

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 14 Nomor 1 Tahun 2025, hal 1-12.

KONVERSI ENERGI TERMAL HASIL PEMBAKARAN ECENG GONDOK (EICHHORNIA CRASSIPES) MENJADI ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN SISTEM TERMOELEKTRIK GENERATOR

¹⁾Tiara Lapalutu, ²⁾Asri Arbie, ³⁾A Indra Wulan Sari Ramadani

¹⁾Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Gorontalo, email: tiaralapalutu769@gmail.com

²⁾Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Gorontalo, email: asriarbie@ung.ac.id

³⁾Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Gorontalo, email: indra@ung.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perbedaan suhu terhadap daya listrik pada 48 keping Thermoelectric Generator (TEG) dengan konfigurasi tertentu serta mengkaji pengaruh waktu pengisian terhadap arus, tegangan, dan daya listrik yang mengalir menuju superkapasitor saat digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan teknik pengumpulan data melalui pengukuran langsung. Parameter yang diukur meliputi tegangan dan arus, yang kemudian diolah untuk mendapatkan daya listrik yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan suhu yang terjadi berbanding lurus dengan waktu pembakaran. Semakin lama waktu pembakaran, semakin besar perbedaan suhu yang dihasilkan. Pengukuran menunjukkan bahwa konfigurasi seri menghasilkan perbedaan suhu tertinggi, yaitu 26,3°C, sedangkan konfigurasi paralel mencapai 21,6°C. Selain itu, analisis daya listrik menunjukkan bahwa konfigurasi seri menghasilkan daya lebih besar dibandingkan konfigurasi paralel. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa konfigurasi seri lebih optimal dalam menghasilkan daya listrik dibandingkan konfigurasi paralel pada sistem TEG yang digunakan dalam penelitian ini.

Kata Kunci: konversi energi, rancangan termoelektrik generator, biomassa eceng gondok.

Abstract

This study aims to analyze the effect of temperature differences on electrical power in a system with 48 Thermoelectric Generator (TEG) units with specific configurations and examine the impact of charging time on current, voltage, and electrical power flowing into the supercapacitor when used for electrical charge storage. The research employs an experimental method with data collection conducted through direct measurements. The measured parameters include voltage and current, which are then processed to determine the generated electrical power. The results indicate that the temperature difference is directly proportional to the burning time. The longer the burning time, the greater the temperature difference. Measurements show that the series configuration achieves the highest temperature difference of 26.3°C, while the parallel configuration reaches 21.6°C. Furthermore, power analysis reveals that the series configuration generates more power than the parallel configuration. Thus, it can be concluded that the series configuration is more optimal in generating electrical power compared to the parallel configuration in the TEG system used in this study.

Keywords: energy conversion, thermoelectric generator design, water hyacinth biomass.

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan jumlah penduduk Indonesia dan perekonomian, kebutuhan energi listrik terus meningkat. Di Provinsi Gorontalo kebutuhan energi listrik terus menerus meningkat setiap tahunnya sebesar 10,21% semua masyarakat bergantung dengan pasokan energi listrik yang disediakan PLN, berasal dari PLTD. Seperti yang telah diketahui bahwa PLTD sendiri menggunakan BBM sebagai penghasil energi listrik. Hal ini tengah dirasakan masyarakat kota Gorontalo, dimana harus melalui kebijakan dari pemerintah yaitu dengan memadamkan listrik secara bergilir ini tentunya mengganggu aktifitas (Atiq *et al.*, 2023). Dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik serta penambahan kapasitas pembangkit di provinsi Gorontalo diperlukan peran dari energi terbarukan dengan menggunakan alternatif ketersediaan sumber daya alam contohnya seperti angin, panas bumi, biomassa dan lain sebagainya yang bisa dikonversi ke energi termal menjadi energi listrik (Adistia *et al.*, 2020).

Konversi energi termal ke energi listrik dapat dihasilkan dalam sistem konversi. Dengan menggunakan prinsip efek *seeback* konversi energi didapatkan dari panas (suhunya terdapat perbedaan) sehingga akan menghasilkan energi listrik. Pada fenomena *seeback* tersebut, 2 buah material yang berbahan logam disambungkan pada masing-masing suhu yang berbeda maka akan berbeda pula tegangan yang dihasilkan, jika perbedaan suhunya tinggi maka keluaran listriknya juga semakin besar (Rizaldi & Edahwati, 2022). Konversi energi ini bisa dengan menggunakan termoelektrik (TEG).

Termoelektrik (TEG) adalah alat yang bisa digunakan untuk menghasilkan energi termal ke energi listrik. Berdasarkan penelitian yang telah digunakan menggunakan sumber energi panas dari biomassa kemiri, kayu, tongkol jagung dan tempurung kelapa dengan menggunakan metode pembakaran langsung serta 10 TEG yang dirangkai secara seri dan paralel, dihasilkan tegangan tertinggi sebesar 1,31 volt pada biomassa kayu dengan rangkaian secara seri (Tambunan *et al.*, 2022). Energi termal yang hasilkan juga salah satunya bisa terdapat dari biomassa yaitu pembakaran eceng gondok.

Ketersediaan eceng gondok yang melimpah di Gorontalo tepatnya di danau Limboto dianggap telah merugikan ekosistem air karena dengan pertumbuhannya yang tidak terkendali membuat terganggunya aktifitas pengambilan air, menjadi tempat berkembang biak yang menguntungkan bagi vektor bahaya kesehatan seperti nyamuk (Nyamunda *et al.*, 2019). Tidak hanya itu, di danau Limboto juga telah mengalami pendangkalan salah satu penyebabnya karena pertumbuhan tanaman ini. Dengan sisa tumbuhan-tumbuhan yang lama kelamaan mengalami proses pembusukan menjadi salah satu faktornya karena akan mengendap pada dasar perairan (Pangestu *et al.*, 2014).

Eceng gondok memiliki akar, batang, daun dan bunga serta kandungan selulosa yang tinggi sebesar 60%, hemiselulosa 8% dan lignin 17%, serat 15-18%, protein kasar 17,2% dan abu 16-20% (Nuria *et al.*, 2020). Dengan kandungan selulosa dan bahan organik dalam eceng gondok membuat tanaman ini memiliki potensi sebagai penghasil energi kalor (Azzahra *et al.*, 2021). Kandungan selulosa dan bahan organik berpotensi memberikan nilai kalor yang cukup baik pada eceng gondok (Balong *et al.*, 2016). Nilai kalor pada media eceng gondok 2785 kal/g dari standar SNI 5000 kal/g (Wirawan *et al.*, 2021).

