



Prototype Portable Solar Concentrated Thermoelectric Generator Charging System

Rizki Achmad Baihaqi^{1*}, Mahendra Widyantono², Aditya Chandra Hermawan³, Ayusta Lukita Wardani⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

Alamat: Jl. Ketintang, Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231

*Korespondensi penulis: riski.1904@mhs.unesa.ac.id

Abstract. *The rapid advancement of technology has led to an increasing demand for electrical energy. One of the efforts to meet this demand is the development of micro-capacity power generation systems utilizing heat energy. Heat energy can be harnessed using thermoelectric elements. This study aims to design and develop a portable power generation system that utilizes solar heat as an energy source. The prototype uses six TEC 1-12706 thermoelectric modules to generate electricity designed specifically to recharge devices such as phones, power banks, and flashlights. Solar heat is concentrated on the thermoelectric modules using Fresnel lenses, while heatsinks are employed for cooling. The thermoelectric modules are connected in series to produce sufficient voltage, which is then boosted by a boost converter. The generated electrical energy is stored in a battery to ensure voltage stability despite temperature fluctuations. This device can also operate at night due to the energy stored in the battery. Test results show that the average output voltage without load ranges from 9.49V to 9.56V, with an average temperature of 45.2°C at the thermoelectric modules. In load tests, the device successfully charged a Pixel 5 phone (5000 mAh battery) from 4% to 70% in 95 minutes. These results demonstrate the potential of this system as a reliable and environmentally friendly portable energy solution.*

Keywords: *thermoelectric, TEC 1-12706, energy.*

Abstrak. Kemajuan teknologi yang pesat menyebabkan kebutuhan energi listrik terus meningkat. Salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah dengan mengembangkan pembangkit listrik mikro berbasis energi panas. Energi panas dapat dimanfaatkan menggunakan elemen termoelektrik. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan sistem pembangkit listrik portabel yang memanfaatkan panas matahari sebagai sumber energi. Prototipe ini menggunakan enam modul termoelektrik tipe TEC 1-12706 untuk menghasilkan listrik yang dirancang khusus untuk mengisi daya perangkat seperti ponsel, *powerbank*, dan senter. Lensa Fresnel digunakan untuk memfokuskan panas matahari ke modul termoelektrik, sedangkan *heatsink* digunakan untuk pendinginan. Modul termoelektrik dihubungkan secara seri untuk mencapai tegangan yang cukup, yang kemudian ditingkatkan oleh *boost converter*. Energi listrik yang dihasilkan disimpan dalam baterai untuk memastikan kestabilan tegangan meskipun terjadi fluktuasi suhu. Perangkat ini juga dapat digunakan pada malam hari karena energi yang tersimpan di baterai masih tersedia. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata tegangan keluaran tanpa beban berkisar antara 9,49V hingga 9,56V, dengan suhu rata-rata pada modul termoelektrik 45,2°C. Dalam pengujian berbeban, perangkat mampu mengisi daya ponsel Pixel 5 (kapasitas baterai 5000 mAh) dari 4% hingga 70% dalam waktu 95 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa perangkat ini memiliki potensi sebagai solusi energi portabel yang andal dan ramah lingkungan.

Kata kunci: termoelektrik, TEC 1-12706, energi.

1. LATAR BELAKANG

Dalam pengertian umum, energi adalah suatu kemampuan dalam melakukan kerja. Energi merupakan suatu obyek yang dapat berpindah akibat adanya reaksi fundamental, tetapi energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan. Kini ketersediaan energi di Indonesia semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya sumber energi, akibat adanya ketidakseimbangan antara kebutuhan dengan jumlah energi yang tersedia. Pada perkembangan

teknologi ini, banyak dicanangkan berbagai energi alternatif dan energi baru terbarukan untuk mengurangi dampak terjadinya pemanasan global.

