



Karakteristik Parameter Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTsa) Menggunakan Peltier

Fatmawati Azis^{1*}, Sulistianingsih Nur Fitri², Akbar Naro Parawangsa³

^{1,2}Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Bosowa

³Program Studi Teknik Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Bosowa

*Email : fatmawati.azis@politeknikbosowa.ac.id

Abstract: This research aims to design and build a power generation system that utilizes heat from waste combustion using a Peltier thermoelectric module, test the effectiveness of converting heat energy into electricity, and analyze the effect of fuel type and cooling system on device performance. The prototype system uses 12 Peltier modules. In the initial test, the configuration of 2 modules was connected in parallel and 10 modules were connected in series using leaf fuel. Then the Peltier modules were arranged in a full series configuration. The initial test only produced a voltage of 8.1 V at a temperature difference of 80°C. This voltage is considered suboptimal, the system managed to produce a voltage of up to 30 V at a temperature difference of 104°C. This high voltage is then stabilized to 15 V using a linear regulator circuit IC 7815 assisted by a transistor and a 2N3055 capacitor, to maintain output stability before entering the solar charge controller (SCC). The SCC regulates the charging of a 12 V battery, which is then used to supply power to a 500 W inverter to power a 40 W AC lamp. The system is also equipped with an ESP32 microcontroller as a control center, as well as various sensors (current, voltage, temperature) and a 16x2 LCD to display data in real-time. This research shows that the system can efficiently generate electricity from waste incineration and has the potential to be implemented as a small-scale alternative energy solution at Politeknik Bosowa.

Keywords: thermoelectric, thermal energy, Waste Incineration, ESP32

1. PENDAHULUAN

Tantangan lingkungan hidup di Indonesia kian meningkat seiring bertambahnya jumlah sampah, terutama dari jenis plastik dan daun (Dwi Kurniawati et al., 2024). Data terbaru dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, total timbunan sampah nasional mencapai 69,7 juta ton pada tahun 2023, dengan proporsi besar sampah yang tidak terkelola secara efektif (Rafidah et al., n.d.). Akumulasi sampah yang tidak dikelola dengan baik di tempat pembuangan akhir yang dapat menyebabkan dampak lingkungan yang serius, termasuk pencemaran tanah dan air, serta peningkatan emisi gas rumah kaca yang memperparah masalah perubahan iklim (Azis et al., 2021; Fitri et al., 2022; Nur Fitri & Azis, 2021).

Krisis pengelolaan sampah telah menjadi isu krusial di Indonesia dalam dua dekade terakhir (Budianto & Ghanistyana, 2024). Pertumbuhan penduduk yang cepat, urbanisasi, dan konsumsi produk berbasis plastik serta bahan sekali pakai turut memperburuk situasi (Primanto & Puspitasari, n.d.). Sampah rumah tangga, industri kecil, maupun institusi pendidikan berkontribusi terhadap meningkatnya timbunan sampah setiap tahunnya. Tanpa adanya sistem pengelolaan yang tepat, sampah akan

terus menumpuk di tempat pembuangan akhir (TPA), yang saat ini pun kapasitasnya semakin terbatas (Kurniawan & Fuaddah, 2024). Pengelolaan sampah yang tidak tepat mengakibatkan Indonesia menghadapi darurat sampah yang berisiko tinggi terhadap pencemaran lingkungan, gangguan kesehatan, dan bencana ekologis (Winursita & Johan, 2024).

Upaya untuk mengatasi masalah sampah termasuk penerapan konsep 3R (Reduksi, Penggunaan Ulang, dan Daur Ulang) dan konsep 4R (Reduksi, Penggunaan Ulang, dan Daur Ulang, dan Pemanfaatan kembali) (Kristianto et al., n.d.; Putranto, n.d.). Salah satu metode inovatif dalam pengelolaan sampah adalah pemanfaatan teknologi termoelektrik untuk mengubah sampah menjadi sumber energi listrik (Fadhilah Jayaningsih et al., 2025; Nurosyidin et al., 2025). Penggunaan teknologi ini, panas yang dihasilkan dari proses pembakaran sampah dapat dikonversi menjadi listrik melalui pemanfaatan perbedaan suhu pada material semikonduktor (Rimbawati et al., 2022).