Maka dari itu, peneliti memberikan solusi untuk memanfaatkan eceng gondok sebagai alternatif bahan bakar, selanjutnya energi panas dari hasil pembakaran diubah menjadi energi listrik menggunakan termoelektrik generator (TEG) dengan variasi kepingan tertentu yang dirangkai secara seri dan paralel. Dengan kemampuan TEG dalam mengubah panas menjadi listrik serta merupakan alat yang ramah lingkungan maka alat ini dapat dimanfaatkan dalam penelitian untuk mengubah panas hasil pembakaran menjadi energi listrik. Dalam penelitian ini menggunakan TEG tipe SP-1848-27145 karena suhunya mencapai 150-200°C, serta mudah ditemukan di pasaran dengan harga yang relatif murah. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk memanfaatkan eceng gondok sebagai bahan bakar serta mengubah energi termal hasil dari pembakaran menjadi energi listrik agar dapat dimanfaatkan bagi kehidupan sehari-hari.

II. METODE

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Rancangan mulai disini Pengambilan data penelitian dilaksanakan pada bulan Maret 2024. Lokasi observasi untuk pengambilan sampel eceng gondok Lekobalo terletak di Kecamatan Kota Barat, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo dengan titik koordinat 0,543739° U, 123,08258° T. Lokasi pengambilan data dan pengolahan data di laboratorium Fisika Universitas Negeri Gorontalo.

B. Alat dan Bahan

Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Daftar Alat dan Bahan

No.	Alat dan Bahan	Fungsi
1.	TEG SP-1848-27145	Mengkonversi panas menjadi energi listrik
2.	Kompur Biomassa	Tempat pembakaran biomassa
3.	Multimeter	Pengukur arus dan tegangan
4.	Termometer	Pengukur temperature
5.	Stopwatch	Untuk mengukur waktu pengambilan data
6.	Heatsink	Sebagai media pendingin
7.	Superkapasitor	Penyimpan arus dan tegangan
8.	Eceng gondok	Bahan bakar
9.	Timbangan duduk	Pengukur massa bahan bakar
10.	<i>Moisture meter</i>	Pengukur kadar air biomassa

C. Variabel Penelitian

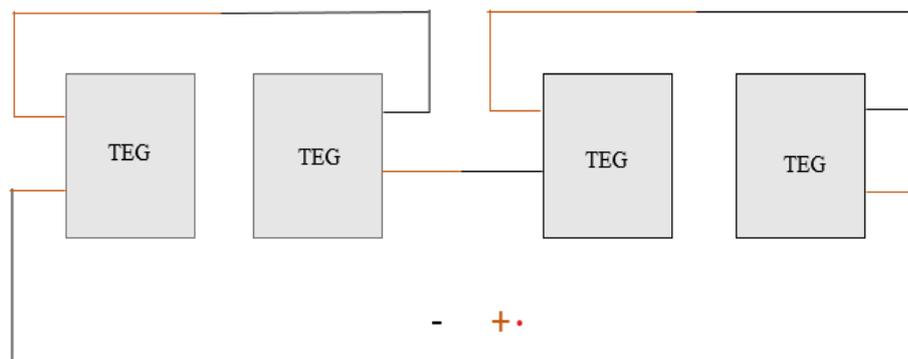
Variabel bebas pada penelitian ini adalah waktu. Waktu digunakan sebagai durasi pengisian pada superkapasitor dirangkai secara seri dan paralel. Variabel terikat pada penelitian ini meliputi kuat arus listrik, tegangan listrik, dan daya listrik. Kuat arus listrik adalah arus listrik luaran sistem TEG yang diukur pada keluaran terminal TEG, yang menunjukkan jumlah elektron yang mengalir dalam rangkaian. Tegangan listrik adalah tegangan luaran sistem TEG yang diukur pada keluaran terminal TEG, yang mencerminkan besarnya gaya yang mendorong elektron untuk bergerak dalam rangkaian. Sementara itu, daya listrik merupakan hasil pengolahan data dari tegangan listrik dan kuat arus listrik dalam rangkaian seri-paralel, yang menunjukkan jumlah energi listrik yang dihasilkan dan digunakan dalam sistem. Arus mengacu pada aliran elektron dalam suatu rangkaian, sedangkan tegangan mengacu pada besarnya gaya yang mendorong elektron untuk mengalir. Semakin tinggi tegangan listrik, semakin banyak arus yang mengalir dalam rangkaian; sebaliknya, tegangan yang lebih rendah akan menghasilkan arus yang lebih lemah. Oleh karena itu, daya listrik dalam sistem ini sangat dipengaruhi oleh hubungan antara tegangan dan arus, di mana daya dapat dihitung menggunakan persamaan dasar $P = V \times I$, dengan P sebagai daya listrik (watt), V sebagai tegangan listrik (volt), dan I sebagai kuat arus listrik (ampere).

D. Teknik Pengambilan data

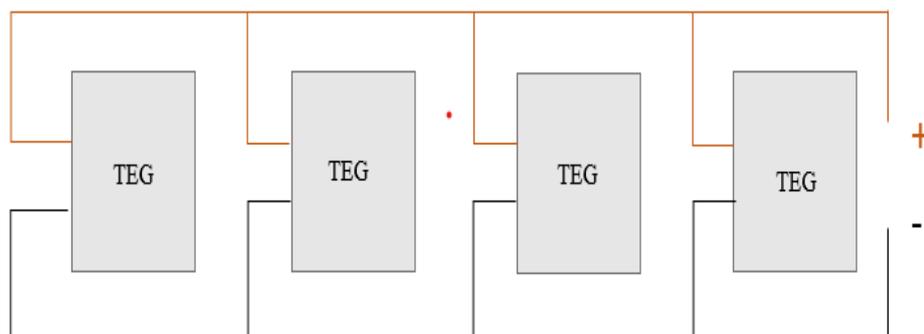
Pada penelitian ini proses pengambilan data dengan cara pengambilan secara pengukuran langsung. Adapun data yang akan dikumpulkan pada proses pengukuran berlangsung yaitu tegangan dan arus kemudian data primer yang telah dikumpulkan tersebut diolah untuk mendapatkan daya listrik yang dihasilkan. Pada penelitian ini TEG akan dirangkai dengan konfigurasi seri dan paralel dengan jumlah tertentu dan menyesuaikan dengan posisi peletakan. Adapun skema rancangan susunan konfigurasi TEG dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

Dalam pengambilan data ini pertama melakukan proses preparasi dengan menyiapkan kompor biomassa sebagai alat pembakaran yang terbuat dari plat serta didesain dengan wadah pada kompor tersebut. Lalu, menyiapkan wadah sebagai penghantar panas dari penggunaan bahan bakar yang berisi air 30 liter serta penutup wadah. Menyiapkan 48 keping TEG yang dirangkai seri dan paralel. Setelah itu, menyiapkan multimeter digital untuk pengukuran arus dan tegangan yang dipasang di salah satu ujung pada TEG. Lalu, termometer digital sebagai alat pengukur suhu pada rangkaian sistem TEG. Superkapasitor sebagai penyimpanan arus dan tegangan di salah satu ujung-ujung TEG, serta *heatsink* sebagai pendingin dan timbangan duduk untuk mengukur massa bahan bakar.

