahari yang dihasilkan sangat besar. Hal ini bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi surya. Potensi energi surya di Indonesia sangat besar yaitu sekitar 4.8 KWh/m² atau setara dengan 112.000 Gwp [1]. Hal ini bisa dimanfaatkan guna mencukupi sumber listrik untuk kebutuhan sehari-hari terutama didaerah terpencil yang terkadang belum mendapatkan sumber daya listrik karena sulitnya akses distribusi listrik dari PLN. Salah satu pemanfaatan energi surya adalah dengan menggunakan teknologi Photovoltaic.

Teknologi Photovoltaic memungkinkan mengubah energi radiasi menjadi gerakan elektron di dalam bahan semikonduktor [2]. Prinsip kerja dari photovoltaic adalah dengan menggunakan efek photovoltaic. Efek

photovoltaic adalah munculnya tegangan listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat di buka dibawah energi cahaya matahari [3]. Teknologi ini menggunakan photovoltaic untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik. Untuk menambah daya gain Photovoltaic supaya energi listrik yang dihasilkan lebih baik, ditambahkan lah suatu konsentrator tenaga surya.

Konsentrator tenaga surya adalah perangkat yang memungkinkan pengumpulan sinar matahari dari area yang luas dan memfokuskannya pada penerima yang lebih kecil [4]. Terdapat beberapa jenis konsentrator yang digunakan pada saat ini. Salah satunya adalah dengan menggunakan lensa Fresnel. Lensa Fresnel dapat memfokuskan cahaya matahari menuju titik fokus yang dituju. Dan lensa Fresnel juga dapat meningkatkan nilai iradiasi matahari. Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan lensa Fresnel. Nilai iradiasi meningkat dari 672 W/m² menjadi 1245 W/m² [5]. Hal ini bisa dimanfaatkan sebagai cara untuk meningkatkan daya gain Photovoltaic agar bisa lebih optimal.

Pada Tugas Akhir ini, penulis akan merancang photovoltaic dan TEG dengan lensa Fresnel sebagai konsentratornya. Penggunaan konsentrator ini, bertujuan untuk meningkatkan daya yang photovoltaic serta meningkatkan panas buang yang dihasilkan oleh photovoltaic agar TEG dapat menghasilkan tegangan yang lebih besar.

2. Dasar Teori

2.1. Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang memanfaatkan panas matahari sebagai sumber energinya. Panas matahari yang diterima akan diubah menggunakan photovoltaic menjadi energi listrik. Pemanfaatan ini menggunakan efek Photovoltaic (PV). Efek PV terjadi Ketika radiasi matahari mengenai sel surya. Atom dari sel surya akan menyerap sebagian energi foton. Dalam keadaan tereksitasi ini yang hanya bisa dihasilkan oleh cahaya dalam rentang panjang gelombang tertentu, atom pada sel surya akan melepaskan elektron yang dapat mengalir melalu konduktor untuk menghasilkan arus listrik. Sel surya pada photovoltaic biasanya dibuat dari berbagai bahan semikonduktor dan dilapisi dengan bahan aditif khusus.

2.2. Photovoltaic

Photovoltaic merupakan sebuah perangkat yang terbuat dari bahan semikonduktor untuk mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan efek PV. Bahan yang digunakan pada photovoltaic biasanya terbuat dari silikon. Silikon pada photovoltaic terbagi menjadi 3 tipe dan kemurnian materialnya yaitu *Monocrystalline silicon*, *Polycrystalline silicon*, dan *Amorphous Silicon*. *Monocrystalline silicon* memiliki efisiensi berkisar sekitar 15-20 %, *polycrystalline silicon* memiliki efisiensi sekitar 13-15 %, sedangkan *amorphous silicon* memiliki efisiensi yang sangat kecil yaitu 5-10 % [6].

2.3. Thermoelectric Generator

Thermoelectric Generator adalah sejenis peltier dimana mengubah energi panas menjadi energi listrik apabila ada perbedaan suhu antara sisi-sisi TEG. Hal ini terjadi karena efek seebeck. Efek seebeck terjadi apabila satu sisi modul diberi sumber panas sedangkan satu sisi modul yang lain menerima atau dipertahankan suhunya lebih rendah dari sisi lain modul, maka modul tersebut akan menghasilkan energi listrik karena terjadi perbedaan suhu. Efek seebeck bisa dirumuskan dalam persamaan dibawah ini :

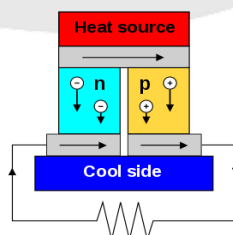
$$V = \alpha \Delta T \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

V = Tegangan (V)

α = Koefisien seebeck (μV/K)

ΔT = Perbedaan suhu



Gambar 1 Prinsip kerja Thermoelectric Generator [7]

Struktur dasar dari TEG terdiri dari peltier semikonduktor tipe-P dan tipe-N. yang saling terhubung. Satu modul TEG terdiri dari beberapa pasangan TEG yang dihubungkan secara seri dan parallel saat dihubungkan dengan perangkat atau benda yang menghasilkan panas. Panas yang terbuang dari suatu benda diterima oleh bagian TEG yang terhubung dengan benda tersebut sebagai sisi panas. Sedangkan untuk mendapatkan sisi dingin, diperlukan suatu heat sink untuk menghasilkan sisi dingin. *Thermoelectric generator* telah digunakan dalam berbagai aplikasi dan dalam berbagai rentang daya sebagai sistem pemanenan panas atau dalam kondisi dimana tidak memungkinkan menggunakan tenaga listrik dengan cara komersial. Misalkan TEG digunakan dalam aplikasi medis untuk memasok alat pacu jantung, lalu TEG digunakan dalam aplikasi luar angkasa, militer, dan sebagai pemanen panas bila digabungkan dengan sistem photovoltaic [8]. Energi listrik yang dihasilkan oleh TEG biasanya kecil sehingga penggunaannya tidak selalu menggunakan satu TEG, melainkan penggunaannya bisa lebih dari satu.