Penelitian berkelanjutan untuk menyediakan solusi inovatif dalam pengelolaan sampah plastik, kayu, dan daun yang selama ini masih menjadi permasalahan lingkungan (Mawardi et al., 2025), terutama di lingkungan kampus dan sekitarnya. Penelitian ini berupaya mengonversi limbah menjadi energi listrik yang memiliki nilai guna, berdasarkan prinsip kerja teknologi termoelektrik. Penelitian ini tidak hanya berfokus pada pengurangan volume sampah, tetapi juga pada pemanfaatan energi alternatif yang berkelanjutan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap upaya menciptakan sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien dan terintegrasi di lingkungan Politeknik Bosowa. Sebagai Lembaga Pendidikan dan penelitian, kampus memiliki tanggung jawab strategis dalam menunjukkan penerapan langsung teknologi yang berwawasan lingkungan.

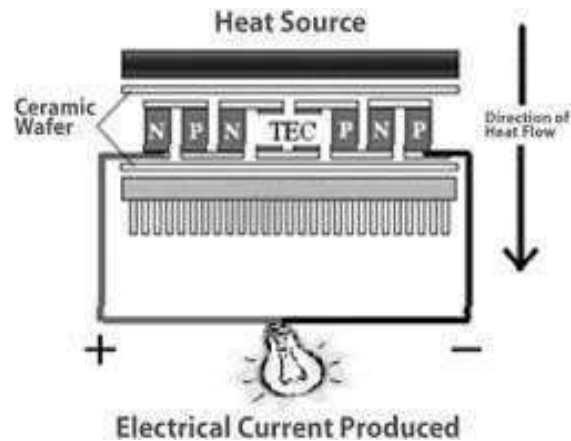
Penelitian Karakteristik Parameter Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Menggunakan Peltier diharapkan dapat menjadi pelopor dalam penerapan konsep *green campus* yang tidak hanya mengedepankan kebersihan lingkungan, tetapi juga pemanfaatan energi terbarukan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini menggunakan studi literatur dan eksperimental dengan melalui tahap-tahap penelitian yaitu: melakukan kajian teori melalui penelitian sebelumnya, kemudian merumuskan tahapan penelitian sesuai dengan diagram alir penelitian. Kajian teori dibahas pada **Kajian Teori**, kemudian untuk diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Diagram Penelitian** dimana terdiri dari diagram blok penelitian **Gambar 2**, diagram pengawatan **Gambar 3**, dan diagram penelitian alir **Gambar 4**. Pelaksanaan penelitian ini di lakukan di Kampus Politeknik Bosowa. Waktu penelitiannya dilaksanakan dari Maret sampai November tahun 2025.

Kajian Teori

Perangkat termoelektrik memiliki kemampuan untuk mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung *thermoelectric generator* (TEG), begitupun sebaliknya listrik menghasilkan dingin *thermoelectric cooler* (TEC). Selain itu termoelektrik juga dapat memanfaatkan energi listrik untuk memompa kalor. Prinsip kerjanya melibatkan pemindahan panas ke satu sisi perangkat dan penolakan panas dari sisi lainnya. Arus listrik yang dihasilkan berbanding lurus dengan perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Perbedaan suhu ini memicu arus searah yang mengalir ke beban, sehingga menghasilkan tegangan dan arus pada terminal.



Gambar 1. Struktur Pembangkit Listrik Daya Termoelektrik

Gambar 1. menunjukkan struktur pembangkit daya termoelektrik melibatkan kombinasi elemen semikonduktor tipe-n dan tipe-p yang memanfaatkan efek *seebeck* pada TEG untuk mengkonversi perbedaan suhu menjadi energi listrik. Ketika salah satu sisi TEG terpapar panas, elektron-elektron bergerak menuju sisi yang lebih dingin, sehingga menghasilkan tegangan listrik yang proporsional dengan gradien suhu. Elemen-elemen tersebut disusun dalam konfigurasi *sandwich* dengan pelat keramik, memungkinkan TEG dirancang dalam rangkaian seri untuk meningkatkan tegangan atau paralel untuk meningkatkan arus, sehingga menjadi sumber energi alternatif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan (Silaban *et al.*, 2024).