Selanjutnya pada proses persiapan bahan bakar dilakukan dengan cara menjemur eceng gondok. Sebelum dijemur eceng gondok diukur kadar airnya menggunakan *moisture* meter kemudian dijemur sampai kadar airnya berkurang hingga 6,1%. Setelah itu ditimbang sebanyak 10 kg, lalu membakar eceng gondok dengan menggunakan kompor dan melakukan pengambilan data.

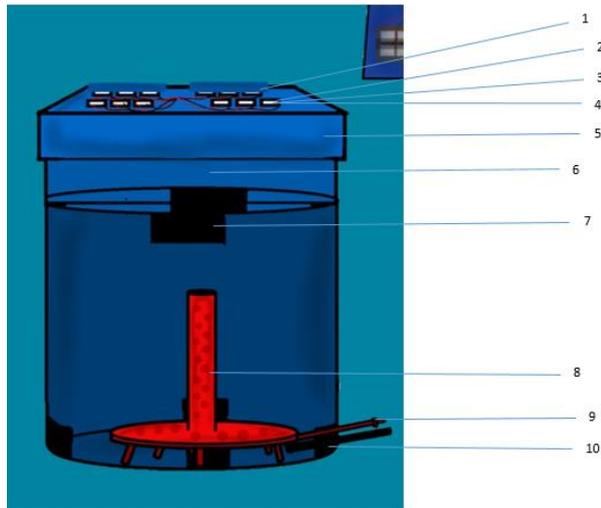


Gambar 1. Konfigurasi seri TEG



Gambar 2. Konfigurasi paralel TEG

Pada proses pengambilan data pengukuran berlangsung setelah eceng gondok tersebut dibakar, setiap selang waktu 3 menit mengukur arus, tegangan, temperatur panas dan temperatur dingin untuk rangkaian seri setelah itu melakukan proses tersebut untuk rangkaian paralel. Adapun skema rancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.



Keterangan:

- 1 TEG sebagai konversi energi panas menjadi listrik.
- 2 Heatsink sebagai sisi dingin pada sistem TEG.
- 3 Multimeter sebagai mengukur besar tegangan dan arus yang dihasilkan pada sistem.
- 4 Superkapasitor sebagai penyimpan sumber tegangan.
- 5 Wadah air sebagai tempat .
- 6 Dinding kompor.
- 7 Pintu untuk menambahkan sampel.
- 8 Tempat bahan bakar diletakkan.
- 9 Tempat pompa.
- 10 Rongga angin dari pompa.

Gambar 3. Skema rangkaian alat

E. Teknik Analisis Data

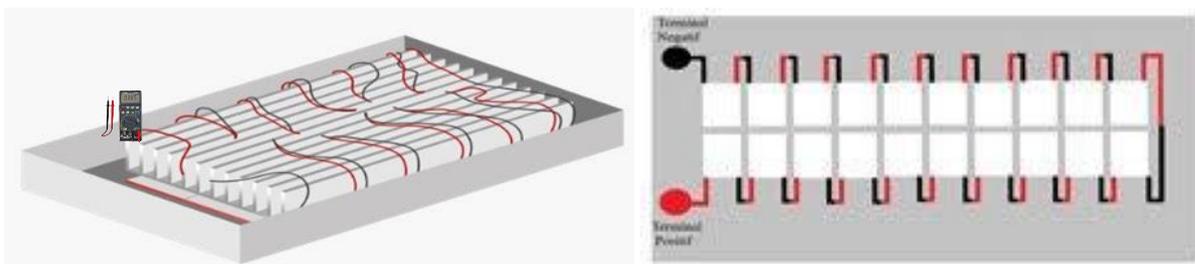
Dalam tahap analisis data, data yang telah diukur secara langsung pada setiap percobaan yang dilakukan dengan menggunakan alat pengukuran yang sesuai dengan parameter pengukuran. Data yang dikumpulkan pada masing-masing pengujian akan dihitung dan hasilnya akan dianalisis dan membuat kesimpulan. Adapun cara analisis data yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Menghitung besarnya arus pada rangkaian menggunakan persamaan (2) dan (3).
2. Menghitung besarnya tegangan pada rangkaian menggunakan persamaan (4) dan (5).
3. Menghitung besarnya daya yang dihasilkan rangkaian menggunakan persamaan (1).
4. Untuk menghitung muatan pada penyimpanan superkapasitor menggunakan persamaan (6).

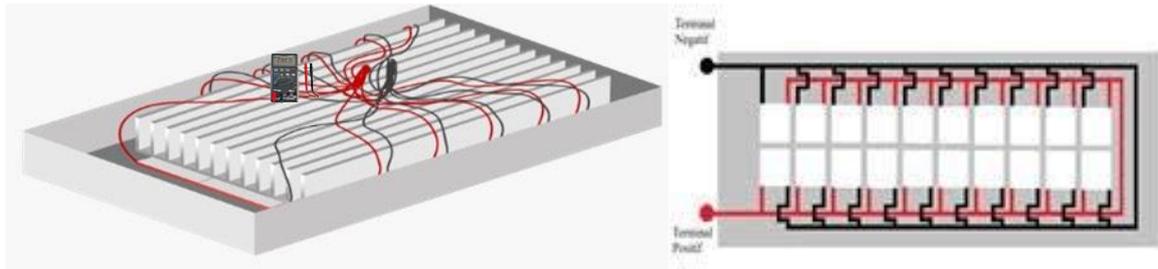
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pembuatan Rancangan Rangkaian Termoelektrik Generator (TEG)

Pada penelitian ini memanfaatkan tumbuhan eceng gondok (*Eichhornia Crassipes*) sebagai bahan bakar yang digunakan pada tungku, sumber panas yang dihasilkan dari pembakaran tersebut sebagai objek penelitian, maka rancangan alat ini dimulai dengan merangkai TEG dengan susunan berbeda, secara seri dan paralel. Masing-masing susunan yang dirangkai sebanyak 48 buah TEG diletakkan pada penutup wadah. Adapun hasil rangkaian TEG seri dan paralel sebagai berikut.