2.4. Lensa Fresnel

Lensa Fresnel adalah komponen optik datar atau melengkung yang memfokuskan cahaya melalui serangkaian fokus titik atau fokus garis yang bersifat prismatik [9]. Sinar yang dihasilkan oleh lensa fresnel akan sejajar dengan sinar datang. Lensa Fresnel biasanya berbahan dari PMMA (Polymethyl methacrylate). Namun ada juga yang berbahan dari PC (Polycarbonat), dan PVC (Polyvinyl Chloride). Penggunaan konsentrator jenis ini dapat digunakan sebagai alternatif lain untuk meningkatkan efisiensi dari photovoltaic karena pembuatannya yang lebih murah bila dibandingkan dengan konsentrator jenis lain. Dalam menentukan jarak antara lensa Fresnel dan photovoltaic, digunakan persamaan dibawah ini

$$\tan A = \tan B \dots\dots\dots(2)$$

3. Pembahasan

3.1. Desain Sistem

Pada tugas akhir ini akan dirancang sistem photovoltaic dan thermoelectric generator dengan bantuan konsentrator lensa Fresnel. Daya listrik yang dihasilkan oleh panel berasal dari panas matahari. Untuk daya listrik yang dihasilkan oleh TEG berasal dari panas buang dari PV. Sedangkan konsentrator lensa Fresnel berfungsi untuk memfokuskan cahaya matahari ke PV agar lebih optimal. Selain itu juga untuk meningkatkan panas yang dihasilkan agar TEG menerima panas yang sangat kuat. Hasil keluaran dari TEG dan PV selanjutnya akan dibaca oleh sensor-sensor yang terkait dengan sistem.

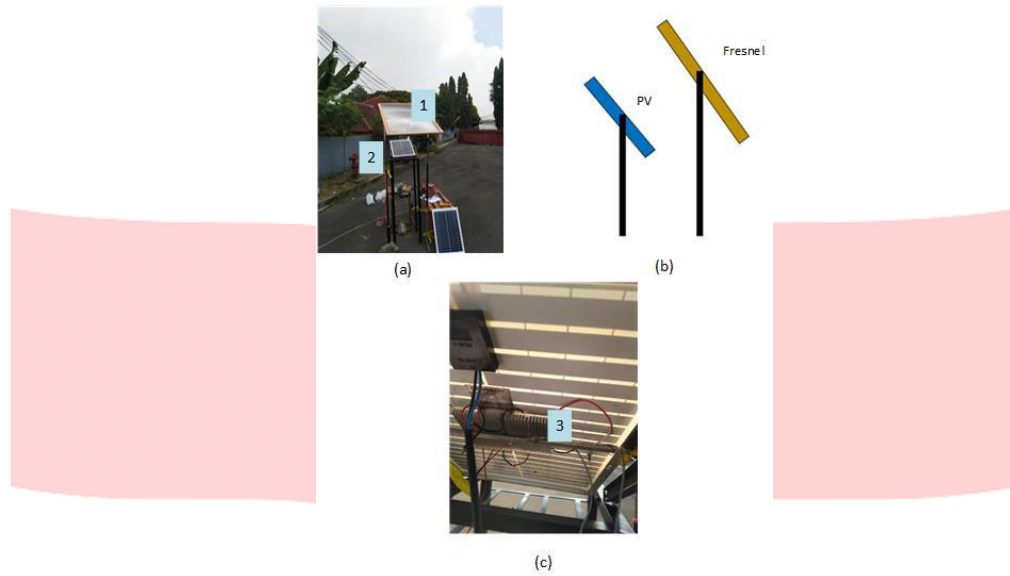
3.2. Diagram Blok Sistem



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem yang akan dikerjakan. Terdapat tahap-tahap atau proses yang terjadi di dalam sistem. Pertama Cahaya matahari bergerak menuju Fresnel. Lalu cahaya matahari yang diterima oleh Fresnel akan difokuskan menuju titik terfokus pada Photovoltaic. Karena photovoltaic menerima cahaya matahari, maka akan menghasilkan panas buang. Panas buang tersebut lalu diterima oleh TEG. TEG lalu mengubah energi panas tersebut menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh TEG dan Photovoltaic selanjutnya akan dibaca oleh sensor dan selanjutnya menuju beban. Pembacaan sensor dilakukan secara real time lewat data logger.

3.3. Desain Perangkat Keras



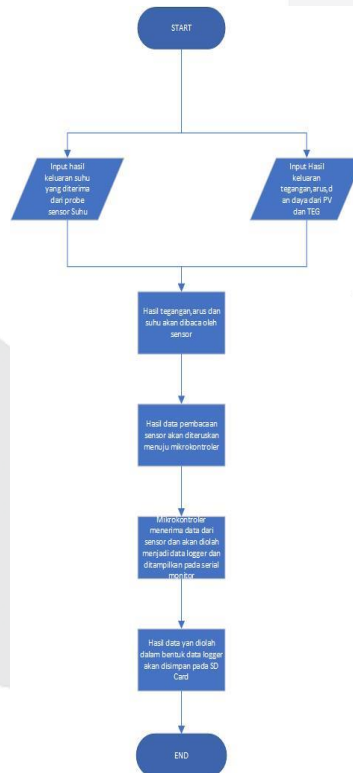
Gambar 3 Desain Perangkat Keras

Keterangan :

1. Lensa Fresnel
2. Photovoltaic
3. Thermoelectric Generator

Pada Gambar 3 menunjukkan desain perangkat keras sistem. Posisi photovoltaic statis menghadap arah matahari dan sejajar dengan lensa fresnel. Untuk posisi TEG diletakan pada bagian belakang photovoltaic. Posisi lensa fresnel dapat dinaikkan atau diturunkan terhadap panel tergantung pengujian yang dilakukan

3.4. Diagram Alir



Gambar 4 Diagram Alir Sistem

Gambar 4 menunjukkan diagram alir sistem. Proses dimulai pada jam 09:00 saat cahaya matahari berada pada posisi puncaknya. Pada saat itu lensa fresnel masih menerima titik fokus yang sangat baik. Selanjutnya PV akan menerima cahaya hasil fokus dari fresnel. Pada kondisi tersebut juga PV mengalami peningkatan suhu

sehingga menghasilkan panas buang yang selanjutnya akan diterima oleh TEG dan diolah menjadi energi listrik. Karena posisi photovoltaic dan lensa fresnel terhadap matahari statis, maka akan terjadi perpindahan titik fokus yang diterima oleh PV. Oleh sebab itu jarak antara PV dan lensa fresnel akan diatur kembali setiap satu jam hingga jam 13:00. Hasil tegangan dari panel dan TEG serta suhunya akan diolah di mikrokontroler yang selanjutnya disimpan dalam data logger.