Efek seebeck (Sari *et al.*, 2024) disebut juga koefisien efek seebeck secara matematis dapat dilihat pada Persamaan 1.

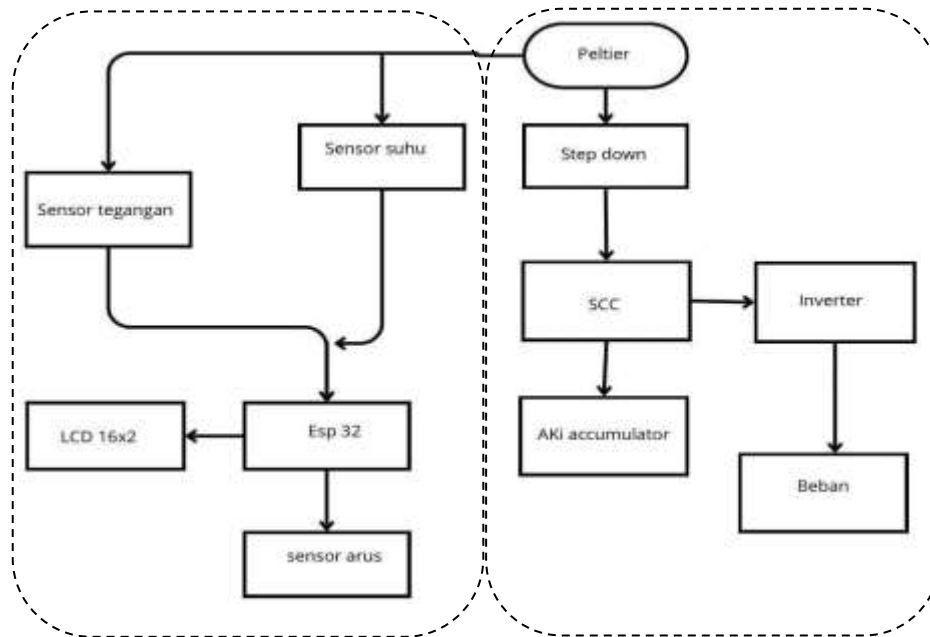
$$\alpha = \frac{E}{\Delta T}$$

α adalah koefisien seebeck, E Adalah tegangan dengan satuan volt dan ΔT Adalah temperatur dengan satuan celcius. Parameter E dapat dirumuskan pada Persamaan 2 (Rokhim *et al.*, n.d.).

