

SISTEM PENGENDALIAN SUHU OTOMATIS PADA MODUL TERMoeLEKTRIK GENERATOR UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS PANAS KOMPOR OLI BEKAS DENGAN MOTOR STEPPER

Muhammad Iwan^{*1}, Mursalin¹, Muhammad Bhisma Putra Anugrah¹

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Pontianak

Jl. Jenderal Ahmad Yani No.111, Bangka Belitung Laut, Kec. Pontianak Tenggara, Kota Pontianak, Kalimantan Barat 78123

*Email: muhammad.iwan@unmuhpkn.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan energi alternatif penting untuk mengurangi ketergantungan pada fosil. Panas dari kompor oli bekas dapat dikonversi menjadi listrik melalui Thermoelectric Generator (TEG). Namun, suhu berlebih pada sisi panas TEG menurunkan efisiensi dan mempercepat kerusakan modul. Karena itu, diperlukan sistem pengendalian suhu agar kinerja dan umur pakai TEG tetap optimal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengendalian suhu otomatis pada modul TEG berbasis mikrokontroler. Sistem ini menggunakan motor stepper sebagai actuator utama untuk menggerakkan rangkaian TEG mendekat atau menjauh dari sumber panas berdasarkan suhu yang terdeteksi oleh sensor. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup perancangan perangkat keras dan lunak sistem kendali suhu otomatis, integrasi sensor suhu dan motor stepper, serta pengujian eksperimental dengan menggunakan kompor oli bekas sebagai sumber panas. Hasil yang diperoleh sistem berfungsi dengan baik terlihat pada grafik yang fluktuasi secara konstan karena pergerakan sistem kendali menempatkan sistem pembangkit pada rentang suhu yang aman yaitu 145-150 °C. Luaran listrik menunjukkan tegangan listrik maksimal dengan beban lampu 5-watt yaitu 9.53 V, Arus listrik maksimal 0,19 A dan daya 1,43 w. Kesimpulannya, sistem kendali suhu otomatis berbasis mikrokontroler mampu menjaga stabilitas termal TEG sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi dan memperpanjang umur pakai modul.

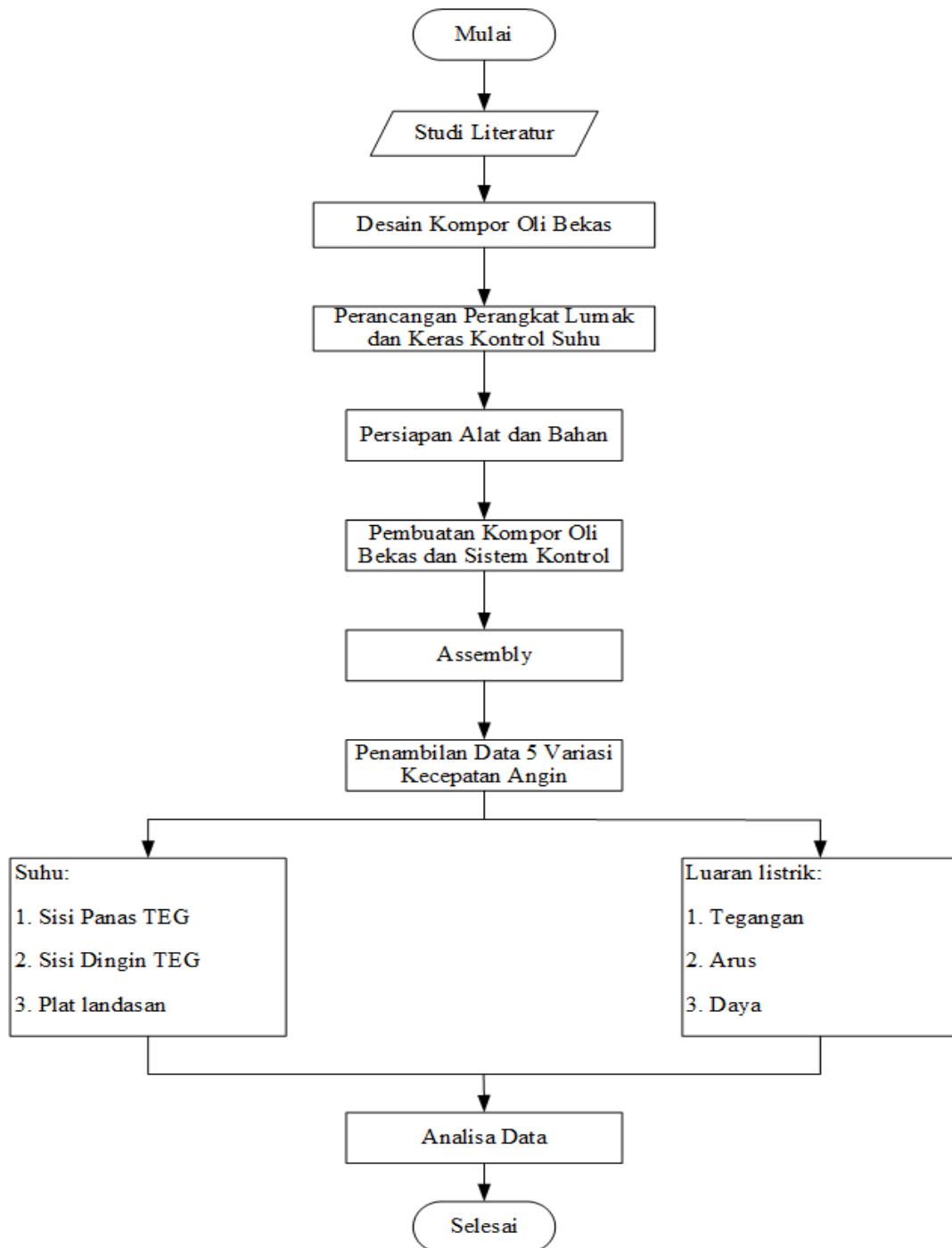
Kata kunci: thermoelectric generator, pengendalian suhu, motor stepper, mikrokontroler, energi limbah panas