4. Hasil pengujian dan analisis

4.1. Pengujian pada PV

Pengujian ini dilakukan selama 2 hari dari jam 09:00 hingga 13:00. Pada hari pertama, pengujian dilakukan dengan cara menempatkan PV dan Fresnel berjarak sesuai dengan titik fokus yang dihasilkan dari matahari langsung. Tiap satu jam posisi PV terhadap fresnel akan disesuaikan sesuai dengan titik fokus yang dihasilkan dari matahari langsung. Pada hari kedua, pengujian dilakukan dengan cara mengatur jarak antara PV dengan Fresnel berdasarkan perhitungan jarak fokus cahaya matahari menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\tan A = \tan B \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{47.25}{75} = \frac{23.5}{75-x} \dots\dots\dots(4)$$

$$1781.25 = 3543.75 - 47.25x \dots\dots\dots(5)$$

$$1762.5 = 47.25x \dots\dots\dots(6)$$

$$x = 37.3 \dots\dots\dots(7)$$

$$\tan A = \tan B \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{36.5}{75} = \frac{17.5}{75-x} \dots\dots\dots(9)$$

$$1312.5 = 2737.5 - 47.25x \dots\dots\dots(10)$$

$$1425 = 36.5x \dots\dots\dots(11)$$

$$x = 39.04 \dots\dots\dots(12)$$

Dari percobaan langsung untuk mencari jarak fokus, didapatkan jarak fokus yaitu 75 cm. ukuran lensa fresnel yang digunakan adalah 94.5 cm x 73 cm. sedangkan ukuran PV yang digunakan 47 cm x 35 cm. dari persamaan diatas didapatkan jarak antara PV dan Fresnel yaitu 37.3 cm hingga 39 cm. Dari pengujian selama dua hari, didapatkan hasil data berupa rata-rata nilai tegangan, nilai arus, dan nilai daya antara PV dengan konsentrator dan PV tanpa konsentrator. Data tersebut disajikan dalam bentuk tabel dibawah ini.

Tabel 1. Hasil pengujian PV dengan konsentrator dan tanpa konsentrator hari pertama

| Waktu | Tegangan | | Arus | | Daya | | Jarak |
|-------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------|
| | Panel dan Fresnel | Panel Saja | Panel dan Fresnel | Panel Saja | Panel dan Fresnel | Panel Saja | |
| 09:00 | 4.64 | 0.96 | 243 | 47.9 | 1.12752 | 0.045984 | 71 cm |
| 09:05 | 5.68 | 1.65 | 0 | 81.3 | 0 | 0.134145 | |
| 09:10 | 6.4 | 2.36 | 334.1 | 115.6 | 2.13824 | 0.272816 | |
| 09:15 | 6.06 | 2.24 | 0 | 110.1 | 0 | 0.246624 | |
| 09:20 | 5.6 | 3.58 | 288.1 | 174.2 | 1.61336 | 0.623636 | |
| 09:25 | 6.07 | 3.62 | 311.6 | 175.4 | 1.891412 | 0.634948 | |
| 09:30 | 5.46 | 3.34 | 280.7 | 162.9 | 1.532622 | 0.544086 | |
| 09:35 | 4.9 | 1.92 | 255.2 | 94.1 | 1.25048 | 0.180672 | |
| 09:40 | 6.05 | 3.7 | 314.7 | 179.9 | 1.903935 | 0.66563 | |
| 09:45 | 5.73 | 2.4 | 295.5 | 117.4 | 1.693215 | 0.28176 | |
| 09:50 | 5.28 | 1.63 | 274 | 80.1 | 1.44672 | 0.130563 | |
| 09:55 | 7.43 | 5.11 | 382.6 | 249.4 | 2.842718 | 1.274434 | |