Gambar 4. Konfigurasi seri TEG



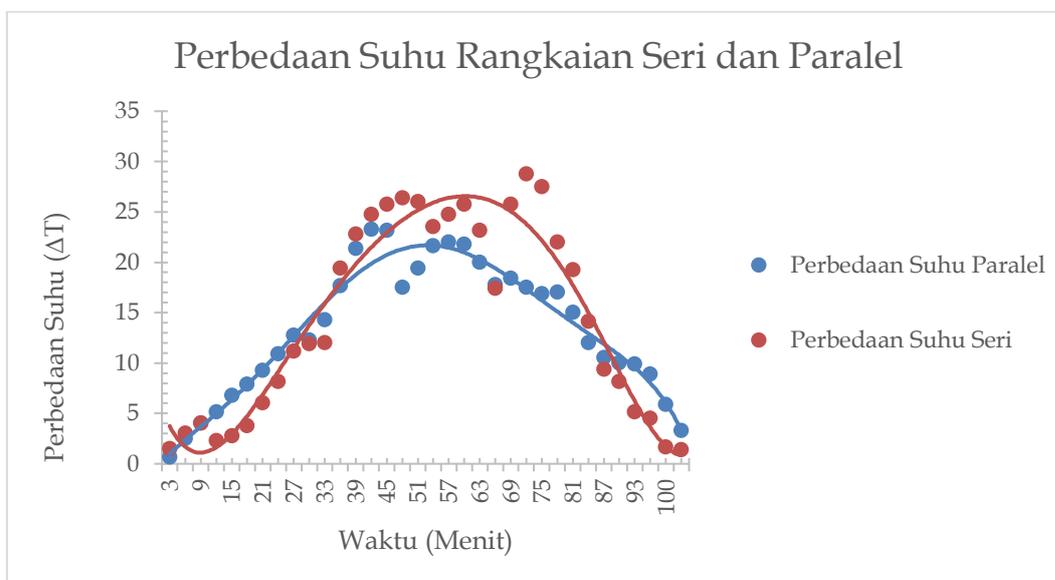
Gambar 5. Konfigurasi paralel TEG

Termoelektrik generator (TEG) adalah komponen penghasil energi listrik yang bekerja dengan prinsip perbedaan suhu pada suatu permukaan. Pada penelitian ini energi panas yang dimanfaatkan merupakan hasil dari pembakaran eceng gondok yang dibakar pada kompor plat yang di design sekaligus dengan wadah sebagai peletakkan rangkaian TEG. Rangkaian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seri dan paralel dengan 48 buah TEG. Jumlah ini merupakan jumlah yang efisien dalam peletakkan TEG sesuai permukaan diatas wadah. Dalam penelitian ini rangakaian yang paling tinggi dalam menghasilkan arus dan tegangan adalah rangkaian seri dibandingkan rangkaian paralel.

B. Pengaruh Perbedaan Suhu Terhadap Arus Tegangan Listrik yang Dihasilkan

Dalam penelitian ini memanfaatkan perpindahan panas secara konduksi, dimana perpindahan panas yang terjadi dengan wadah sebagai zat perantara dari sumber pembakaran eceng gondok. Berdasarkan hasil pengukuran perbedaan suhu yang dihasilkan berbanding lurus dengan besarnya waktu. Semakin lama waktu pembakaran maka perbedaan suhu yang dihasilkan semakin besar. Akan tetapi, jika pembakaran dihentikan maka suhu akan perlahan turun. Hasil pengukuran nilai perbedaan suhu dapat dilihat pada Gambar 6.

Pada Gambar 6 terlihat bahwa perbedaan suhu paling tinggi pada konfigurasi seri mencapai 26.3°C sedangkan untuk konfigurasi paralel mencapai 23.25°C. Dari rangkaian seri dan paralel, rangkaian yang paling besar menghasilkan tegangan adalah rangkaian seri. Berikut adalah tabel 2 yang diperoleh dari perhitungan tegangan maksimum pada rangkaian seri dan paralel.



Gambar 6. Grafik perbandingan perbedaan suhu rangkaian seri dan rangkaian paralel terhadap waktu pengukuran.

Tabel 2 memperlihatkan hasil arus dan tegangan maksimum pada rangkaian seri lebih besar daripada pada rangkaian paralel. Pada rangkaian seri terdapat arus sebesar 0.0038 A tegangan sebesar 1.57 V untuk

rangkaian pakai superkapasitor dan untuk rangkaian tanpa superkapasitor arus 0.0019 A dan tegangan 1.46 V dibandingkan dengan rangkaian paralel untuk rangkaian pakai superkapasitor arus 0.0064 A dan tegangan 0.043 V dan untuk rangkaian tanpa superkapasitor arus 0.0051 A dan tegangan 0.033 V. Karena perbedaan suhu pada rangkaian seri lebih besar daripada rangkaian paralel. Ini relevan dengan teori yang mengatakan, jika perbedaan suhunya tinggi maka keluaran listriknya juga semakin besar (Rizaldi & Edahwati, 2022).

Tabel 2. Pengukuran nilai perbedaan suhu terhadap arus dan tegangan maksimum rangkaian seri dan rangkaian paralel.

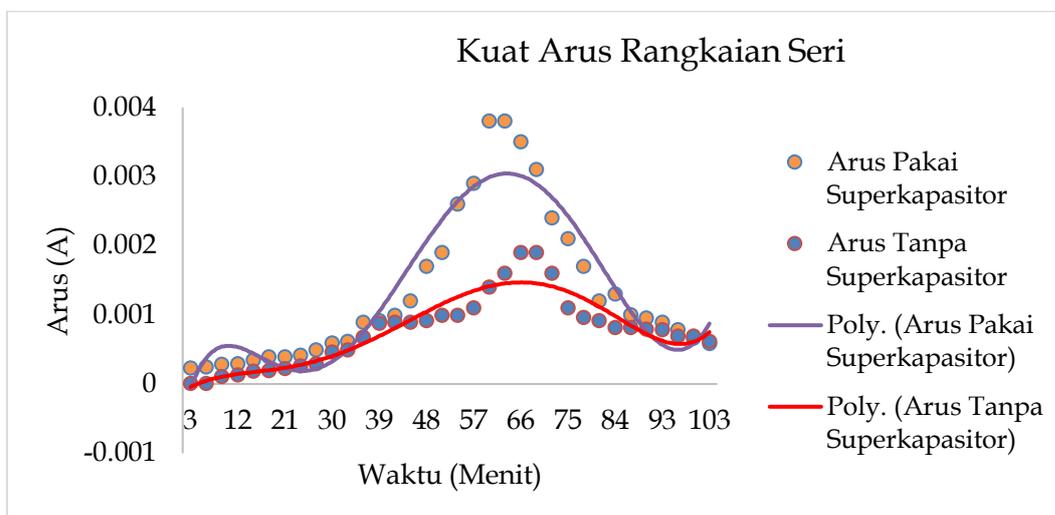
No.	Rangkaian	ΔT (°C)	Arus (I)	Tegangan (V)	Koefisien Seebeck ($\mu V/K$)	Ket
1.	Seri	26.85°C	0.0038	1.57	0.0584	Pakai Superkapasitor
		26.75°C	0.0019	1.46	0.0545	Tanpa Superkapasitor
2.	Paralel	23.25°C	0.0064	0.043	0.0018	Pakai Superkapasitor
		23.25°C	0.0051	0.033	0.0014	Tanpa Superkapasitor