Namun ketersediaan sumber energi baru terbarukan di Indonesia masih belum dimanfaatkan secara maksimal. Penelitian ini dilakukan berdasarkan pemanfaatan sumber energi baru terbarukan, khususnya panas bumi untuk menghasilkan energi listrik, yaitu menggunakan generator termoelektrik (TEG) sebagai sumber energi alternatif. Berbagai usaha dilakukan untuk mencari sumber energi listrik baru, salah satunya dengan pembangkit energi listrik dengan kapasitas mikro dengan memanfaatkan energi panas. Hal tersebut yang mendasari penelitian ini, yaitu merancang sistem pembangkit listrik portable dengan memanfaatkan energi panas menggunakan *thermoelektrik*. Penelitian ini menggunakan *thermoelektrik* tipe TEC 1-12706 dengan alumunium sebagai penerima panas dan heatsink sebagai media pendingin. Sumber panas yang dipilih yaitu matahari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panas matahari dapat menjadi sumber energi listrik alternatif dengan kapasitas mikro yang cukup potensial untuk digunakan (Mohamad Diki, Charis Fathul Hadi, Riska Fita Lestari & Rezki Nalandari, 2022).

2. KAJIAN TEORITIS

Energi Panas

Energi panas surya adalah energi yang dikumpulkan secara langsung dari cahaya matahari dan dikonversikan menjadi listrik melalui modul photovoltaic. Dimana disaat matahari tidak memberikan energi yang konstan untuk setiap titik di bumi, sehingga penggunaannya terbatas. Sel surya sering digunakan untuk mengisi daya baterai di siang hari, dan daya dari baterai tersebut digunakan di malam hari ketika cahaya matahari tidak tersedia (Muhammad Ady Pradana, 2020).

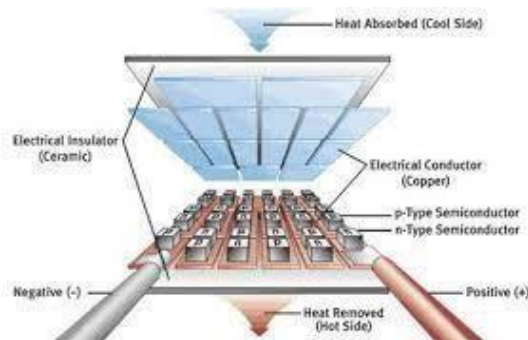
Cahaya Matahari

Cahaya merupakan gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang tidak memerlukan medium untuk merambat. Sehingga cahaya dapat merambat tanpa memerlukan medium.(Martawati 2018) Oleh karena itu, cahaya matahari dapat sampai ke bumi dan memberi kehidupan di dalamnya. Cahaya merambat dengan sangat cepat, yasaranitu dengan kecepatan 3×10^8 m/s, artinya dalam waktu satu sekon cahaya dapat menempuh jarak 300.000.000 m atau 300.000 km (Muhammad Ady Pradana, 2020).

Termoelektrik Generator

Komponen termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau dengan fungsi sebaliknya yaitu dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). (Caron and Markusen 2016) Untuk memperoleh listrik komponen termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Prototipe yang dirancang akan menghasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis dan jumlah bahan yang digunakan.

Kerja pendingin termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika komponen termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan diserap. Dengan demikian untuk mendinginkan udara, tidak perlu menggunakan kompresor pendingin seperti halnya mesin-mesin pendingin konvensional. Untuk keperluan pembangkit listrik tersebut umumnya bahan yang digunakan adalah bahan semikonduktor. Semikonduktor ialah bahan yang mampu menghantarkan arus listrik namun tidak sempurna. Semikonduktor yang digunakan adalah tipe-n dan tipe-p. Bahan semikonduktor yang digunakan adalah bahan semikonduktor ekstrinsik. Permasalahan untuk termoelektrik adalah untuk mendapatkan bahan yang mampu bekerja pada suhu tinggi (Klara dkk, 2016).



Sumber : Jurnal Pasaribu, F, I, Roza, I, Efendi, Y. (2019).

