

Pemanfaatan Termoelektrik Generator (TEG) untuk Konversi Panas Atap Seng Menjadi Energi Listrik

Utilization of Thermoelectric Generators (TEG) to Convert Zinc Roof Heat into Electrical Energy

Dintje Pahrudin¹, Asri Arbie^{1*}, Dewa Gede Eka Setiawan¹, Muhammad Yunus¹, Septiana Kurniasari¹, Irsan¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia 96119

Email: dintjepahrudin19@gmail.com; asri_arbie@ung.ac.id; dewaeka@ung.ac.id; muhammad.yunus@ung.ac.id; septiana@ung.ac.id; irsan@ung.ac.id

Abstrak – Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat akibat pertumbuhan teknologi menuntut pemanfaatan sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Salah satu sumber energi yang potensial adalah energi matahari, yang dapat dikonversi menjadi listrik melalui Thermoelectric Generator (TEG). Penelitian ini bertujuan untuk merancang konfigurasi TEG yang optimal dalam mengkonversi panas atap seng menjadi listrik serta menganalisis pengaruh variasi bentuk atap seng terhadap daya listrik yang dihasilkan. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi bentuk atap seng diantaranya pelat, gelombang, dan kotak, serta konfigurasi rangkaian TEG yaitu seri dan paralel. Pengukuran dilakukan terhadap suhu, tegangan, arus, dan daya listrik yang dihasilkan, baik dengan maupun tanpa superkapasitor sebagai penyimpan energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seng pelat dengan konfigurasi paralel menghasilkan daya listrik tertinggi yaitu 0,01372 W dibandingkan dengan seng kotak dan seng gelombang. Konfigurasi paralel terbukti lebih efisien dibandingkan konfigurasi seri. Selain itu, penggunaan superkapasitor juga berkontribusi dalam meningkatkan daya listrik yang dihasilkan serta memungkinkan penyimpanan energi lebih besar.

Kata kunci: Atap seng; energi terbarukan; TEG; konversi energi.

Abstract – The increasing need for electrical energy due to technological growth requires using sustainable alternative energy sources. One potential energy source is solar energy, which can be converted into electricity through a thermoelectric generator (TEG). This study aims to design an optimal TEG configuration in converting heat from zinc roofs into electricity and to analyze the effect of variations in the shape of zinc roofs on the electrical power generated. The method used is an experiment with variations in the type of zinc roof, e.g. plate, wave, and box, and the TEG circuit configuration, e.g series and parallel. Measurements were made on the temperature, voltage, current, and electrical power generated, both with and without supercapacitors as energy storage. The results showed that zinc plates with a parallel configuration produced the highest electrical power of 0.01372 W, compared to zinc boxes and wave zinc. The parallel configuration proved to be more efficient than the series configuration. In addition, using supercapacitors also increases the electrical power generated and allows for greater energy storage.

Keyword: Zinc roof; renewable energy; TEG; energy conversion.

Received: 17th February 2025; **Revised:** 28nd February 2025; **Accepted:** 1st March 2025

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik menjadi semakin penting dalam kehidupan sehari-hari karena pertumbuhan teknologi yang pesat mengakibatkan peningkatan yang signifikan dalam permintaan energi [1]. Berdasarkan laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) bahwa konsumsi listrik per kapita di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 1,09 kWh, mengalami peningkatan sebesar 0,3 kWh

dibandingkan tahun 2018 [2]. Di provinsi Gorontalo, total distribusi listrik pada tahun 2020 mencapai 601,58 GWh [3]. Sumber energi yang dimanfaatkan saat ini, tidak semuanya bersifat dapat diperbaharui. Secara bertahap sumber energi ini akan habis terpakai, salah satu contohnya adalah energi konvensional yang berasal dari bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Energi ini memiliki ketersediaan yang terbatas, proses konversinya yang menghasilkan emisi gas rumah kaca, serta ketergantungannya pada infrastruktur yang kompleks dan mahal [4].