Pada Tabel 2 juga tersaji Koefisien *seebeck* yang diperoleh pada rangkaian seri pakai superkapasitor yaitu 0.0584 dan untuk rangkaian tanpa superkapasitor yaitu 0.0545 sedangkan pada rangkaian paralel pakai superkapasitor 0.0018 dan untuk rangkaian tanpa superkapasitor 0.0014. Koefisien *seebeck* dari rangkaian seri lebih besar daripada rangkaian paralel hal ini yang menyebabkan tegangan pada rangkaian seri lebih besar. Teori ini relevan dengan prinsip efek *seebeck*, bahwa semakin besar koefisien Seebeck dari material termoelektrik yang digunakan, semakin besar tegangan listrik yang dihasilkan ketika terjadi perbedaan suhu (Maulana, 2022).

C. Pengaruh Waktu Pengisian Terhadap Arus dan Tegangan Listrik yang Mengalir Menuju Superkapasitor

Superkapasitor adalah sebuah penyimpanan yang digunakan dalam penelitian ini, dengan kapasitas penyimpanan yang tersimpan selama 5 menit akan bervariasi seiring bertambahnya perbedaan suhu. Semakin tinggi perbedaan suhu semakin besar pula tegangan dan arus yang dihasilkan. Dalam penelitian ini data yang diperoleh adalah arus dan tegangan dalam pembakaran biomassa eceng gondok dengan variasi rangkaian seri dan paralel dengan waktu pembakaran selama 103 menit diukur selama selang waktu 3 menit menghasilkan kenaikan yang signifikan. Berikut adalah grafik hubungan waktu terhadap arus rangkaian seri dan paralel yang menggunakan superkapasitor serta tanpa superkapasitor terhadap waktu.

Seri

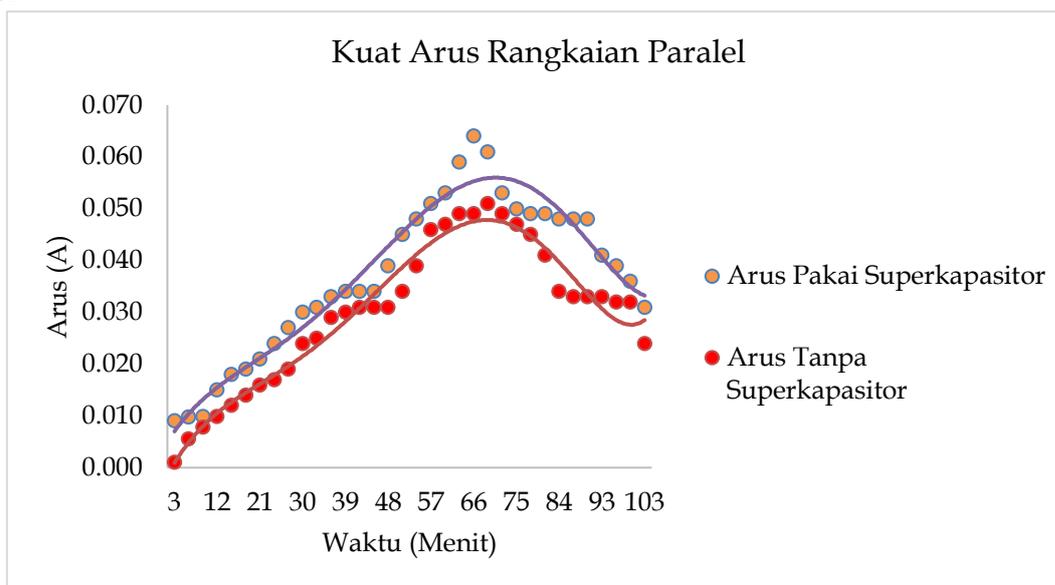


Gambar 7. Pola hubungan antara waktu terhadap kuat arus yang dihasilkan oleh rancangan TEG yang dirangkai secara seri menggunakan superkapasitor dan tanpa superkapasitor

Berdasarkan gambar 7 pola hubungan antara kuat arus yang dihasilkan untuk rangkaian yang menggunakan superkapasitor berpengaruh terhadap kenaikan temperatur. Nilai arus tertinggi pada rangkaian seri yang menggunakan superkapasitor adalah pada menit ke-60 adalah 0.0038 A sedangkan hasil pada rangkaian yang tidak menggunakan superkapasitor adalah 0.0019 A pada menit yang sama. Kenaikan temperatur yang di hasilkan akan mengakibatkan peningkatan arus. Sebaliknya, jika terjadi penurunan suhu dalam pengukuran maka arus yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Dalam hal ini mengambil dua data arus yaitu yang menggunakan superkapasitor dan tidak menggunakan superkapasitor agar dapat membandingkan hasil yang di peroleh pada saat pengukuran.

Dapat dilihat dari data tersebut bahwa untuk arus yang tertinggi dihasilkan itu diperoleh dari pengukuran pada saat menggunakan superkapasitor. Hal ini disebabkan pada saat pengukuran menggunakan superkapasitor tersebut terukur dengan energi yang tersimpan karena dilakukan bersamaan pada saat proses pengisian (*charging*) (Stepanus, 2020).