| | | | | | | | |
|-----------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------|
| 10:00 | 6.83 | 5.16 | 350 | 252 | 2.3905 | 1.30032 | |
| 10:05 | 7.04 | 5.02 | 0 | 241.5 | 0 | 1.21233 | 60 cm |
| 10:10 | 7.93 | 1.53 | 406.3 | 73.1 | 3.221959 | 0.111843 | |
| 10:15 | 8.09 | 1.68 | 424.5 | 80.5 | 3.434205 | 0.13524 | |
| 10:20 | 7.28 | 1.53 | 382.9 | 72.8 | 2.787512 | 0.111384 | |
| 10:25 | 7.85 | 1.5 | 412.6 | 71.9 | 3.23891 | 0.10785 | |
| 10:30 | 4.51 | 1.35 | 236.8 | 64.2 | 1.067968 | 0.08667 | |
| 10:35 | 4.32 | 1.64 | 226.8 | 78 | 0.979776 | 0.12792 | |
| 10:40 | 6.88 | 1.6 | 360.3 | 76.5 | 2.478864 | 0.1224 | |
| 10:45 | 6.19 | 1.75 | 324.6 | 83.7 | 2.009274 | 0.146475 | |
| 10:50 | 6.78 | 3.82 | 355.1 | 182.1 | 2.407578 | 0.695622 | |
| 10:55 | 5.64 | 1.82 | 296.2 | 87.9 | 1.670568 | 0.159978 | |
| 11:00 | 5.72 | 1.79 | 0 | 85.7 | 0 | 0.153403 | |
| 11:05 | 6.19 | 1.75 | 324.6 | 83.7 | 2.009274 | 0.146475 | 52 cm |
| 11:10 | 6.78 | 3.82 | 355.1 | 182.1 | 2.407578 | 0.695622 | |
| 11:15 | 5.64 | 1.82 | 296.2 | 87.9 | 1.670568 | 0.159978 | |
| 11:20 | 5.72 | 1.79 | 0 | 85.7 | 0 | 0.153403 | |
| 11:25 | 8.09 | 1.91 | 421.9 | 88.8 | 3.413171 | 0.169608 | |
| 11:30 | 8.03 | 5.42 | 420.5 | 256 | 3.376615 | 1.38752 | |
| 11:35 | 7.96 | 1.68 | 415.4 | 81 | 3.306584 | 0.13608 | |
| 11:40 | 6.06 | 2.04 | 317.1 | 97.6 | 1.921626 | 0.199104 | |
| 11:45 | 7.43 | 4.1 | 388.3 | 195 | 2.885069 | 0.7995 | |
| 11:50 | 3.44 | 1.36 | 180.3 | 64.1 | 0.620232 | 0.087176 | |
| 11:55 | 3.8 | 2.18 | 198.9 | 101.6 | 0.75582 | 0.221488 | |
| 12:00 | 4.04 | 0.97 | 211.6 | 46.8 | 0.854864 | 0.045396 | |
| 12:05 | 6.8 | 1.53 | 356.6 | 73.1 | 2.42488 | 0.111843 | 44 cm |
| 12:10 | 3.94 | 1.54 | 207 | 73 | 0.81558 | 0.11242 | |
| 12:15 | 2.9 | 1.14 | 153.2 | 53.6 | 0.44428 | 0.061104 | |
| 12:20 | 3.64 | 1.23 | 193.6 | 57.7 | 0.704704 | 0.070971 | |
| 12:25 | 2.54 | 0.96 | 132.6 | 45.1 | 0.336804 | 0.043296 | |
| 12:30 | 2.37 | 0.89 | 124.3 | 42.1 | 0.294591 | 0.037469 | |
| 12:35 | 2.62 | 1.04 | 136.4 | 48.9 | 0.357368 | 0.050856 | |
| 12:40 | 2.98 | 1.18 | 155.5 | 55.8 | 0.46339 | 0.065844 | |
| 12:45 | 2.81 | 1.19 | 146.7 | 54.2 | 0.412227 | 0.064498 | |
| 12:50 | 2.9 | 1.22 | 151.4 | 57.7 | 0.43906 | 0.070394 | |
| 12:55 | 3.6 | 1.53 | 187.4 | 72 | 0.67464 | 0.11016 | |
| 13:00 | 6.67 | 2.84 | 346.9 | 132.8 | 2.313823 | 0.377152 | |
| Rata-Rata | 5.536938776 | 2.20061224 | 256.6755102 | 105.60204 | 1.551634367 | 0.3037569 | |

Tabel 2. Hasil pengujian PV dengan konsentrator dan tanpa konsentrator hari kedua

| Waktu | Tegangan | | Arus | | Daya | |
|-------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | Panel dan Fresnel | Panel Saja | Panel dan Fresnel | Panel Saja | Panel dan Fresnel | Panel Saja |
| 09:00 | 7.15 | 1.99 | 367.9 | 90.9 | 2.630485 | 0.180891 |

| | | | | | | |
|-------|-------|------|-------|-------|----------|----------|
| 09:05 | 7.21 | 1.53 | 368 | 71.7 | 2.65328 | 0.109701 |
| 09:10 | 7.78 | 2.24 | 397.2 | 104.1 | 3.090216 | 0.233184 |
| 09:15 | 8.38 | 2.18 | 427.9 | 100.7 | 3.585802 | 0.219526 |
| 09:20 | 11.02 | 2.18 | 565.5 | 100.7 | 6.23181 | 0.219526 |
| 09:25 | 8.69 | 1.71 | 446.5 | 75.6 | 3.880085 | 0.129276 |
| 09:30 | 9.45 | 4.14 | 486.1 | 191.3 | 4.593645 | 0.791982 |
| 09:35 | 9.33 | 4.11 | 478.9 | 188.4 | 4.468137 | 0.774324 |
| 09:40 | 7.3 | 2.52 | 375 | 117.3 | 2.7375 | 0.295596 |
| 09:45 | 9.46 | 4.87 | 485.1 | 224.1 | 4.589046 | 1.091367 |
| 09:50 | 9.71 | 4.95 | 498.4 | 232.7 | 4.839464 | 1.151865 |
| 09:55 | 9.21 | 4.57 | 473.4 | 215.6 | 4.360014 | 0.985292 |
| 10:00 | 9.19 | 4.62 | 472.4 | 215 | 4.341356 | 0.9933 |
| 10:05 | 9.19 | 4.8 | 472.4 | 225.3 | 4.341356 | 1.08144 |
| 10:10 | 8.6 | 4.72 | 442.9 | 222.4 | 3.80894 | 1.049728 |
| 10:15 | 4.12 | 1.4 | 212.4 | 65.4 | 0.875088 | 0.09156 |
| 10:20 | 5.1 | 1.3 | 26.9 | 60.6 | 0.13719 | 0.07878 |
| 10:25 | 6.57 | 1.52 | 337.8 | 70.5 | 2.219346 | 0.10716 |
| 10:30 | 8.62 | 4.55 | 443.4 | 209.3 | 3.822108 | 0.952315 |
| 10:35 | 7.4 | 2.52 | 381.3 | 115.3 | 2.82162 | 0.290556 |
| 10:40 | 8.96 | 4.71 | 460.7 | 210.7 | 4.127872 | 0.992397 |
| 10:45 | 8.43 | 5.31 | 433.7 | 238 | 3.656091 | 1.26378 |
| 10:50 | 8.96 | 5.3 | 460.9 | 241.9 | 4.129664 | 1.28207 |
| 10:55 | 7.75 | 4.94 | 399.5 | 223.7 | 3.096125 | 1.105078 |
| 11:00 | 7.88 | 3.73 | 407.1 | 168.9 | 3.207948 | 0.629997 |
| 11:05 | 7.29 | 4.84 | 376.8 | 222.8 | 2.746872 | 1.078352 |
| 11:10 | 7.68 | 5.43 | 397.1 | 244 | 3.049728 | 1.32492 |
| 11:15 | 5.68 | 1.89 | 293.2 | 88.6 | 1.665376 | 0.167454 |
| 11:20 | 7.69 | 5.39 | 397.4 | 248.3 | 3.056006 | 1.338337 |
| 11:25 | 5.11 | 1.63 | 264.2 | 75.6 | 1.350062 | 0.123228 |
| 11:30 | 3.48 | 1.23 | 179.7 | 56.8 | 0.625356 | 0.069864 |
| 11:35 | 2.88 | 0.85 | 148.6 | 39.5 | 0.427968 | 0.033575 |
| 11:40 | 5.22 | 1.63 | 268.7 | 74.6 | 1.402614 | 0.121598 |
| 11:45 | 5.11 | 1.63 | 264.2 | 75.6 | 1.350062 | 0.123228 |
| 11:50 | 3.48 | 1.23 | 179.7 | 56.8 | 0.625356 | 0.069864 |
| 11:55 | 2.88 | 0.85 | 148.6 | 39.5 | 0.427968 | 0.033575 |
| 12:00 | 5.22 | 1.63 | 268.7 | 74.6 | 1.402614 | 0.121598 |
| 12:05 | 6.68 | 2.65 | 343.7 | 120.7 | 2.295916 | 0.319855 |
| 12:10 | 7.85 | 5.18 | 404.9 | 238.7 | 3.178465 | 1.236466 |
| 12:15 | 8.88 | 4.34 | 457.4 | 200.4 | 4.061712 | 0.869736 |
| 12:20 | 8.25 | 4.18 | 426.8 | 192.3 | 3.5211 | 0.803814 |
| 12:25 | 6.5 | 2.6 | 335.6 | 121.5 | 2.1814 | 0.3159 |
| 12:30 | 1.68 | 3.4 | 87.9 | 158.7 | 0.147672 | 0.53958 |
| 12:35 | 6.72 | 4.16 | 347.4 | 195.9 | 2.334528 | 0.814944 |
| 12:40 | 6.52 | 1.46 | 334.9 | 70.1 | 2.183548 | 0.102346 |
| 12:45 | 5.12 | 2.12 | 262.9 | 101.2 | 1.346048 | 0.214544 |

| | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 12:50 | 7.27 | 2.8 | 373 | 132.6 | 2.71171 | 0.37128 |
| 12:55 | 9.06 | 4.27 | 468.5 | 202.6 | 4.24461 | 0.865102 |
| 13:00 | 7.13 | 2.94 | 368.5 | 138.4 | 2.627405 | 0.406896 |
| Rata-Rata | 7.119183673 | 3.1579592 | 361.6265306 | 145.916327 | 2.800169061 | 0.562586673 |

Berdasarkan data tabel 1 dan tabel 2 diatas, didapatkan nilai rata-rata dari masing-masing pengujian. Pada pengujian hari pertama, nilai rata-rata tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan PV dengan konsentrator yaitu 5.53 V, 256.67 mA, dan 1.5 W. Pada pengujian hari kedua, nilai rata-rata tegangan, arus, dan daya dihasilkan PV dengan konsentrator yaitu 7.11 V, 361.62 mA, dan 1.5 W. Berdasarkan nilai tersebut, nilai tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh PV dengan konsentrator mengalami kenaikan bila dibandingkan dengan PV tanpa konsentrator dengan nilai rata-rata tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan pada hari pertama yaitu 2.2 V, 105.6 mA, dan 0.33 W serta pada hari kedua yaitu 3.15 V, 145.91 mA, dan 0.56 W.

Hasil pengujian TEG

Pengujian selanjutnya adalah pengujian nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh *thermoelectric generator* saat diletakan pada bagian belakang PV. Pengujian dilakukan selama dua hari dari jam 09:00 hingga jam 13:00. Beban yang digunakan untuk TEG yaitu menggunakan resistor 1k ohm. Hasil tegangan dan arus yang dihasilkan oleh TEG ditampilkan dalam bentuk Tabel dibawah ini.

Tabel 3. Hasil pengujian TEG pada hari pertama

| Waktu | Tegangan TEG | Arus TEG | Sisi Dingin | Sisi Panas | Delta T | Jarak PV dan Fresnel |
|-------|--------------|----------|-------------|------------|---------|----------------------|
| 09:00 | 0.62 | 0.8 | 37.75 | 42.75 | 5 | 71 cm |
| 09:05 | 0.83 | 1.3 | 42.75 | 49.75 | 7 | |
| 09:10 | 0.72 | 1.4 | 48 | 58 | 10 | |
| 09:15 | 0.95 | 1.5 | 53.75 | 60.75 | 7 | |
| 09:20 | 0.8 | 1.1 | 54.25 | 58 | 3.75 | |
| 09:25 | 0.38 | 0.6 | 52.75 | 62.25 | 9.5 | |
| 09:30 | 0.27 | 0.3 | 52.25 | 63.5 | 11.25 | |
| 09:35 | 0.8 | 0.5 | 48 | 55 | 7 | |
| 09:40 | 0.13 | 0.3 | 44.5 | 47.75 | 3.25 | |
| 09:45 | 0.11 | 0.4 | 42 | 42.5 | 0.5 | |
| 09:50 | 0.07 | 0.3 | 41.5 | 41.25 | -0.25 | |
| 09:55 | 0.09 | 0.2 | 39.5 | 38.75 | -0.75 | |
| 10:00 | 0.12 | 0.7 | 36.5 | 37.25 | 0.75 | |
| 10:05 | 1.86 | 2.8 | 42.75 | 46.25 | 3.5 | 60 cm |
| 10:10 | 1.79 | 2.6 | 52.75 | 50.25 | -2.5 | |
| 10:15 | 2.08 | 2.4 | 49.75 | 63.25 | 13.5 | |
| 10:20 | 1.45 | 2.1 | 43 | 66 | 23 | |
| 10:25 | 0.57 | 0.9 | 44 | 57.5 | 13.5 | |
| 10:30 | 0.37 | 0.5 | 37.5 | 47 | 9.5 | |
| 10:35 | 0.09 | 0.5 | 38.25 | 39 | 0.75 | |
| 10:40 | 0.36 | 0.6 | 38.5 | 45.25 | 6.75 | |
| 10:45 | 0.3 | 0.6 | 42.25 | 53.75 | 11.5 | |
| 10:50 | 0.21 | 0.1 | 40.25 | 53 | 12.75 | |
| 10:55 | 0.19 | 0.4 | 39 | 49.75 | 10.75 | |
| 11:00 | 0.16 | 0.2 | 37 | 45 | 8 | |