Gambar 1. Prinsip Kerja Termoelektrik Generator

Pada dasarnya generator termoelektrik terdiri dari tiga komponen dasar yaitu :

1) Struktur penompang

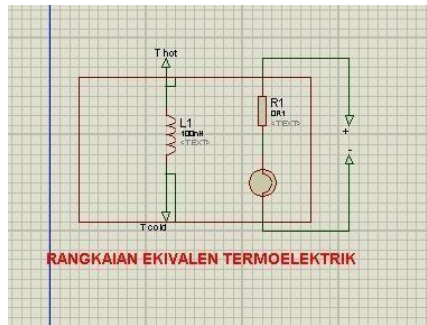
Yaitu tempat dimana komponen termoelektrik diletakkan, sebagaimana peneliti meletakkan di dalam aliran gas buang dan beberapa dengan hanya memanfaatkan panas dinding saluran gas buang untuk menghindari adanya back pressure aliran gas buang.

2) Komponen termoelektrik

Yang tergantung pada jangkauan suhu, material termoelektrik yang dapat digunakan dapat berupa bahan silikon ghermanium, lead telluride, dan bismuth telluride.

3) Sistem disipasi panas

Yang mengatur transmisi panas melalui modul termoelektrik.

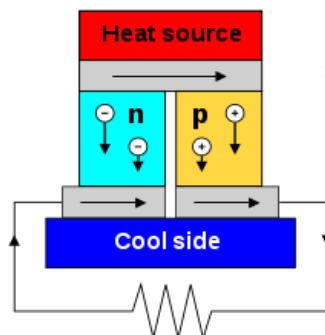


Gambar 1. Rangkaian Ekivalen Thermoelectric

Seperti yang terlihat pada gambar diatas, sebuah termoelektrik diwakili olehrangkaian thermoelectric generator (TEG) diletakkan diantara 2 reservoir suhu yaitu sisi panas (T_h) dan sisi dingin (T_c). Kedua suhu ini (ΔT) berpengaruh pada besaran energi panas (QH) yang diserap oleh termoelektrik serta besaran tegangandan arus yang akan dihasilkan. Sebuah TEG dikarakteristikan dengan adanya hambatan listrik isothermal (R), konduktansi termal (K) dan koefisien seebeck (S). Komponen pengoversi energy ini beroprasi memanfaatkan seeback effect.

Seperti yang menunjukkan gambar 2 dibawah ini :

Kinerja termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap. Dan terjadi panas pada permukaan sebaliknya.

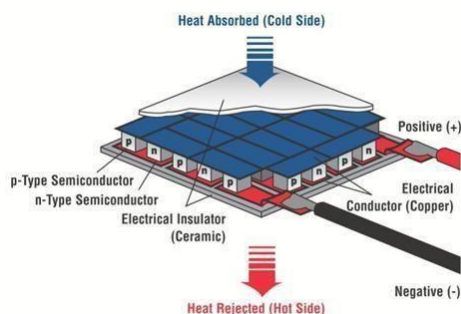


Gambar 2. Efek Seebeck

Kinerja termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap. Dan terjadi panas pada permukaan sebaliknya (Ryan Rizaldi & Luluk Edahwati, 2022).

Prinsip Kerja Termoelektrik

Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan *efek seebeck* yaitu jika 2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satunya ujungnya kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan maka akan terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain (Muhaimin, 1993). Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (*Thermoelectric generator*) atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (*Thermoelectric Cooler*) (Puspita, Sunarno, and Indarto 2017). Untuk menghasilkan listrik material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai (Saukon Kamalul Husna, Desriyanti, and Intan Vidyastari 2021). Kerja pendingin termoelektrik pun tidak jauh berbeda. Jika material termoelektrik dialiri listrik, panas yang ada di sekitarnya akan terserap (Suprianto, 2015)



Sumber : hanan dan efendy, 2019

Gambar 3. Prinsip Kerja Thermoelectric Generator

Seperti yang terlihat pada gambar diatas, sebuah termoelektrik menunjukkan aliran electron dari semikonduktor tipe- p menuju semikonduktor tipe-n. agar elektron pada tipe-p dapat mengalir, maka elektron akan menyerap kaloryang mengakibatkan sisi tersebut menjadi dingin. Pelepasan kalor ke lingkungan terjadi pada sisi panas sehingga electron pada tipe-n dapat mengalir menuju semikonduktor tipe-p (Raihani Tri Widiyanto, 2023).