Pengembangan energi terbarukan di Indonesia dengan tujuan menggantikan energi konvensional menunjukkan peningkatan dalam pengembangan berbagai jenis energi alternatif. Namun, implementasinya membutuhkan investasi yang signifikan, sehingga tidak semua orang mampu membangun pembangkit listrik sendiri. Karena itu, terdapat berbagai inovasi kreatif yang dikembangkan untuk mengoptimalkan sumber-sumber energi yang dapat diubah atau dikonversi menjadi energi listrik [5].

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi. Melalui penggunaan termoelektrik generator, suhu panas yang diperoleh dari energi matahari dapat diubah menjadi energi listrik. Pendekatan ini bertujuan untuk mendapatkan sumber energi yang terbarukan dan ramah lingkungan [6].

Thermoelectric Generator (TEG) adalah perangkat yang mengubah energi panas menjadi energi listrik [7]. Teknologi TEG memiliki keunggulan karena dapat beroperasi dalam jangka panjang, tanpa suara, dan tanpa memerlukan komponen mekanis [8]. Dalam beberapa tahun terakhir, sistem TEG telah menarik perhatian besar dalam pemanfaatan panas buangan karena keunggulannya yang tak tertandingi [9]. Salah satu contohnya yaitu pemanfaatan panas buangan pada atap seng dengan menggunakan TEG yang dapat menghasilkan listrik dalam skala besar maupun kecil.

Atap adalah salah satu komponen yang sangat penting dalam sebuah bangunan. Atap memegang peranan yang sangat penting dalam keberhasilan suatu bangunan sebagai tempat perlindungan atau peneduh. Dalam konteks termal, telah dihitung secara sistematis bahwa sekitar 2/3 dari panas yang terjadi di dalam bangunan dapat tertransmisi melalui atap [10].

Penggunaan atap seng di Indonesia cukup umum, terutama pada bangunan sederhana dan rumah di daerah pedesaan. Data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2023 menunjukkan 47,18% rumah tangga menggunakan atap berbahan seng atau asbes [11]. Panas matahari yang diterima oleh atap seng akan disalurkan ke ruangan di bawahnya. Hal ini dapat memungkinkan untuk memanfaatkan energi panas dari atap seng untuk menghasilkan daya listrik yang dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga. Penelitian ini bertujuan untuk merancang konfigurasi TEG yang optimal dalam mengonversi panas atap seng menjadi listrik. Dengan menggunakan variasi bentuk atap seng, diharapkan dapat diketahui pengaruhnya terhadap keluaran listrik yang dihasilkan, sehingga dapat memberikan solusi inovatif dalam pemanfaatan energi terbarukan yang lebih efektif dan efisien.

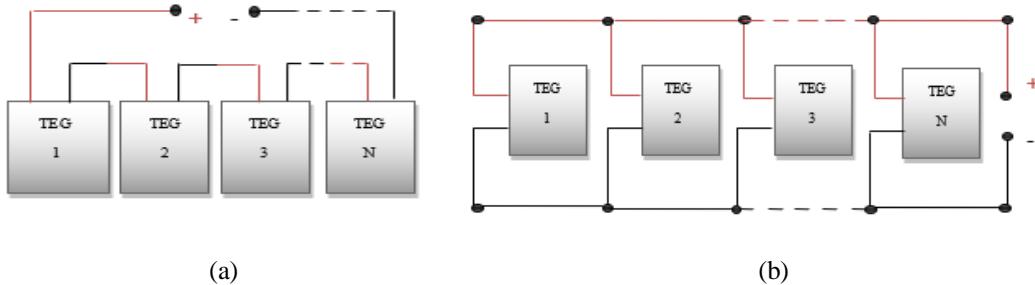
2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli hingga September 2024 di lingkungan Kampus 4 Universitas Negeri Gorontalo, Desa Moutong, Kecamatan Tilongkabila, Kabupaten Bone Bolango, Gorontalo. Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah TEG tipe SP-1848-27145 sebagai konverter energi panas menjadi listrik, multimeter digital DTg205A untuk mengukur tegangan dan arus, serta termometer digital GM-320 untuk mengukur suhu pada konfigurasi TEG. Selain itu, peralatan pendukung lainnya meliputi *stopwatch* untuk pencatatan waktu, superkapasitor sebagai penyimpan muatan listrik, *heat sink* sebagai penyerap panas, serta berbagai bentuk seng yaitu kotak, gelombang, dan pelat sebagai penghantar panas. Diagram alir penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Penelitian ini diawali dengan perancangan desain alat yang bertujuan untuk menyusun berbagai komponen agar dapat bekerja sesuai harapan. Setelah itu, dilakukan perancangan konfigurasi TEG yang terdiri dari dua susunan, yaitu seri dan parallel, seperti tampak pada Gambar 2. Konfigurasi seri menghubungkan modul TEG secara berurutan untuk meningkatkan tegangan total, sedangkan konfigurasi paralel mempertahankan tegangan konstan dengan membagi arus antar modul sesuai dengan resistansinya. Setiap konfigurasi menggunakan 48 keping TEG yang diletakkan pada 4 *heat sink* dengan distribusi 12 keping per *heat sink*. Setelah perancangan selesai, dilakukan pengujian alat guna memastikan kesesuaian rancangan dengan prosedur penelitian.