Paralel



Gambar 8. Pola hubungan antara waktu terhadap arus yang dihasilkan oleh rancangan TEG yang dirangkai secara paralel menggunakan superkapasitor dan tanpa superkapasitor

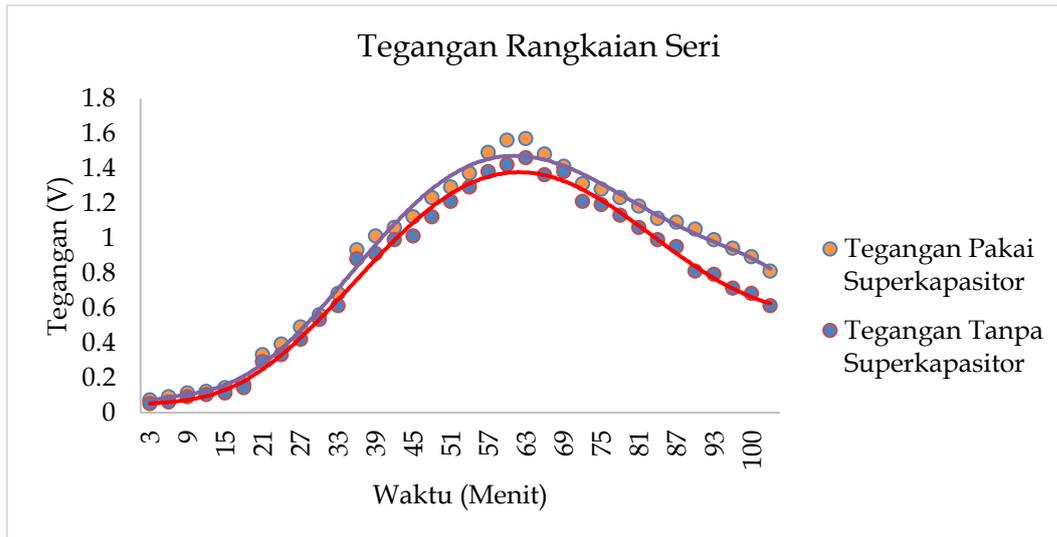
Berdasarkan gambar 8 pola hubungan antara arus yang dihasilkan untuk rangkaian yang menggunakan superkapasitor berpengaruh terhadap kenaikan temperatur. Nilai arus tertinggi pada rangkaian paralel yang menggunakan superkapasitor adalah pada menit ke-57 adalah 0.0064 A sedangkan hasil pada rangkaian yang tidak menggunakan superkapasitor adalah 0.0051 pada menit ke-48. Kenaikan temperatur yang di hasilkan akan mengakibatkan peningkatan arus. Sebaliknya, jika terjadi penurunan suhu dalam pengukuran maka arus yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Dalam penelitian ini mengambil dua data arus yaitu data yang menggunakan superkapasitor dan tidak menggunakan superkapasitor agar dapat membandingkan hasil yang di peroleh pada saat pengukuran.

Dapat dilihat dari data tersebut bahwa untuk arus tertinggi yang dihasilkan itu diperoleh dari pengukuran pada saat menggunakan superkapasitor. Hal ini disebabkan pada saat pengukuran menggunakan superkapasitor tersebut terukur dengan energi yang tersimpan karena dilakukan bersamaan pada saat proses pengisian (*charging*) (Stepanus, 2020).

D. Pengaruh Waktu Pengisian Terhadap Tegangan Listrik yang Mengalir Menuju Superkapasitor

Berikut adalah grafik hubungan waktu terhadap tegangan rangkaian seri dan paralel yang menggunakan superkapasitor serta tanpa superkapasitor terhadap waktu.

Seri

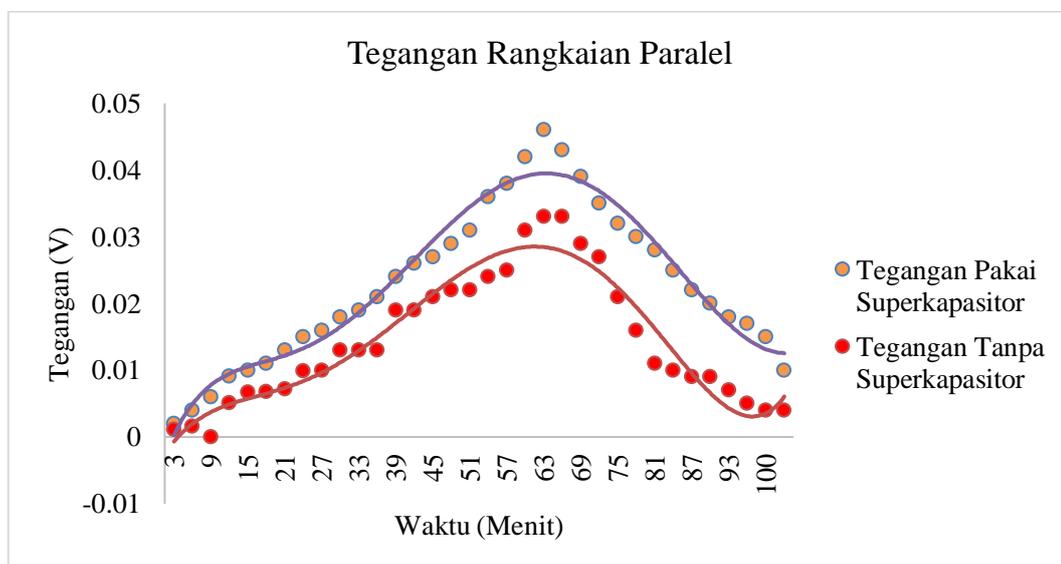


Gambar 9. Pola hubungan antara waktu terhadap tegangan yang dihasilkan oleh rancangan TEG yang dirangkai secara seri menggunakan superkapasitor dan tanpa superkapasitor

Berdasarkan gambar 9 pola hubungan antara tegangan yang dihasilkan untuk rangkaian yang menggunakan superkapasitor berpengaruh terhadap kenaikan temperatur. Nilai tegangan tertinggi pada rangkaian seri yang menggunakan superkapasitor adalah pada menit ke-56 adalah 1.57 V sedangkan hasil pada rangkaian yang tidak menggunakan superkapasitor adalah 1.44 V pada menit yang sama. Kenaikan temperatur yang di hasilkan akan mengakibatkan peningkatan tegangan. Sebaliknya, jika terjadi penurunan suhu dalam pengukuran maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Dalam hal ini mengambil dua data tegangan yaitu data yang menggunakan superkapasitor dan tidak menggunakan superkapasitor agar dapat membandingkan hasil yang di peroleh pada saat pengukuran.

Dapat dilihat dari data tersebut bahwa untuk tegangan tertinggi yang dihasilkan itu diperoleh dari pengukuran pada saat menggunakan superkapasitor. Hal ini disebabkan pada saat pengukuran menggunakan superkapasitor tersebut terukur dengan energi yang tersimpan karena dilakukan bersamaan pada saat proses pengisian (*charging*) (Stepanus, 2020).