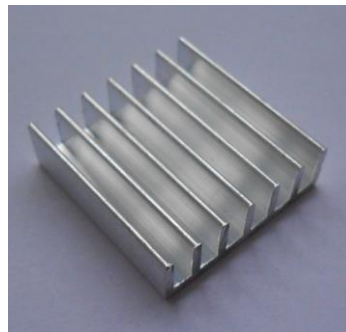
Efek efek termoelektrik ada 4 meliputi Efek seebeck, Efek Peltier, Efek Thompson, dan Efek Joule. Prinsip kerja dari termoelektrik adalah dengan berdasarkan *efek seebeck* yaitu jika

2 buah logam yang berbeda disambungkan salah satunya ujungnya kemudian diberikan suhu yang berbeda pada sambungan maka akan terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain (Muhaimin, 1993). Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (*Thermoelectric generator*) atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (*Thermoelectric Cooler*). Untuk menghasilkan listrik material termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Dari rangkaian itu akan dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai. (Sasmita et al. 2019)

Efek seebeck terjadi ketika suatu logam dengan beda temperature antara kedua ujungnya. Ketika logam tersebut di sambung maka akan terjadi beda potensial diantara kedua ujungnya. Efek ini digunakan dalam aplikasi termokopel (Raihani Tri Widiyanto, 2023).

Besi Pendingin/ Heatsink

Heat sink yang baik seharusnya memiliki nilai hambatan termal yang rendah. Hal ini dikarenakan kemampuan *heat sink* untuk mengalirkan kalor yang tidak diinginkan dan mencegah terjadinya *overheat* akan menentukan juga nilai dari *coefficient of performance* (COP) dari sistem pendingin termoelektrik (Muhammad Fariz Isnaini, 2010)



Gambar 4. Besi Pendingin/Heatsink

Lensa Fresnel

Konsentrator lensa fresnel: Radiasi panas matahari pada prinsipnya dapat difokuskan dengan dua cara yaitu pemantulan (*reflection*) dan pembiasan (*refraction*) dengan menggunakan cermin atau lensa. Cermin ini dapat berupa bidang (*heliostats* atau parabola), sedangkan lensa dapat berupa lensa cembung atau lensa fresnel. Konsentrator digunakan untuk meningkatkan efektifitas penangkapan energi surya yang lebih tinggi untuk keperluan yang spesifik. Fenomena pembiasan dalam lensa terjadi dipermukaan, sedangkan ketebalan bahan tidak berpengaruh

dalam refraksi.



Gambar 6. Lensa Fresnel

Boost Converter

DC-DC Step Up Converter Boost Converter merupakan sebuah alat yang digunakan untuk meningkatkan tegangan DC . DC-DC converter ini memiliki parameter yang harus ditentukan . Fungsi dari modul ini adalah untuk meningkatkan tegangan yang dihasilkan menjadi tegangan keluaran tinggi.

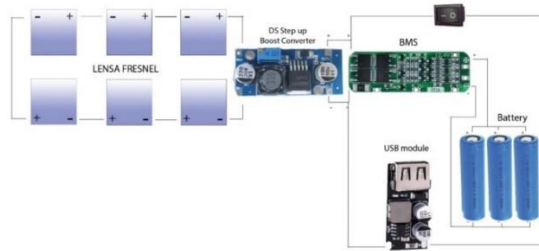


Gambar 5. Boost Converter

3. METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian terdapat dua macam yaitu pendekatan kuantitatif dan pendekatan kualitatif. Pendekatan kuantitatif yaitu pendekatan yang di dalam usulan penelitian, proses, hipotesis, turun ke lapangan, analisis data dan kesimpulan data sampai dengan penulisannya mempergunakan aspek pengukuran, perhitungan, rumus dan kepastian data numerik yang akan digunakan dalam penulisan. Rancangan penelitian *PROTYPE SOLAR CONCENTRATED THERMOELEKTRIC GENERATOR CHARGING SYSTEM* meliputi beberapa tahap . Secara garis besar tahapan tersebut terbagi atas pengambilan data, analisis dan perhitungan data yang diperoleh dari perancangan alat hingga praktik dilapangan . Adapun dibawah ini merupakan tahapan perancangan alat yang terdiri dari:

1) Diagram Wiring

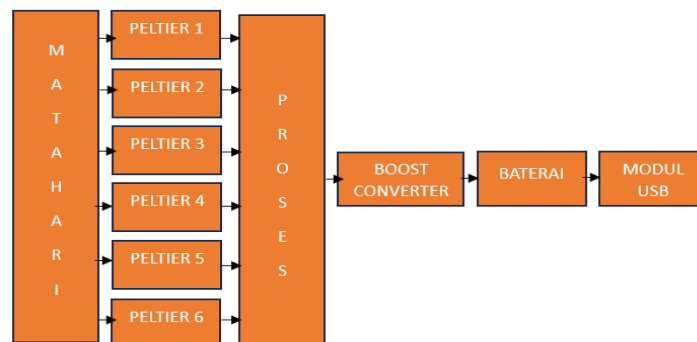


Gambar 8

Alur kerja wiring dimulai dengan panas matahari yang difokuskan oleh lensa Fresnel sebagai konsentrator energi. Energi panas yang terkonsentrasi tersebut diarahkan ke modul termoelektrik untuk diubah menjadi energi listrik.

2) Diagram Blok

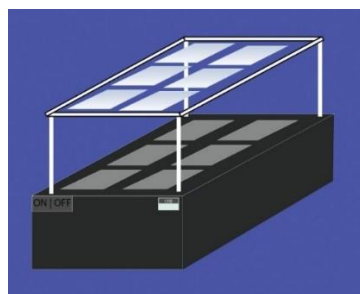
Pembuatan diagram blok alat pada *Prototype Solar Concentrated Thermoelectric Generator Charging System* :



Gambar 9

3) Desain Alat

Desain Alat *Prototype Solar Concentrated Thermoelectric Generator Charging System*.



Gambar 10

Berikut adalah foto prototype sistem pengisian daya portable thermoelectric generator dengan solar concentrator.



Gambar 11. Tampak Depan

Pada Gambar 11, terlihat bagian depan dari prototype alat yang dilengkapi dengan modul tombol tekan untuk menyalakan dan mematikan alat saat digunakan. Alat ini juga dilengkapi dengan modul USB yang berfungsi sebagai output untuk mengisi daya (charging) ketika diberi beban.



Gambar 12. Tampak Atas

Pada Gambar 12, Tampak atas dari alat menunjukkan lensa-lensa yang digunakan untuk memfokuskan cahaya matahari ke termoelektrik . Lensa ini berfungsi untuk meningkatkan efisiensi penangkapan energi panas dari sinar matahari.



Gambar 13. Tampak Samping

Pada Gambar 13, Dari sisi samping, terlihat bagaimana lensa-lensa ini ditempatkan dan diatur untuk menjaga sudut fokus terhadap posisi matahari.



Gambar 11. Tampak Dalam

Pada Gambar 14 terlihat bagian dalam alat yang menunjukkan komponen-komponen utama, seperti *heatsink* untuk pendinginan, *boost converter* untuk meningkatkan tegangan *output*, serta baterai untuk penstabil tegangan. Baterai ini membantu agar ketika suhu tiba-tiba meningkat dan kemudian turun, tegangan tetap stabil dan tidak mengalami penurunan yang berlebihan saat alat diberi beban. Alat ini juga dapat digunakan pada malam hari karena daya yang tersimpan di baterai masih tersedia.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Temperatur Udara