Gambar 2. Rangkaian (a) seri dan (b) paralel.

Pengambilan data dilakukan dengan mengukur suhu atap seng sebagai sisi panas dan suhu *heat sink/penyerap panas* sebagai sisi dingin. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan diukur serta dicatat, lalu daya listrik dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$P = V \times I \quad (1)$$

Dengan P adalah daya dalam satuan W, V adalah tegangan dalam satuan V dan I adalah arus dalam satuan A [12].

Pola hubungan regresi antara waktu dengan arus yang mengalir, akan menghasilkan persamaan yang digunakan untuk menghitung besar muatan yang tersimpan dalam superkapasitor dengan menggunakan analisis regresi. Besar muatan yang tersimpan pada superkapasitor dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2).

$$q = \int dq = \int_0^t idt \quad (2)$$

Dengan i adalah kuat arus listrik dalam satuan A, dq adalah muatan listrik dalam satuan mAh, dan dt adalah waktu dalam satuan s [13].

3. Hasil Dan Pembahasan

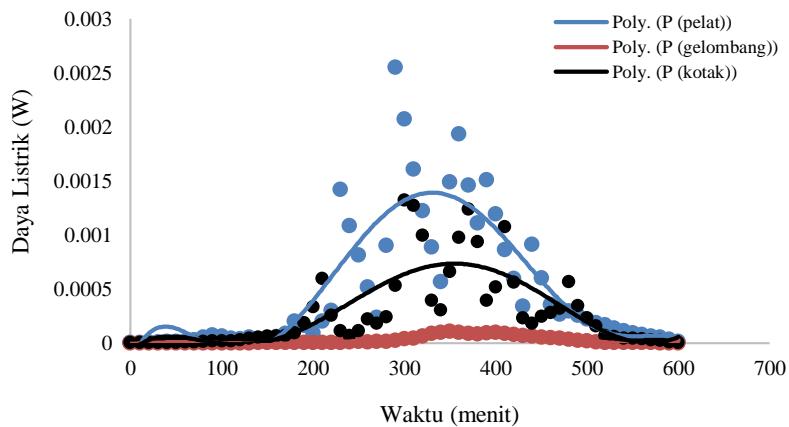
Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah perbedaan suhu antara kedua sisi termoelektrik (ΔT). Dengan adanya beda suhu tersebut, maka didapatkan keluaran berupa arus listrik (I) dan tegangan listrik (V), sehingga diperoleh daya listrik yang merupakan hasil kali antara arus dan tegangan, seperti pada Persamaan (1) [12].

3.1 Hasil daya listrik tanpa superkapasitor

Berdasarkan hasil penelitian, hasil keluaran daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi seri maupun paralel, yang diperoleh tanpa menggunakan superkapasitor ditunjukkan oleh Gambar 3 dan 4.