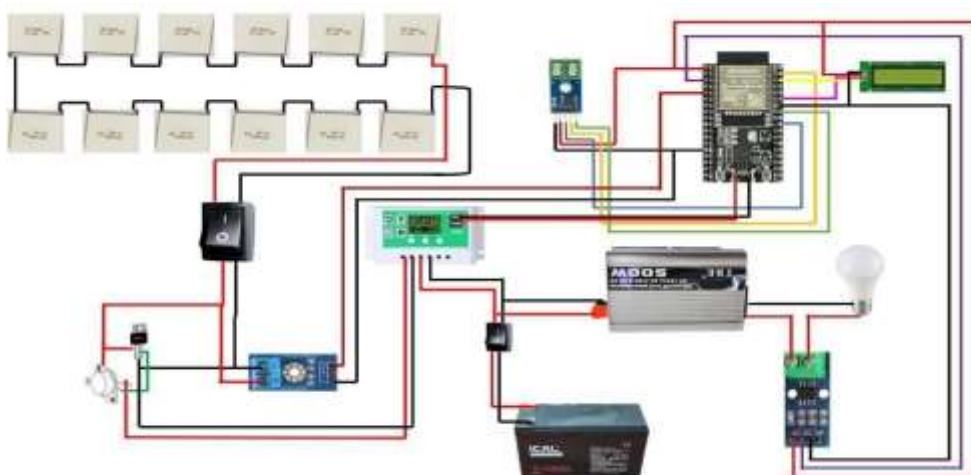
$$E = \alpha (T_1 - T_2)$$

Diagram Penelitian

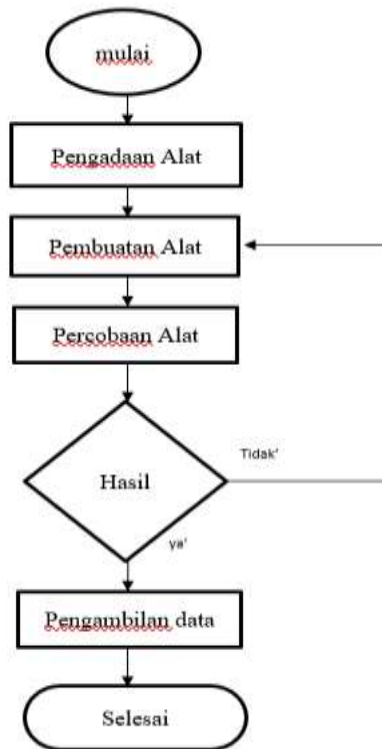
Diagram blok dan diagram pengawatan dapat dilihat pada **Gambar 2.** dan **Gambar 3.**



Gambar 2. Diagram Blok



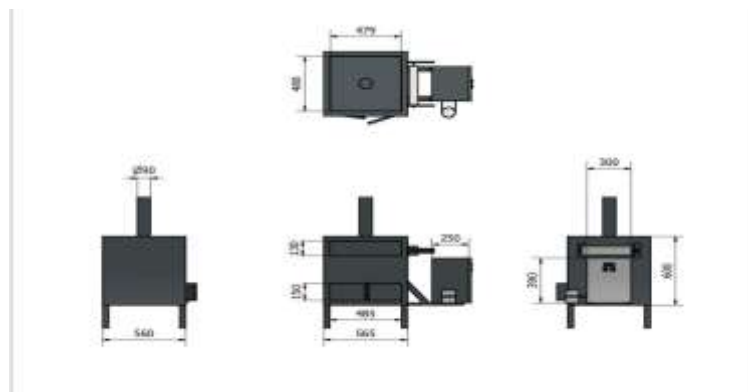
Gambar 3. Diagram pengawatan



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Diagram alir penelitian dimulai dengan pengadaan alat, kemudian pembuatan alat, pengujian alat jika berhasil dilanjutkan ke pembuatan laporan hasil, jika gagal maka Kembali ke proses pembuatan alat yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Rancangan hasil karya dapat dilihat pada **Gambar 5**. Perancangan sistem PLTSa ini dilakukan dalam skala *prototipe* untuk mengkonversi energi panas hasil pembakaran sampah menjadi energi listrik melalui modul *termoelektrik* (TEG), sistem dirancang agar portabel dan efisien.



Gambar 5. Rancangan Prototipe PLTSa

Rancangan pada **Gambar 5**. memperlihatkan sistem PLTSa. Sistemnya terdiri dari ruang pembakaran: 56,5×56× 60 cm, *Heatsink*/TEG area menonjol 29 cm dari sisi tungku,

water cooling block : 8 × 34 cm, panel : 30 × 25 × 39 cm dan tangki air: 18 cm × 2 cm (silinder).

Prototipe PLTSa secara real dapat dilihat pada **Gambar 6.** ini memanfaatkan panas hasil pembakaran limbah padat seperti kayu, plastik, dan daun kering, di dalam tungku pembakaran untuk menghasilkan energi listrik melalui modul TEG. Sistem terdiri dari beberapa bagian: tungku pembakaran utama berbahan plat galvanis, unit *termoelektrik* dengan sistem *heatsink* pasif di sisi panas, sistem pendingin sisi dingin menggunakan *water cooling block* yang dialiri air oleh pompa DC, unit kontrol dan *monitoring* sensor suhu, tegangan, dan arus membaca performa sistem secara *real-time*, tangki air pendingin eksternal.