Metode pengukuran temperature udara ini menggunakan alat bantu yang dapat mengetahui suhu udara sekitar. Pengukuran temperature ini dilakukan selama 3 hari pada pukul 10.00 – 13.30. Berikut data hasil pengukuran temperatur udara seperti pada tabel dibawah:

Tabel 1. Pengukuran Temperatur Udara

No	Lokasi	Hari	Pukul (Jam)	Temperatur (°C)
1	Halaman Rumah	Pertama	10.00	30.1
2	Halaman Rumah	Kedua	12. 30	35.5
3	Halaman Rumah	Ketiga	13.30	38.3
Rata – Rata				34.6

Dari hasil pengukuran suhu udara dan suhu yang diperlukan pada modul termoelektrik, terlihat bahwa suhu lingkungan yang lebih tinggi secara langsung berpengaruh pada kinerja termoelektrik. Pada kondisi suhu udara rata-rata 34,6°C, modul termoelektrik rata-rata mampu menyerap suhu panas hingga 45,2°C. Perbedaan suhu antara lingkungan dan modul termoelektrik ini cukup signifikan untuk menghasilkan tegangan listrik yang memadai.

Pengukuran Suhu Pada Termoelektrik

Metode pengukuran suhu pada termoelektrik ini menggunakan alat bantu termometer yang dapat mengetahui suhu pada termoelektrik. Pengukuran suhu termoelektrik ini dilakukan selama 3 hari. Berikut data hasil pengukuran temperatur udara seperti pada tabel dibawah:

Tabel 2. Pengukuran Suhu Pada Termoelektrik

No	Lokasi	Hari	Pukul (Jam)	Temperatur (°C)
1	Halaman Rumah	Pertama	10.00	40.2
2	Halaman Rumah	Kedua	12.30	49.8
3	Halaman Rumah	Ketiga	13.30	45.8
Rata – Rata				45.2

Pengaruh Intensitas Cahaya Matahari terhadap Kinerja **Alat** Kinerja alat ini sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima oleh lensa dan panel konsentrator. Pada saat intensitas cahaya tinggi (sekitar pukul 12:30), alat dapat menghasilkan tegangan yang lebih tinggi dibandingkan waktu lain. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut dapat mempertimbangkan penggunaan sistem pelacak matahari otomatis (solar tracker) untuk memaksimalkan efisiensi penangkapan cahaya.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Termoelektrik berBeban

Jenis beban	Pukul (Jam)	Tegangan(V)	Arus (I)	Watt (W)	Suhu (°C)
Hp Pixel 5	09.00-13.00	9.45	0,84	7,93	42.2
Hp Xiaomi Mi A1	11.00-14.00	10.12	0,60	6,07	49.9
Lampu DC 15 watt	12.00-13.30	10.02	0,12	1,20	45.8
Rata-rata		9,86V	0,52A	5,06W	45.9

a) Daya yang dihasilkan dihari pertama:

Hasil pengukuran daya yang dihasilkan termoelektrik pada hari pertama dengan beban HP Pixel 5 yang memiliki kapasitas baterai 5000 mAh, dari baterai awal 4% - 70% dengan waktu lama pengisian 95 menit sebagai berikut :

$$\text{Diket : } V = 9,45$$

$$I = 0,84$$

$$P = V \times I$$

$$= 9,45 \times 0,84$$

$$= 7,93W$$

$$\text{Diket} = \frac{V \times \text{mAh} \times 4\text{jam}}{1000}$$

$$= \frac{9,86 \times 5000 \times 4}{1000}$$

$$W = 197,2 \text{ Wh}$$

Dalam waktu 4jam energi yang dapat dihasilkan dari baterai dengan kapasitas 5000 mAh mencapai 197,2 Wh.