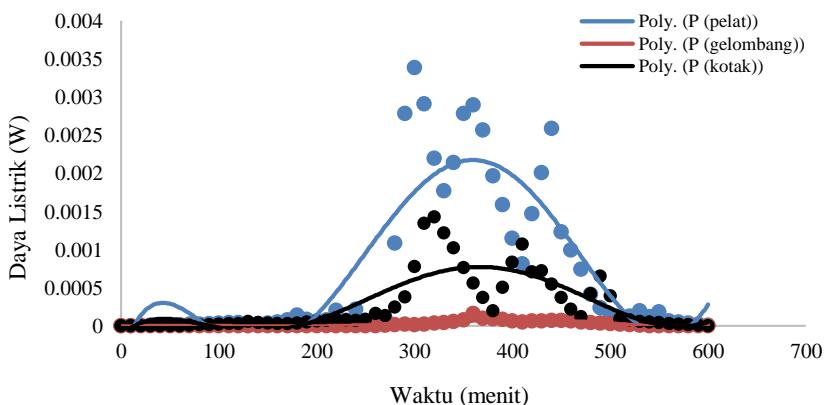
Gambar 3 memperlihatkan perbandingan daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi seri. Besarnya daya listrik yang dihasilkan bergantung pada tegangan dan arus yang bekerja dalam sistem. Terlihat bahwa daya listrik mengalami perubahan sepanjang waktu. Perbedaan ini menunjukkan bahwa variasi bentuk seng mempengaruhi distribusi arus dan tegangan, yang pada akhirnya berdampak pada jumlah daya listrik yang dihasilkan. Berdasarkan grafik, seng pelat memiliki daya listrik tertinggi sebesar 0,002548 W pada menit ke-290, diikuti oleh seng kotak dengan daya tertinggi 0,001323

W pada menit ke-300. Sementara itu, seng gelombang menghasilkan daya tertinggi paling kecil, yaitu 0,0001071 W pada menit ke-350.



Gambar 3. Perbandingan daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi seri.

Gambar 4 memperlihatkan perbandingan daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi paralel. Besarnya daya listrik yang dihasilkan bergantung pada tegangan dan arus yang bekerja dalam sistem. Terlihat bahwa daya listrik mengalami perubahan sepanjang waktu. Perbedaan ini menunjukkan bahwa variasi bentuk seng memengaruhi distribusi arus dan tegangan, yang berdampak pada jumlah daya listrik yang dihasilkan. Berdasarkan Gambar 4, nilai daya listrik tertinggi pada seng pelat tercatat pada menit ke-300 dengan nilai 0,0033865 W, diikuti oleh seng kotak pada menit ke-320 dengan nilai 0,001431 W, dan seng gelombang pada menit ke-360 dengan nilai 0,0001635 W. Perbandingan hasil daya listrik tanpa menggunakan superkapasitor dari setiap seng dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 4. Perbandingan daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi paralel.

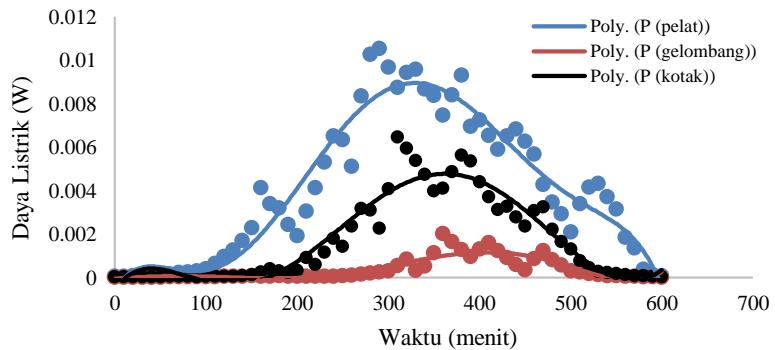
Tabel 1. Hasil daya listrik tanpa superkapasitor.