Gambar 6. Hasil pembuatan prototipe PLTSa

Rangkaian sistem PLTSa selesai dirakit dan diuji fungsinya, tahap selanjutnya adalah melakukan pengumpulan serta pengolahan data dari hasil pembakaran berbagai jenis bahan bakar, yaitu kayu, plastik, dan daun. Masing-masing bahan bakar digunakan sebanyak 10 kg. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana kemampuan masing-masing bahan bakar dalam menghasilkan perbedaan suhu (ΔT) yang dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui Peltier. Pada sistem ini, digunakan sebanyak 12 buah modul Peltier yang dihubungkan secara seri untuk meningkatkan total tegangan listrik yang dihasilkan.

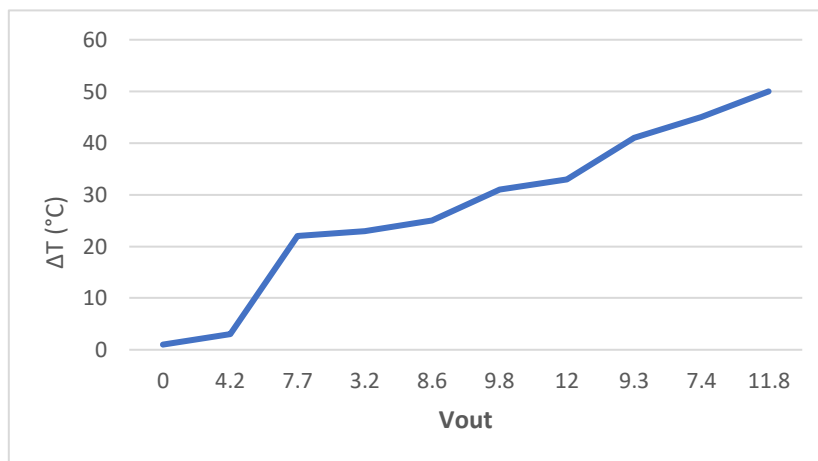
Pengujian alat dilakukan secara terpisah untuk setiap jenis bahan bakar, dengan durasi waktu yang telah ditetapkan, yaitu 10 menit untuk kayu dan plastik, serta 5 menit untuk daun, karena daun lebih cepat terbakar. Selama proses pembakaran, dicatat beberapa parameter penting, yaitu suhu sisi panas (T_{panas}), suhu sisi dingin (T_{dingin}), selisih suhu antara keduanya (ΔT), tegangan *output* dari rangkaian TEG, serta tegangan yang masuk ke aki sebagai penerima daya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data ini bertujuan untuk mengetahui secara langsung hubungan antara selisih suhu pada modul termoelektrik dengan tegangan listrik yang dihasilkan.

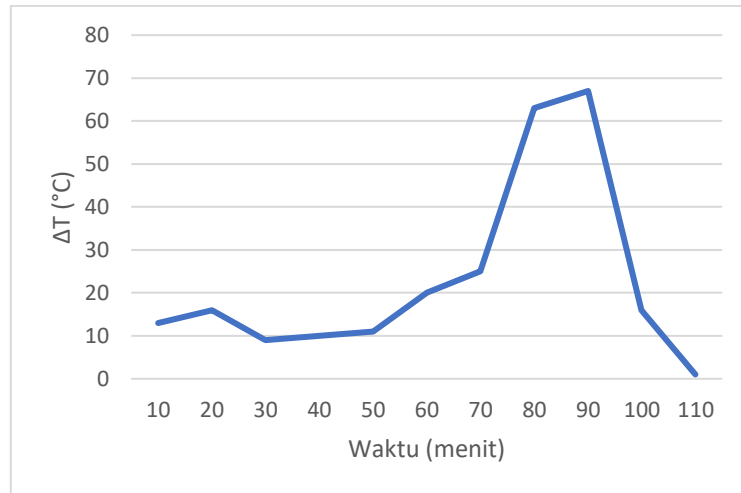
Tabel 1. Hasil Pengujian Menggunakan Bahan Bakar Daun