$$4\% \times 5000 \text{ mAh} = 200$$

$$70\% \times 5000 \text{ mAh} = 3500 -$$

$$= 3,300 \text{ mAh}$$

$$\frac{3,300 \text{ Mah} \times 60 \text{ menit}}{95 \text{ menit}}$$

$$= 2,084 \text{ mAh}$$

Dalam waktu 60 menit alat ini mampu mengisi daya baterai dengan kapasitas 5000 mAh dari baterai awal 4% - 70% mencapai 2,084 mAh

b) Hasil Pengukuran Hari Ke Dua

Hasil pengukuran daya yang dihasilkan termoelektrik pada hari kedua dengan beban HP type Xiaomi Mi A1 yang memiliki kapasitas baterai 4080 mAh, dari baterai awal 10% - 80% dengan waktu lama pengisian 80 menit sebagai berikut :

$$\text{Diket: } V = 10,12$$

$$I = 0,60$$

$$P = V \times I$$

$$= 10,12 \times 0,60$$

$$= 6,07 \text{ W}$$

$$\text{Diket} = \frac{V \times \text{mAh} \times 3\text{jam}}{1000}$$

$$= \frac{9,86 \times 4080 \times 3}{1000}$$

$$W = 120,6 \text{ Wh}$$

Dalam waktu 3 jam energi yang dapat dihasilkan dari baterai dengan kapasitas 4080 mAh mencapai 120,6 Wh.

$$10\% \times 4080 \text{ mAh} = 408$$

$$80\% \times 4080 \text{ mAh} = 3,264 -$$

$$= 2,856 \text{ mAh}$$

$$\frac{2,856 \text{ mAh} \times 60 \text{ menit}}{80 \text{ menit}}$$

= 2,142 mAh

Dalam waktu 60 menit alat ini mampu mengisi daya baterai dengan kapasitas 4080 mAh dari baterai awal 10% - 80% mencapai 2,142mAh.

c) Hasil Pengukuran Hari Ke Tiga

Hasil pengukuran daya yang dihasilkan termoelektrik pada hari ketiga dengan beban lampu DC 15watt sebagai berikut :

Diket : $V = 10,02$

$I = 0,12$

$P = V \times I$

$= 10,02 \times 0,12$

$= 1,20 \text{ W}$

Hasil uji coba alat untuk mengisi daya dua perangkat ponsel menunjukkan bahwa pengisian daya berlangsung dalam waktu yang relatif cepat. Untuk ponsel Pixel 5 dengan kapasitas baterai 5000 mAh, waktu yang dibutuhkan untuk pengisian dari baterai awal 4% hingga 70% adalah 95 menit, sementara untuk ponsel Xiaomi Mi A1 dengan kapasitas 4080 mAh, waktu yang dibutuhkan untuk pengisian dari baterai awal 10% hingga 80% adalah 75 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa alat dapat digunakan secara efektif dalam situasi darurat atau di lokasi terpencil yang membutuhkan sumber energi portabel.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data pada *Prototype Portable Solar Concentrated Thermoelectric Generator Charging System*, kesimpulan yang dapat menjawab tujuan penelitian adalah sPada suhu termoelektrik rata-rata sekitar **45,2°C**, alat mampu menghasilkan daya sebesar **5,06 Watt** dengan arus **0,52 A**. Ini menunjukkan bahwa alat dapat menghasilkan energi listrik secara konsisten selama menerima panas yang cukup dari matahari. Dengan memanfaatkan panas matahari yang dikonsentrasikan oleh lensa, alat ini mampu menghasilkan listrik yang cukup stabil. Rata-rata tegangan yang dihasilkan selama pengujian adalah sekitar **9,49 V** hingga **9,56 V** saat tanpa beban, yang menunjukkan kemampuan alat untuk mengkonversi energi panas matahari menjadi energi listrik. Alat ini mampu mengisi daya perangkat elektronik portabel seperti ponsel. Misalnya, pengisian daya untuk ponsel **Pixel 5** (kapasitas baterai 5000 mAh) dapat dilakukan dalam waktu **95 menit** dari kondisi baterai **4% hingga 70%**, sedangkan pengisian ponsel **Xiaomi Mi A1** (kapasitas baterai 4080 mAh) dari kondisi baterai **10% hingga 80%** membutuhkan waktu **80 menit**. Dengan rata-rata dari beban yang berbeda dalam waktu 60 menit pengisian baterai mencapai **4,372 mAh**. Ini menunjukkan

bahwa alat mampu memberikan daya yang cukup untuk keperluan darurat atau penggunaan di tempat yang jauh dari jaringan listrik