Bentuk Seng	Konfigurasi	Waktu (menit)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
Pelat	Seri	290	0,04	0,0637	0,002548
	Paralel	300	0,065	0,0521	0,0033865
Gelombang	Seri	350	0,009	0,0119	0,0001071
	Paralel	360	0,015	0,0109	0,0001635
Kotak	Seri	300	0,03	0,0441	0,001323
	Paralel	320	0,045	0,0318	0,001431

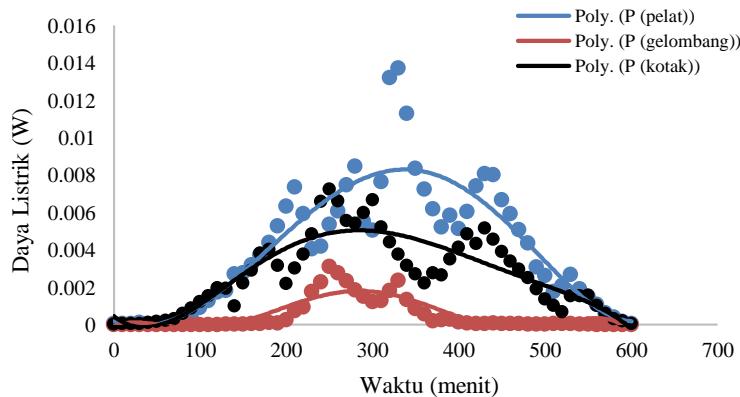
Tabel 1 menunjukkan bahwa konfigurasi paralel menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi seri pada setiap bentuk seng. Dari ketiga bentuk seng yang digunakan, seng pelat dengan konfigurasi paralel memiliki daya tertinggi, yaitu 0,0033865 W. Hal ini disebabkan oleh permukaan seng pelat yang rata, yang meningkatkan efisiensi transfer panas [14]. Dengan efisiensi transfer panas yang lebih tinggi, seng pelat mampu mengkonversi lebih banyak energi panas menjadi listrik dibandingkan dengan seng gelombang maupun seng kotak. Selain itu, pada sistem tanpa superkapasitor, nilai keluaran rangkaian diperoleh langsung dari terminal TEG, sehingga daya listrik yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan sistem yang menggunakan superkapasitor. Jika tidak ada superkapasitor (atau penyimpan energi lain), sistem hanya mengandalkan sumber daya langsung. Ini berarti tidak ada energi yang bisa dilepaskan secara instan saat dibutuhkan, sehingga daya *output* bergantung sepenuhnya pada kemampuan sumber daya utama [15]. Superkapasitor memungkinkan daya yang lebih besar untuk dilepaskan dalam waktu singkat dibandingkan tanpa penyimpanan sama sekali. Tanpa penyimpanan, sistem mungkin tidak bisa menyediakan lonjakan daya yang dibutuhkan dalam waktu singkat.

3.2 Hasil daya listrik menggunakan superkapasitor

Berdasarkan hasil penelitian, hasil keluaran daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi seri maupun paralel yang diperoleh menggunakan superkapasitor ditunjukkan oleh Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Perbandingan daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi seri.



Gambar 6. Perbandingan daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi paralel.

Gambar 5 memperlihatkan perbandingan daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi seri. Besarnya daya listrik yang dihasilkan bergantung pada tegangan dan arus yang bekerja dalam sistem. Terlihat bahwa daya listrik mengalami perubahan sepanjang waktu. Perbedaan ini menunjukkan bahwa variasi bentuk seng memengaruhi distribusi arus dan tegangan, yang pada akhirnya berdampak pada jumlah daya listrik yang dihasilkan. Berdasarkan grafik, nilai daya listrik tertinggi seng

pelat terdapat pada menit ke-290 dengan nilai 0,010548 W, diikuti oleh seng kotak pada menit ke-310 dengan nilai 0,006468 W, dan seng gelombang pada menit ke-360 dengan nilai 0,0020055 W.

Gambar 6 memperlihatkan perbandingan daya listrik pada seng pelat, seng gelombang, dan seng kotak untuk konfigurasi paralel. Besarnya daya listrik yang dihasilkan bergantung pada tegangan dan arus yang bekerja dalam sistem. Terlihat bahwa daya listrik mengalami perubahan sepanjang waktu. Perbedaan ini menunjukkan bahwa variasi bentuk seng memengaruhi distribusi arus dan tegangan, yang pada akhirnya berdampak pada jumlah daya listrik yang dihasilkan. Berdasarkan grafik, terlihat nilai daya listrik tertinggi seng pelat terdapat pada menit ke-330 dengan nilai 0,01372 W, diikuti oleh seng kotak pada menit ke-250 dengan nilai 0,007245 W, dan seng gelombang pada menit ke-250 dengan nilai 0,003114 W. Perbandingan hasil daya listrik menggunakan superkapasitor dari setiap bentuk seng dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil daya listrik menggunakan superkapasitor.