Paralel



Gambar 10. Pola hubungan antara waktu terhadap tegangan yang dihasilkan oleh rancangan TEG yang dirangkai secara paralel menggunakan superkapasitor dan tanpa superkapasitor

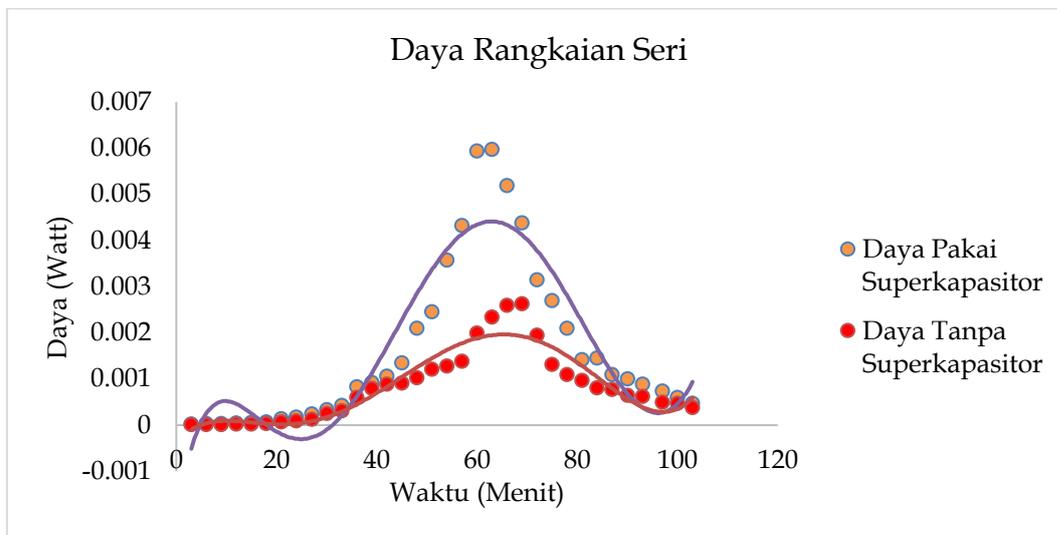
Berdasarkan gambar 10 pola hubungan antara tegangan yang dihasilkan untuk rangkaian yang menggunakan superkapasitor berpengaruh terhadap kenaikan temperatur. Nilai tegangan tertinggi pada rangkaian paralel yang menggunakan superkapasitor adalah pada menit ke-56 adalah 0.046 V sedangkan hasil pada rangkaian yang tidak menggunakan superkapasitor adalah 0.33 V pada menit yang sama. Kenaikan temperatur yang di hasilkan akan mengakibatkan peningkatan tegangan. Sebaliknya, jika terjadi penurunan suhu dalam pengukuran maka tegangan yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Dalam penelitian ini mengambil dua data tegangan yaitu data yang menggunakan superkapasitor dan tidak menggunakan superkapasitor agar dapat membandingkan hasil yang di peroleh pada saat pengukuran.

Dapat dilihat dari data tersebut bahwa untuk tegangan tertinggi yang dihasilkan itu diperoleh dari pengukuran pada saat menggunakan superkapasitor. Hal ini disebabkan pada saat pengukuran menggunakan superkapasitor tersebut terukur dengan energi yang tersimpan karena dilakukan bersamaan pada saat proses pengisian (*charging*) (Stepanus, 2020).

E. Pengaruh Waktu Pengisian Terhadap Daya Listrik yang Mengalir Menuju Superkapasitor

Berikut adalah grafik hubungan waktu terhadap arus rangkaian seri dan paralel yang menggunakan superkapasitor serta tanpa superkapasitor terhadap waktu.

Seri

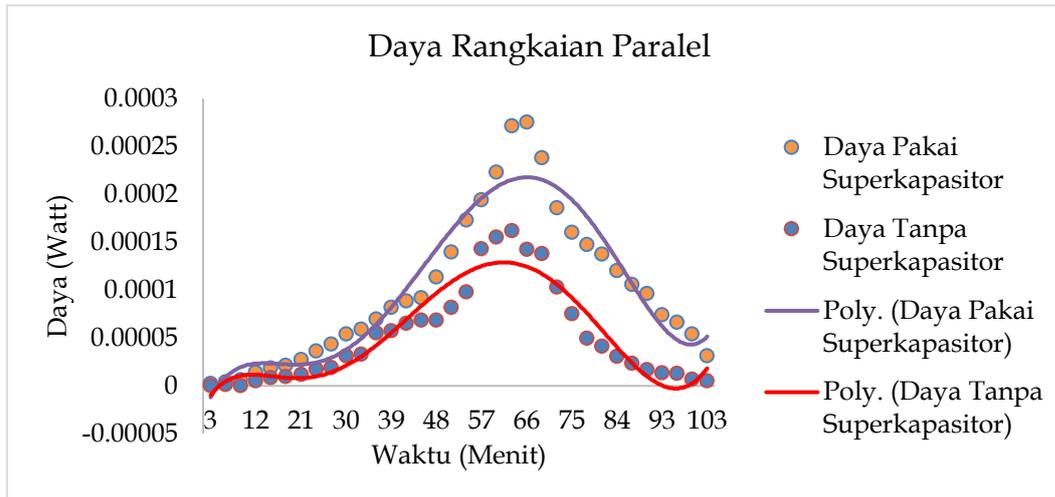


Gambar 11. Pola hubungan antara waktu terhadap daya yang dihasilkan oleh rancangan TEG yang dirangkai secara seri menggunakan superkapasitor dan tanpa superkapasitor

Berdasarkan gambar 11 pola hubungan antara daya yang dihasilkan untuk rangkaian yang menggunakan superkapasitor berpengaruh terhadap kenaikan temperatur. Nilai daya tertinggi pada rangkaian seri yang menggunakan superkapasitor adalah pada menit ke-56 adalah 0.005966 watt sedangkan hasil pada rangkaian yang tidak menggunakan superkapasitor adalah 0.002622 watt pada menit ke-69. Kenaikan temperatur yang di hasilkan akan mengakibatkan peningkatan daya. Sebaliknya, jika terjadi penurunan suhu dalam pengukuran maka ya yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Dalam penelitian ini menghitung dua data daya yaitu data yang menggunakan superkapasitor dan tidak menggunakan superkapasitor agar dapat membandingkan hasil yang di peroleh pada saat perhitungan.

Dapat dilihat dari data tersebut bahwa untuk daya tertinggi yang dihasilkan itu diperoleh dari perhitungan pada saat menggunakan superkapasitor. Hal ini disebabkan pada saat pengukuran menggunakan superkapasitor tersebut terukur dengan energi yang tersimpan karena dilakukan bersamaan pada saat proses pengisian (*charging*) (Stepanus, 2020).