No	Waktu (menit)	Suhu Panas (°C)	ΔT (°C)	Tegangan (V)	Aki (V)
1	5	60°	25	8,6	10,7
2	10	74°	33	12	10,8
3	15	43°	3	4,2	10,9
4	20	88°	50	11,8	11,5
5	25	71°	31	9,8	10,8
6	30	63°	22	7,7	10,8 V
7	35	82°	41	9,3	10,8 V
8	40	79°	45	7,4	10,8 V
9	45	52°	23	3,2	10,8 V
10	50	31°	1	0	10,8 V



Gambar 7. karakteristik ΔT (°C) terhadap Vout

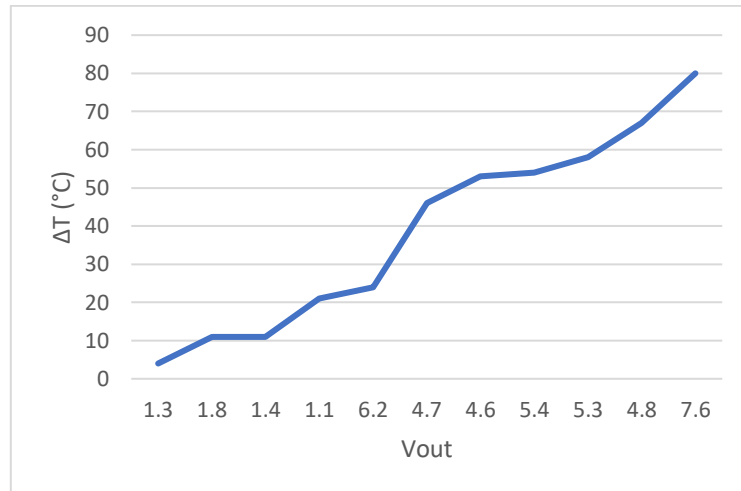
Hasil pengujian PLTSa menggunakan bahan bakar daun dapat dilihat pada **Tabel 1**. Karakteristik ΔT (°C) berbanding lurus terhadap Vout yang terlihat pada **Gambar 7**. Karakteristik ΔT (°C) terhadap Vout dapat dilihat pada **Gambar 8**., Dimana perubahan suhu ΔT (°C) semakin tinggi berbanding lurus dengan tegangan output. Karakteristik ΔT (°C) terhadap waktu (menit). Perubahan suhu ΔT (°C) terhadap waktu (menit) mengalami peningkatan hingga titik maksimal saat pembakaran terjadi hingga 90 menit, kemudian suhu menurun drastis saat 91 menit keatas.



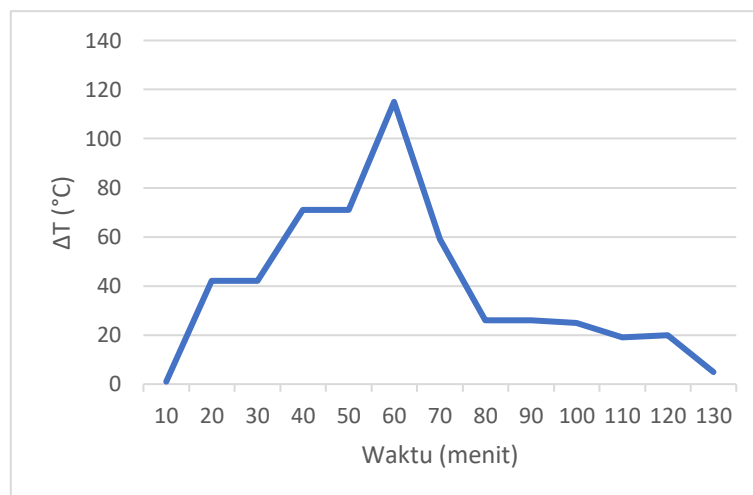
Gambar 8. Karakteristik ΔT ($^{\circ}\text{C}$) terhadap Waktu (menit)

Tabel 2. Bahan Bakar Kayu

No	Waktu (menit)	Suhu Panas ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu Dingin ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	Tegangan (V)
1	10	32	28	4	1,3
2	20	60	36	24	6,2
3	30	118	38	80	7,6
4	40	88	34	54	5,4
5	50	107	40	67	4,8
6	60	90	37	53	4,6
7	70	100	42	58	5,3
8	80	78	32	46	4,7
9	90	55	44	11	1,8
10	100	56	45	11	1,4
11	110	55	34	21	1,1