Bentuk Seng	Konfigurasi	Waktu (menit)	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (W)
Pelat	Seri	290	0,09	0,1172	0,010548
	Paralel	330	0,1	0,1372	0,01372
Gelombang	Seri	360	0,035	0,0573	0,0020055
	Paralel	250	0,06	0,0519	0,003114
Kotak	Seri	310	0,07	0,0924	0,006468
	Paralel	250	0,09	0,0805	0,007245

Tabel 2 menunjukkan bahwa konfigurasi paralel menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan konfigurasi seri pada setiap bentuk seng. Dari ketiga bentuk seng yang digunakan, seng pelat dengan konfigurasi paralel memiliki daya tertinggi, yaitu sebesar 0,01372 W, dibandingkan dengan seng gelombang maupun seng kotak. Pada konfigurasi seri, tegangan dari setiap cabang rangkaian TEG dijumlahkan, sehingga tegangan total meningkat, sementara arus yang mengalir tetap konstan di seluruh rangkaian. Sebaliknya, pada konfigurasi paralel, arus dari setiap cabang rangkaian TEG dijumlahkan, menyebabkan arus total lebih besar meskipun tegangan tetap sama di seluruh rangkaian [16]. Dengan demikian, daya yang dihasilkan oleh konfigurasi paralel lebih besar dibandingkan konfigurasi seri, karena arus total yang lebih tinggi menghasilkan output daya yang lebih signifikan. Selain itu, penggunaan superkapasitor juga berkontribusi dalam meningkatkan daya listrik yang dihasilkan [17].

3.3 Hasil muatan listrik yang tersimpan dalam superkapasitor

Muatan listrik didapatkan dari model regresi arus listrik terhadap waktu pada saat pengisian superkapasitor menggunakan Persamaan (2). Besar muatan listrik yang didapatkan diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Besar muatan listrik yang tersimpan dalam superkapasitor.

Konfigurasi	Waktu (menit)	Muatan yang tersimpan (mAh)		
		seng pelat	seng gelombang	seng kotak
Seri	0	0	0	0
	10	0,592023	0,008325	0,106462
	20	1,578615	0,1009	0,716124
	30	2,8037	0,288912	1,61595
	40	4,158895	0,577929	2,637752
	50	5,573434	0,969836	3,651152
Paralel	0	0	0	0
	10	1,733483	0,373018	1,318372
	20	3,005414	1,042808	2,863542
	30	4,165348	1,810281	4,78855
	40	5,497559	2,54701	7,203582
	50	7,227582	3,18235	10,17901

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan *thermoelectric generator* (TEG) pada atap seng dapat menjadi solusi energi terbarukan. Bentuk seng dan konfigurasi rangkaian TEG berpengaruh signifikan terhadap daya listrik yang dihasilkan. Seng pelat menghasilkan daya listrik tertinggi dibandingkan dengan seng kotak dan seng gelombang. Konfigurasi paralel menghasilkan daya listrik dan muatan listrik yang lebih besar dibandingkan konfigurasi seri. Penggunaan superkapasitor juga terbukti meningkatkan daya listrik yang dihasilkan dan memungkinkan penyimpanan energi lebih besar. Dalam konfigurasi terbaik, seng pelat dengan superkapasitor dalam konfigurasi parallel, daya yang dihasilkan mencapai 0,01372 W. Hasil penelitian ini memberikan wawasan baru dalam pemanfaatan panas atap seng sebagai sumber energi listrik yang ramah lingkungan dan berpotensi untuk diimplementasikan dalam skala rumah tangga maupun industri. Namun, daya yang dihasilkan masih rendah untuk aplikasi praktis, sehingga diperlukan pengembangan teknologi lebih lanjut.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada seluruh tim di Laboratorium Fisika Fakultas MIPA UNG atas bantuannya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Pustaka