Peneliti berharap agar hasil dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai rujukan penelitian selanjutnya. Peneliti juga berharap agar penelitian ini dapat dikembangkan lebih luas dan baik lagi. Karena peneliti sadar bahwa dalam penelitian ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Disarankan untuk peneliti selanjutnya agar dapat mengambil data menggunakan waktu yang variabel yang sama, agar nantinya untuk perhitungan Wh energi yang dihasilkan bisa diperhitungkan secara detail.

DAFTAR REFERENSI

- Handayani, M., Setiawan, D., & Munawar, M. (2020). Penerapan teknologi termoelektrik untuk pemanfaatan limbah panas industri. *Jurnal Teknologi Terapan*, 5(1), 21–30.
- Junaidi, R., Taufik, M., & Suryanto, H. (2021). Kinerja termoelektrik generator pada berbagai variasi temperatur. *Jurnal Teknik Mesin dan Energi*, 9(2), 45–50.
- Khalid, M., Syukri, M., & Gapy, M. (2016). Pemanfaatan energi panas sebagai pembangkit listrik alternatif berskala kecil dengan menggunakan termoelektrik. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, 1(3).
- Martino, S., & Wulandari, D. (2018). Analisis trainer konversi energi panas menjadi energi listrik berbasis thermoelectric generator dengan variasi perubahan suhu. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 5(1).
- Prasetyo, A. P., & Riyanto, R. (2021). Eksperimen generator termoelektrik sebagai sumber daya listrik ramah lingkungan. *Jurnal Rekayasa Energi*, 6(3), 89–96.
- Purwanti, E., & Heldalia, H. (2022). Korelasi keterampilan proses sains dengan kemampuan berpikir kritis siswa pada materi pemantulan pada cermin datar. *Journal Evaluation in Education (JEE)*, 1(4), 143–148. <https://doi.org/10.37251/jee.v1i4.146>
- Puspita, S. C., Sunarno, H., & Indarto, B. (2017). Generator termoelektrik untuk pengisian aki. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 13(2), 84. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v13i2.2748>
- Rafsanjani, A. A., Kurniawan, E., & Estanto, E. (2017). Desain dan implementasi generator termoelektrik sebagai sumber energi alternatif untuk keperluan darurat. *eProceedings of Engineering*, 4(3).
- Rusli, A., & Djabbar, R. (2019). Konversi energi panas menjadi energi listrik dengan menggunakan generator termoelektrik. *LOGITECH*, 2(1).
- Sasmita, S. A., Ramadhan, M. T., Kamal, M. I., & Dewanto, Y. (2019). Alternatif pembangkit energi listrik menggunakan prinsip termoelektrik generator. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 21(1), 57. <https://doi.org/10.24912/tesla.v21i1.3249>

- Silaban, J., Nasution, A. A., & Roza, I. (2020). Pemanfaatan thermo electric generator dari konversi energi panas menjadi listrik untuk charger ponsel. *JiTEKH*, 8(2).
- Susanto, R. A., Kurniawan, T., & Fadilah, I. (2021). Pengembangan alat pembangkit listrik termoelektrik untuk daerah terpencil. *Jurnal Riset Energi Terbarukan*, 10(3), 135–142.
- Widodo, S., Purnomo, H., & Nurfiana, A. (2022). Implementasi teknologi termoelektrik pada sistem pendinginan berbasis energi panas buangan. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 4(1), 78–85.
- Wijayanti, F., & Yuliana, R. (2020). Desain dan pengujian generator termoelektrik untuk aplikasi portable. *Jurnal Teknik Elektro dan Energi*, 3(4), 98–106.
- Wulandari, D., & Santoso, H. B. (2020). Analisis performa termoelektrik generator dalam aplikasi konversi energi panas menjadi listrik. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 7(2), 152–160.