Gambar 9. Karakteristik Hubungan ΔT (°C) dan Vout untuk Bahan Bakar Kayu



Gambar 10. Karakteristik Hubungan ΔT (°C) terhadap Waktu (menit) pada Bahan Bakar Kayu

Gambar 9. Memperlihatkan karakteristik hubungan ΔT (°C) untuk bahan bakar kayu berbanding lurus terhadap Vout, Dimana semakin tinggi ΔT (°C) maka semakin tinggi nilai Vout. **Gambar 10.** menunjukkan bahwa semakin besar perbedaan suhu (ΔT), tegangan listrik yang dihasilkan oleh modul Peltier dari pembakaran kayu tanpa beban cenderung meningkat. Tegangan (Vout) tertinggi sebesar 30,7 V dicapai pada ΔT 77°C, sementara ΔT rendah hanya menghasilkan tegangan sangat kecil. Beberapa ketidakrataan kemungkinan disebabkan oleh distribusi panas yang tidak merata atau pendinginan yang kurang optimal. Secara keseluruhan, kayu terbukti efektif sebagai sumber panas untuk sistem termoelektrik jika ΔT dijaga tinggi dan stabil.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan Karakteristik AT (°C) berbanding lurus terhadap Vout untuk bahan bakar daun. Karakteristik ΔT (°C) terhadap Vout untuk bahan bakar daun,

dimana perubahan suhu ΔT ($^{\circ}\text{C}$) semakin tinggi berbanding lurus dengan tegangan output. Karakteristik ΔT ($^{\circ}\text{C}$) terhadap waktu (menit). Perubahan suhu ΔT ($^{\circ}\text{C}$) terhadap waktu (menit) mengalami peningkatan hingga titik maksimal saat pembakaran terjadi hingga 90 menit, kemudian suhu menurun drastis saat 91 menit keatas.

Karakteristik hubungan ΔT ($^{\circ}\text{C}$) untuk bahan bakar kayu berbanding lurus terhadap V_{out} , Dimana semakin tinggi ΔT ($^{\circ}\text{C}$) maka semakin tinggi nilai V_{out} . Karakteristik perbedaan suhu (ΔT), tegangan listrik yang dihasilkan oleh modul Peltier dari pembakaran kayu tanpa beban cenderung meningkat. Tegangan (V_{out}) tertinggi sebesar 30,7 V dicapai pada ΔT 77°C , sementara ΔT rendah hanya menghasilkan tegangan sangat kecil

REFERENSI

- Azis, F., Bosowa Jalan Kapasa Raya No, P., & Makassar, K. (2021). Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Untuk Sumber Pencahayaan Pada Perahu Nelayan. *Journal Of Electrical Engginering (Joule)*, 1(2).
- Budianto, R. O., & Ghanistyana, L. P. (2024). Peran Komunikasi Politik dalam Kampanye Isu Lingkungan: Studi Kasus pada Kebijakan Pengelolaan Sampah di Indonesia. *Jurnal Bisnis Dan Komunikasi Digital*, 2(1), 11. <https://doi.org/10.47134/jbk.d.v2i1.3219>
- Dwi Kurniawati, Fachriyatul Kholidah, Ratu Girindra Marhaeni Negarawati, Velistya Devina Febriyanti, & Denny Oktavina Radianto. (2024). Pengelolaan Limbah Sampah Rumah Tangga Sebagai Upaya Pelestarian Lingkungan Hidup. *JURNAL WILAYAH, KOTA DAN LINGKUNGAN BERKELANJUTAN*, 3(1), 72–83. <https://doi.org/10.58169/jwikal.v3i1.367>
- Fadhilah Jayaningsih, Y., Rizka Fatimah, N., Fitriani Ahmad, E., Studi Keselamatan dan Kesehatan Kerja, P., Ketenagakerjaan, P., & Timur, J. (2025). *THERMOPLAST: PERANCANGAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK DARI SAMPAH PLASTIK DENGAN PENINGKATAN KINERJA THERMOELECTRIC GENERATOR* (Vol. 2, Issue 1).
- Fitri, S. N., Azis, F., An, H., & Muhammad, N. (2022). *Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Dengan Generator BLDC Sebagai Sistem Penerangan*. 3(2).
- Kristianto, A., Dan, P., & Rosariawari, F. (n.d.). *Volume 2 , Nomor 2 (2022) PENERAPAN KONSEP PENGELOLAAN SAMPAH RUMAH TANGGA DENGAN METODE 5R (REDUCE, REUSE, RECYCLE, REPLACE, AND REPLANT) BERBASIS MASYARAKAT DI WILAYAH KEBRAON KOTA SURABAYA*.
- Kurniawan, A., & Fuaddah, A. (2024). Memberdayakan Rumah Tangga untuk Pengelolaan Sampah Berkelanjutan: Studi Kesadaran Masyarakat di Kota Semarang. *Journal of Urban Sociology*, 1(2), 112. <https://doi.org/10.30742/jus.v1i2.3494>