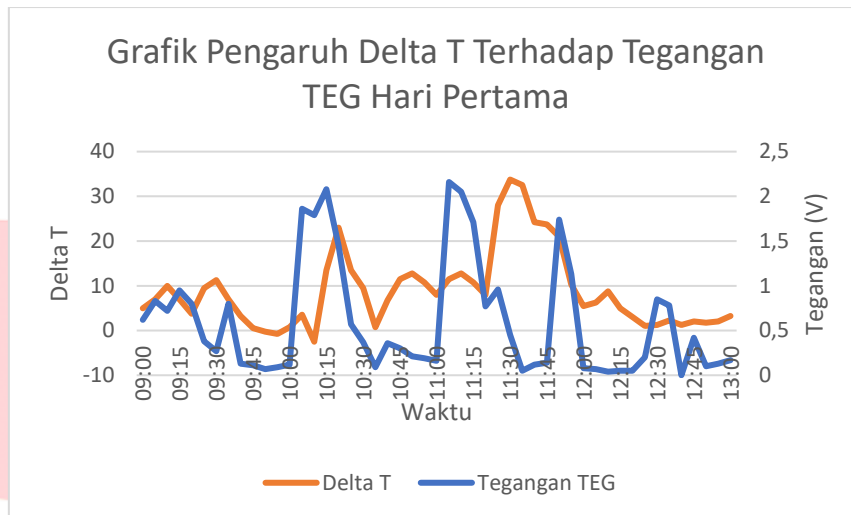
| | | | | | | |
|-----------|-------------|-----------|-----------|----------|----------|-------|
| 11:05 | 2.16 | 0.6 | 42.25 | 53.75 | 11.5 | 52 cm |
| 11:10 | 2.05 | 0.1 | 40.25 | 53 | 12.75 | |
| 11:15 | 1.71 | 0.4 | 39 | 49.75 | 10.75 | |
| 11:20 | 0.77 | 0.2 | 37 | 45 | 8 | |
| 11:25 | 0.96 | 2.9 | 39 | 67 | 28 | |
| 11:30 | 0.45 | 2.4 | 42 | 75.75 | 33.75 | |
| 11:35 | 0.05 | 2.4 | 47.25 | 79.75 | 32.5 | |
| 11:40 | 0.12 | 0.9 | 46.25 | 70.5 | 24.25 | |
| 11:45 | 0.14 | 1.1 | 46.25 | 70 | 23.75 | |
| 11:50 | 1.74 | 0.5 | 44 | 65 | 21 | |
| 11:55 | 1.13 | 0.2 | 40.5 | 50.75 | 10.25 | |
| 12:00 | 0.08 | 0.3 | 40.5 | 46 | 5.5 | |
| 12:05 | 0.07 | 0.2 | 36 | 42.25 | 6.25 | 44 cm |
| 12:10 | 0.04 | 0.4 | 39 | 47.75 | 8.75 | |
| 12:15 | 0.05 | 0.4 | 35.5 | 40.5 | 5 | |
| 12:20 | 0.05 | 0.3 | 32.75 | 35.75 | 3 | |
| 12:25 | 0.2 | 0.5 | 31.5 | 32.5 | 1 | |
| 12:30 | 0.85 | 0.3 | 31 | 32.25 | 1.25 | |
| 12:35 | 0.78 | 0.7 | 29.75 | 32 | 2.25 | |
| 12:40 | 0 | 0.1 | 30.5 | 31.75 | 1.25 | |
| 12:45 | 0.42 | 0.2 | 30.5 | 32.5 | 2 | |
| 12:50 | 0.1 | 0.2 | 30.75 | 32.5 | 1.75 | |
| 12:55 | 0.13 | 0.3 | 31 | 33 | 2 | |
| 13:00 | 0.17 | 0.3 | 32.5 | 35.75 | 3.25 | |
| Rata-Rata | 0.602857143 | 0.7959184 | 40.683673 | 49.55612 | 8.872449 | |

Tabel 4 Hasil Pengujian TEG pada hari kedua

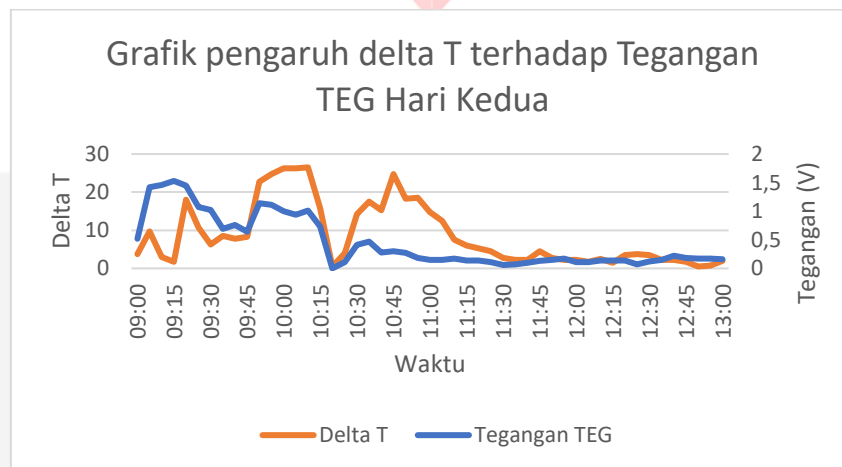
| Waktu | Tegangan TEG | Arus TEG | Sisi Dingin | Sisi Panas | Delta T |
|-------|--------------|----------|-------------|------------|---------|
| 09:00 | 0.52 | 1 | 36.75 | 40.5 | 3.75 |
| 09:05 | 1.42 | 0.6 | 43 | 52.75 | 9.75 |
| 09:10 | 1.46 | 0.5 | 50.5 | 53.5 | 3 |
| 09:15 | 1.53 | 0.8 | 55.75 | 57.5 | 1.75 |
| 09:20 | 1.45 | 0.4 | 50.25 | 68.25 | 18 |
| 09:25 | 1.07 | 0.1 | 51.25 | 62 | 10.75 |
| 09:30 | 1.02 | 0.5 | 54.75 | 61 | 6.25 |
| 09:35 | 0.69 | 0.4 | 50.75 | 59.25 | 8.5 |
| 09:40 | 0.76 | 0.7 | 48.75 | 56.5 | 7.75 |
| 09:45 | 0.64 | 0.3 | 48.25 | 56.5 | 8.25 |
| 09:50 | 1.14 | 0.4 | 46.75 | 69.5 | 22.75 |
| 09:55 | 1.11 | 0.6 | 52 | 76.75 | 24.75 |
| 10:00 | 1 | 0.3 | 52.25 | 78.5 | 26.25 |
| 10:05 | 0.94 | 0.2 | 54.75 | 81 | 26.25 |
| 10:10 | 1.01 | 0.3 | 50.75 | 77.25 | 26.5 |