Paralel



Gambar 12. Pola hubungan antara waktu terhadap daya yang dihasilkan oleh rancangan TEG yang dirangkai secara paralel menggunakan superkapasitor dan tanpa superkapasitor

Berdasarkan Gambar 12 pola hubungan antara daya yang dihasilkan untuk rangkaian yang menggunakan superkapasitor berpengaruh terhadap kenaikan temperatur. Nilai daya tertinggi pada rangkaian paralel yang menggunakan superkapasitor adalah pada menit ke-66 adalah 0.0002752-watt sedangkan hasil pada rangkaian yang tidak menggunakan superkapasitor adalah 0.0001617 watt pada menit ke-63. Kenaikan temperatur yang di hasilkan akan mengakibatkan peningkatan daya. Sebaliknya, jika terjadi penurunan suhu dalam pengukuran maka ya yang dihasilkan juga akan semakin kecil. Dalam penelitian ini menghitung dua data daya yaitu data yang menggunakan superkapasitor dan tidak menggunakan superkapasitor agar dapat membandingkan hasil yang di peroleh pada saat perhitungan.

Dapat dilihat dari data tersebut bahwa untuk daya tertinggi yang dihasilkan itu diperoleh dari perhitungan pada saat menggunakan superkapasitor. Hal ini disebabkan pada saat pengukuran menggunakan superkapasitor tersebut terukur dengan energi yang tersimpan karena dilakukan bersamaan pada saat proses pengisian (*charging*) (Stepanus, 2020).

IV. PENUTUP

Dari data analisis yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa sistem termoelektrik generator (TEG) dalam penelitian ini dirancang dengan 48 TEG yang disusun secara seri dan paralel. Rangkaian yang paling efisien dalam menghasilkan energi listrik adalah rangkaian seri, karena daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan rangkaian paralel. Berdasarkan data pengaruh perbedaan suhu terhadap arus dan tegangan yang dihasilkan, ditemukan bahwa arus dan tegangan pada rangkaian seri lebih besar dibandingkan dengan rangkaian paralel. Semakin besar perbedaan suhu, maka daya yang dihasilkan semakin besar. Pada rangkaian seri, arus sebesar 3,8 mA dan tegangan sebesar 1,57 V untuk rangkaian dengan superkapasitor, sedangkan untuk rangkaian tanpa superkapasitor, arus sebesar 1,9 mA dan tegangan 1,46 V. Dibandingkan dengan rangkaian paralel, untuk rangkaian dengan superkapasitor, arus sebesar 6,4 mA dan tegangan 43 mV, sedangkan tanpa superkapasitor, arus sebesar 5,1 mA dan tegangan 33 mV. Pada pengukuran data, penggunaan superkapasitor berpengaruh terhadap hasil keluaran arus dan tegangan. Pada pengukuran arus dan tegangan, penggunaan superkapasitor menghasilkan nilai yang lebih besar dibandingkan tanpa superkapasitor. Pada rangkaian seri, terdapat arus sebesar 3,8 mA dan tegangan sebesar 1,57 V dengan hasil daya analisis 5,966 mW untuk rangkaian dengan superkapasitor, sedangkan untuk rangkaian tanpa superkapasitor, arus sebesar 1,9 mA dan tegangan 1,46 V dengan daya 2,622 mW. Dibandingkan dengan rangkaian paralel, untuk rangkaian dengan superkapasitor, arus sebesar 6,4 mA dan tegangan 43 mV dengan hasil daya 0,2752 mW, sementara untuk rangkaian tanpa superkapasitor, arus sebesar 5,1 mA dan tegangan 33 mV dengan daya 0,1617 mW.

DAFTAR PUSTAKA

- Adistia, N. A., Nurdiansyah, R. A., Fariko, J., Vincent, V., & Simatupang, J. W. (2020). Potensi Energi Panas Bumi, Angin, Dan Biomassa Menjadi Energi Listrik Di Indonesia. *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, 22(2), 105. <https://doi.org/10.24912/tesla.v22i2.9107>
- Atiq, M., Nuri, & Mahardi, R. dian. (2023). Desain Lampu Darurat Portabel Berbasis Rangkaian Joule Thief. *Jurnal Elektro Dan Informatika Swardharma (JEIS)*, 03(01), 11-17.
- Azzahra, R. F., & Meilianti. (2021). Produksi Bioetanol Berbahan Dasar Limbah Kulit Kopi Sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Kinetika*, 12(02), 58-63.
- Balong, S., Isa, I., & Iyabu, H. (2016). Karakterisasi Biobriket dari Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Entropi Inovasi Penelitian, Pendidikan Dan Pembelajaran Sains*, 11(2), 1-6.
- Maulana, W. (2022). Kaji Komparasi Pembangkit Energi Listrik Memanfaatkan Penyerapan Panas Aspal Jalan Menggunakan Teknologi Termoelektrik Generator (TEG) Dengan Pelat Penyerap Logam Dengan Kedalaman Berbeda. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 21(2), 59-65.
- Nuria, F. I., Anwar, M., & Purwaningsih, D. Y. (2020). *Pembuatan Karbon Aktif dari Eceng Gondok*.
- Nyamunda, B. C., Chivhanga, T., Guyo, U., & Chigondo, F. (2019). Removal of Zn (II) and Cu (II) Ions from Industrial Wastewaters Using Magnetic Biochar Derived from Water Hyacinth. *Journal of Engineering (United Kingdom)*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/5656983>
- Pangestu, P. C., Suryanti, & Soedarsono, P. (2014). <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/maquares>. *Konsentrasi Bahan Organik Pada Proses Pembusukan Akar, Batang Dan Daun Eceng Gondok*, 3, 44-50.
- Rizaldi, R., & Edahwati, L. (2022). Analisa Termoelektrik Generator Dan Motor DC + Kipas Dengan Perbedaan Alas Konduktor Dari Sumber Energi Panas. *Jurnal Flywheel*, 13(2), 14-22. <https://doi.org/10.36040/flywheel.v13i2.5853>
- Rofienda, Widiyanto, T., Tri, S. N., Sumringkat, & Wuryanto. (2022). *Pemanfaatan Energi Panas Dari Tungku Pembakaran dengan Bahan Bakar Bagas*.
- Stepanus, N. Y. K. (2020). *Na,stonalili*.
- Tambunan, B. H., Simanjuntak, J. P., & Koto, I. (2022). The use of thermo electric generator to utilize the waste heat from the biomass stove into electricity. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012045>
- Wirawan, P., Fatriani, F., & Arryati, H. (2021). Karakteristik Briket Arang Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dan Kayu Ulin (*Eusideroxylon zwageri*). *Jurnal Sylva Scientiae*, 4(4), 719. <https://doi.org/10.20527/jss.v4i4.3950>