- Mawardi, I., Istianah, D., & Qurnia, A. (2025). PEMANFAATAN BANK SAMPAH SEBAGAI PRODUK DAUR ULANG RAMAH LINGKUNGAN DAN BERNILAI EKONOMI DI TPS 3R JANTI. *Journal of Social Innovation and Community Service*, 02(01). <https://doi.org/10.23960/almustofa>
- Nur Fitri, S., & Azis, F. (2021). Rancang Bangun Turbin Vertikal Axis Pada PLTB. *Journal Of Electrical Engineering (Joule)*, 2(1), 76–80.
- Nurosyidin, I., Naura Farras, A., & Sekar Pramudya, S. (2025). *Pengelolaan Sampah Berbasis Desentralisasi dengan Teknologi Incenerator Termodifikasi Cerobong Wet Scrubber dan Termoelektrik untuk Mewujudkan Masa Depan yang Berkemajuan*. <https://doi.org/10.64163/joccs.v1i1.34>
- Primanto, A., & Puspitasari, L. (n.d.). *Berajah Journal EVALUASI KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH PLASTIK DI KOTA SEMARANG EVALUATION OF PLASTIC WASTE MANAGEMENT POLICY IN SEMARANG CITY*. <https://doi.org/10.47353/bj.v5i2.594>
- Putranto, P. (n.d.). *Prinsip 3R: Solusi Efektif untuk Mengelola Sampah Rumah Tangga*.
- Rafidah, R., Haderiah Jurusan Kesehatan Lingkungan, H., & Kemenkes Makassar, P. (n.d.). *Implementasi Prinsip 3R Dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Desa Gattareng, Kabupaten Bulukumba* (Vol. 25, Issue 1).
- Rimbawati, R., Prandika, B., & Cholish, C. (2022). Rancang Bangun Sistem Konversi Energi Panas Api Menjadi Energi Listrik Sebagai Alat Charger Baterai Menggunakan Termoelektrik. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.22373/crc.v6i1.10236>
- Rokhim, A. A., Endahwati, L., & Sutiyono, S. (n.d.). *Pemanfaatan Energi panas menggunakan Termoelektrik Generator dengan Variasi Peltier*. 14(1), 19–23.
- Sari, N., Sugriwan, I., & Dewi Sari, N. (2024). Rancang Bangun Generator Termoelektrik Dengan Metode Efek Seebeck Sebagai Alternatif Pembangkit Energi Listrik. In *Rancang Bangun Generator Termoelektrik* / (Vol. 5, Issue 1).
- Silaban, A. V., Sergina, L., Tarigan, B., & Silitonga, A. S. (2024). *IMPLEMENTASI GENERATOR TERMOELEKTRIK MINIATUR UNTUK MENGISI DAYA HANDPHONE MEMANFAATKAN ENERGI PANAS*.
- Winursita, W., & Johan, R. C. (2024). Strategi Literasi Sampah dalam Penanggulangan Masa Tanggap Darurat Sampah. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 23(2), 249–256. <https://doi.org/10.14710/jkli.23.2.249-256>