| | | | | | |
|-----------|------------|----------|----------|----------|---------|
| 10:15 | 0.73 | 0 | 46.25 | 62 | 15.75 |
| 10:20 | 0 | 0.3 | 44.25 | 44.75 | 0.5 |
| 10:25 | 0.11 | 0.3 | 37.75 | 41.75 | 4 |
| 10:30 | 0.41 | 0.3 | 42 | 56.25 | 14.25 |
| 10:35 | 0.47 | 0.3 | 42.75 | 60.25 | 17.5 |
| 10:40 | 0.28 | 0 | 40.25 | 55.5 | 15.25 |
| 10:45 | 0.3 | 0.5 | 40.5 | 65.25 | 24.75 |
| 10:50 | 0.27 | 0.3 | 37.75 | 56 | 18.25 |
| 10:55 | 0.18 | 0.3 | 35 | 53.5 | 18.5 |
| 11:00 | 0.15 | 0 | 36 | 50.75 | 14.75 |
| 11:05 | 0.15 | 0.4 | 34 | 46.5 | 12.5 |
| 11:10 | 0.17 | 0.5 | 34 | 41.5 | 7.5 |
| 11:15 | 0.14 | 0.2 | 33.75 | 39.75 | 6 |
| 11:20 | 0.14 | 0.2 | 34 | 39.25 | 5.25 |
| 11:25 | 0.11 | 0 | 32.75 | 37.25 | 4.5 |
| 11:30 | 0.06 | 0.5 | 32.75 | 35.5 | 2.75 |
| 11:35 | 0.07 | 0.4 | 31.75 | 34 | 2.25 |
| 11:40 | 0.1 | 0.3 | 31.25 | 33.5 | 2.25 |
| 11:45 | 0.13 | 0 | 32.75 | 37.25 | 4.5 |
| 11:50 | 0.15 | 0.5 | 32.75 | 35.5 | 2.75 |
| 11:55 | 0.17 | 0.4 | 31.75 | 34 | 2.25 |
| 12:00 | 0.11 | 0.3 | 31.25 | 33.5 | 2.25 |
| 12:05 | 0.11 | 0 | 30.25 | 32 | 1.75 |
| 12:10 | 0.14 | 0 | 32.5 | 35 | 2.5 |
| 12:15 | 0.14 | 0 | 33 | 34.5 | 1.5 |
| 12:20 | 0.14 | 0 | 33.5 | 37 | 3.5 |
| 12:25 | 0.07 | 0 | 33 | 36.75 | 3.75 |
| 12:30 | 0.12 | 0.2 | 32.5 | 36 | 3.5 |
| 12:35 | 0.15 | 0 | 32 | 34.25 | 2.25 |
| 12:40 | 0.22 | 0 | 32.5 | 34.75 | 2.25 |
| 12:45 | 0.18 | 0.5 | 33 | 34.75 | 1.75 |
| 12:50 | 0.17 | 0.5 | 32.5 | 33 | 0.5 |
| 12:55 | 0.17 | 0 | 33.25 | 34 | 0.75 |
| 13:00 | 0.16 | 0.3 | 33.25 | 35.23 | 1.98 |
| Rata-Rata | 0.44755102 | 0.297959 | 39.44898 | 48.19347 | 8.74449 |

Pada tabel 3 dan tabel 4 menunjukkan nilai tegangan, arus, dan perbedaan suhu yang didapatkan dalam pengujian ini. Pada pengujian yang ditampilkan oleh tabel 3, jarak antara lensa fresnel dan PV diatur berdasarkan titik fokus yang didapat oleh PV dari sinar matahari langsung. Didapatkan nilai tegangan maksimal 2.08 V pada Δt 19 °C pada jarak 60 cm. Nilai tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan pada hari pertama yaitu 0.6 V dan 0.79 mAmp. Pada pengujian yang ditampilkan oleh tabel 4, jarak antara PV dan fresnel diatur sesuai dengan perhitungan yaitu didapatkan jaraknya yaitu 39 cm. Didapatkan nilai tegangan maksimal dan 1.53 V pada Δt 1.75 °C. Sedangkan nilai tegangan dan arus rata-rata yang dihasilkan pada hari kedua yaitu 0.44 V dan 0.29 mAmp. Dari nilai tegangan dan perbedaan suhu yang ditampilkan pada tabel 3 dan 4 dapat diambil dan ditampilkan dalam bentuk grafik dibawah ini.



(a)



(b)

Gambar 5 Grafik pengaruh delta T terhadap tegangan TEG (a) Hari Pertama (b) Hari Kedua

Dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 5 dapat kita analisis bahwa pengaruh perbedaan suhu (ΔT) antara sisi panas dan sisi dingin dari TEG mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh TEG. Apabila perbedaan suhu yang dihasilkan tinggi, maka nilai tegangan yang dihasilkan oleh TEG akan tinggi juga. Namun ada beberapa faktor yang mempengaruhi mengapa data yang ditampilkan tidak konstan yaitu posisi kabel probe dari sensor suhu yang terkadang jatuh dan lepas atau tergeser karena ujung probe dari sensor suhu tersebut yang dikaitkan dengan sebuah besi Panjang yang digunakan sebagai penyangga untuk bagian probe tersebut untuk menempelkan ujung probe tersebut ke bagian belakang PV dan bagian sisi dingin TEG yang diberi heatsink. Dan sisi dingin yang dibaca oleh sensor, hasilnya lebih tinggi bila dibandingkan dengan sisi panas karena menggunakan heatsink saja, kurang mampu dalam menghasilkan sisi dingin yang baik.