- [1] N. C. Sembiring, B. Purba, C. O. Malau, H. Sinaga, and A. Sibarani, “Evaluasi Penggunaan Energi Listrik Mahasiswa Unimed terhadap Efisiensi dan Kesadaran Energi di Lingkungan Sehari Hari,” *Innov. J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, no. 5, pp. 8570–8581, 2024.
- [2] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, *Statistik Ketenagalistrikan 2020*. 2021.
- [3] BPS, *Statistik Indonesia 2022*. 2022.
- [4] D. M. F. Berlianto and R. S. Wijaya, “Pengaruh transisi konsumsi energi fosil menuju energi baru terbarukan terhadap produk domestik bruto di Indonesia,” *e-Jurnal Perspekt. Ekon. dan Pembang. Drh.*, vol. 11, no. 2, pp. 105–112, 2022, doi: 10.22437/pdpt.v11i2.17944.
- [5] A. E. Putra, Rifky, and A. Fikri, “Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan,” *Semin. Nas. TEKNOKA*, vol. 3, no. 3, pp. 38–43, 2018, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2911.
- [6] M. A. Pradana and M. Widayartono, “Prototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Aluminium, Kuningan dan Seng,” *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, pp. 251–258, 2020, [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/30775>.
- [7] S. A. Sasmita, M. T. Ramadhan, M. I. Kamal, and Y. Dewanto, “Alternatif Pembangkit Energi Listrik Menggunakan Prinsip Termoelektrik Generator,” *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 21, no. 1, pp. 57–61, 2019, doi: 10.24912/tesla.v21i1.3249.
- [8] S. L. Y. Win, Y.-C. Chiang, T.-L. Huang, and C.-M. Lai, “Thermoelectric Generator Applications in Buildings: A Review,” *Sustainability*, vol. 16, no. 17, pp. 1–25, 2024, doi: 10.3390/su16177585.
- [9] H. Jouhara *et al.*, “Thermoelectric Generator (TEG) Technologies and Applications,” *Int. J. Thermofluids*, vol. 9, no. 100063, pp. 1–18, 2021, doi: 10.1016/j.ijft.2021.100063.
- [10] Fatimah, Juanda, and I. Santoso, “Jenis Atap, Suhu dan Kelembaban dalam Rumah,” *J. Kesehat. Lingkung. J. dan Apl. Tek. Kesehat. Lingkung.*, vol. 16, no. 1, pp. 727–732, 2019, doi: 10.31964/jkl.v16i1.108.
- [11] D. A. dan P. Statistik, *Indikator Kesejahteraan Rakyat 2024*. Badan Pusat Statistik, 2024.
- [12] Ginanjar, A. Hiendro, and D. Suryadi, “Perancangan dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik dengan Menggunakan Kompor Surya sebagai Media Pemusat Panas,” *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2019, [Online]. Available: <https://journal.mediapublikasi.id/index.php/okta/article/view/38>.
- [13] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fisika Dasar Edisi 7*. Jakarta: Erlangga, 2010.
- [14] E. Selparia, M. Ginting, and R. Syech, “Pembuatan dan Pengujian Alat untuk Menentukan Konduktivitas Plat Seng, Multiroof dan Asbes,” *JOM J. Online Mhs. FMIPA*, vol. 2, no. 1, pp. 191–197, 2015.
- [15] O. N. Fauzi, “Studi Penggunaan Superkapasitor Sebagai Penyimpan Energi Pada Pembangkit Listrik

- Tenaga Angin,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [16] M. Erfan, M. A. Maulyda, I. Ermiana, V. Rachmatul, Hidayati, and T. Ratu, “Profil Kemampuan Pembedaan Rangkaian Seri dan Paralel Calon Guru Sekolah Dasar,” *EduSains J. Pendidik. Sains Mat.*, vol. 8, no. 1, pp. 13–21, 2020, doi: 10.23971/eds.v8i1.1907.
- [17] A. Riyanto, “Superkapasitor Sebagai Piranti Penyimpan Energi Listrik Masa Depan,” *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 3, no. 2, pp. 56–63, 2014, doi: 10.24042/jpifalbiruni.v3i2.73.