4.2. Analisis Pengujian Total PV dan TEG dengan konsentrator Lensa Fresnel

Tabel 5 Hasil Analisis pengujian total

| Hari ke | Tegangan (V) | | Arus (mAmp) | | Daya (W) | |
|---------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| | Panel dan Fresnel | Panel Saja | Panel dan Fresnel | Panel Saja | Panel dan Fresnel | Panel Saja |
| 1 | 5.53 | 2.2 | 256.67 | 105.6 | 1.55 | 0.3 |
| 2 | 7.11 | 3.15 | 361.62 | 145.913 | 2.8 | 0.56 |
| Rata- | 6.32 | 2.67 | 309.14 | 125.75 | 2.17 | 0.43 |

| | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|
| Rata | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|

Dari Tabel 5. Dapat diketahui nilai rata-rata tegangan, arus, dan daya dari PV dengan konsentrator dan PV tanpa konsentrator selama 2 hari pengujian. Dari data tersebut, dapat dihitung peningkatan daya yang dihasilkan dari kedua sistem tersebut dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\text{Daya P gain (\%)} = \frac{P \text{ sistem hybrid} - P \text{ sistem non hybrid}}{P \text{ sistem non hybrid}} \times 100 \% \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{Daya P gain (\%)} = \frac{2.17 - 0.43}{0.43} \times 100\% \dots\dots\dots(13)$$

$$\text{Daya P gain (\%)} = 404\% \dots\dots\dots(14)$$

Dari hasil perhitungan diatas, dapat didapatkan nilai peningkatan daya PV dengan menggunakan konsentrator yaitu sebesar 404 %. Sehingga dapat diketahui bahwa Konsentrator ini mampu meningkatkan daya yang dihasilkan dari photovoltaic. Dalam pengujian selama 2 hari ini, didapatkan nilai tegangan rata-rata sistem hybrid yang dihasilkan yaitu 6.32 V, nilai arus rata-rata sebesar 309.14 mA. Dengan daya rata-rata yang dihasilkan yaitu 2.17 Watt.

5. Kesimpulan dan Saran

a. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada bab sebelumnya, dapat kita tarik kesimpulannya sebagai berikut :

1. Hasil keluaran tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan photovoltaic dengan konsentrator mengalami kenaikan yaitu masing-masing 136 %, 145 %, dan 404 % bila dibandingkan dengan photovoltaic tanpa konsentrator.
2. Dengan ditambahkan konsentrator, dapat meningkatkan selisih Δt yaitu dengan rata-rata selama dua hari pengujian yaitu 8.8 °C. Sehingga bisa dimanfaatkan oleh TEG untuk menghasilkan nilai tegangan yang baik.
3. Jarak antara lensa fresnel dengan photovoltaic, berpengaruh dalam mendapatkan nilai keluaran yang dihasilkan oleh photovoltaic. Pada pengujian selama dua hari pada jam 09.00 hingga 13.00 dengan cara pengujian yang berbeda, didapat hasil keluaran PV yang baik, terjadi pada saat jarak antara PV dan Fresnel berjarak 39 cm. dengan nilai tegangan tertinggi yaitu 11.02 V, arus tertinggi yaitu 565.5 mA, dan daya 6.2 W.

b. Saran

Dari hasil pengujian ini, pasti ada kekurangan yang terjadi. Sehingga diperlukan saran agar kedepannya dalam pengujian ini bisa meningkatkan lagi kinerja dari sistem ini yaitu :

1. Perlu menggunakan photovoltaic yang baik karena konsentrator fresnel ini dapat mengakibatkan beberapa bagian panel terutama dibagian selnya agak meleleh karena panas yang dihasilkan sangat tinggi.
2. Untuk meningkatkan sisi dingin TEG, diperlukan sistem pendingin aktif agar nilai tegangan TEG yang dihasilkan akan semakin baik. Karena dengan hanya menggunakan heatsink, kurang cukup dalam mendapatkan nilai sisi dingin yang baik untuk TEG.
3. Untuk selanjutnya ukuran yang digunakan untuk konsentrator fresnel sebaiknya disesuaikan dengan ukuran photovoltaic yang digunakan agar mudah dalam pengoperasiannya.

REFERENSI

1. Kementrian Energi dan Sumber daya Mineral. 2012. "Matahari Untuk PLTS di Indonesia", <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/matahari-untuk-plts-di-indonesia>, diakses pada tanggal 22 September 2020 pukul 13.20.
2. Iswahyudi, Sigit. Suharno, kun. dan Trihasto, Agung. "Peningkatan Produktivitas Sel Surya Dengan Memanfaatkan Parabola Sebagai Konsentrator". Magelang: Fakultas Teknik Universitas Tidar.
3. Handini, Wulandari. 2008. Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO Dengan Variasi Tingkat Pengisian dan Besar Kristalit TiO₂. Skripsi. Jakarta: Universitas Indonesia.
4. Muhammad, Sukki. Firdaus, Ramirez Iniguez, Roberto. McMeekin G, Scott. Stewart G, Brian. Dan Clive, Barry. 2010. "Solar Concentrator". Dalam International Journal of Applied Sciences (IJAS). 1(1): 2.

5. Maula, Evita Muthi'atul. 2016. Efek Tebal Lensa Pemfokus Cahaya Matahari Sebagai Sumber Panas Mesin Stirling Tipe Gamma Untuk Mengkonversi Energi Panas Menjadi Energi Mekanik. Skripsi. Malang: Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
6. Foster, Robert. Ghassemi, Majid. and Cota, Alma. 2010. "Solar Energy Renewable Energy and the Environment". Boca Raton: Taylor and Francis.
7. https://id.wikipedia.org/wiki/Generator_termoelektrik.
8. Edvin Risseh, Arash. 2018. "Electrical Power Conditioning System for Thermoelectric Waste Heat Recovery in Commercial Vehicles". Dalam IEEE Transaction on Transportation Electrification. 4(2): 2
9. Lovegrove, Keith. dan Stein, Wes. 2012. "Concentrating Solar Power Technology". United Kingdom: Woodhead Publishing.