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi alternatif yang efisien dan berkelanjutan terus menjadi fokus utama dalam pengembangan teknologi masa depan, terutama dalam menghadapi peningkatan konsumsi energi global dan menipisnya sumber energi fosil (Ridlo & Hakim, 2020). Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah pemanfaatan energi limbah panas, seperti panas dari pembakaran oli bekas, yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan benar (Widya Rahmadani et al., 2023). Oli bekas memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, sehingga cocok digunakan sebagai bahan bakar pada kompor untuk menghasilkan panas yang stabil (Kusnadi et al., 2020). Panas dari kompor oli bekas ini kemudian dapat dimanfaatkan oleh Termoelektrik Generator (TEG) yang bekerja berdasarkan efek Seebeck, yaitu mengubah perbedaan suhu antara sisi panas dan dingin menjadi energi listrik (Muhanif et al., 2022). Namun demikian, efisiensi kerja dan umur pakai TEG sangat bergantung pada kestabilan suhu pada sisi panasnya. Suhu yang terlalu tinggi dapat merusak material termoelektrik dan mengurangi efektivitas konversi energi (Masaji et al., 2019) (Jaziri et al., 2020). Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian suhu otomatis yang mampu menjaga suhu tetap berada dalam batas optimal untuk mencegah kerusakan dini dan meningkatkan performa sistem. Sistem ini dapat dibangun menggunakan motor stepper yang dikendalikan mikrokontroler untuk mengatur jarak antara modul TEG dan sumber panas secara dinamis berdasarkan data dari sensor suhu (Arifianto & Suprpto, 2023). Dengan demikian, rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini meliputi: (a) bagaimana merancang sistem pengendalian suhu otomatis yang efektif dan responsif terhadap fluktuasi suhu, serta, (b) bagaimana integrasi motor stepper, sensor suhu, dan mikrokontroler dapat mengatur posisi TEG terhadap sumber panas dengan presisi untuk menjaga suhu kerja dalam rentang ideal. Penelitian ini menjadi sangat penting

karena menggabungkan teknologi pemanfaatan limbah berbahaya (oli bekas) dengan konversi energi ramah lingkungan melalui sistem kontrol berbasis mikrokontroler yang presisi.

METODOLOGI



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak dengan pendekatan eksperimental dan rekayasa sistem. Setiap tahapan dan proses. Berikut tabel tahapan dan proses penelitian

Tabel 1. Tahapan Dan Proses Penelitian

No	Tahapan	Proses
1	Studi Literatur	Kajian pustaka terkait TEG, kontrol suhu otomatis, dan desain kompor oli bekas
2	Desain Kompor Oli Bekas dan Mekanisme controller	Mendesain struktur kompor dan sistem mekanik penggerak TEG berbasis suhu
3	Perancangan Perangkat Keras dan Lunak	Desain rangkaian kontrol elektronik, integrasi sensor & actuator, serta pemrograman mikrokontroler
4	Persiapan Alat dan Bahan	Inventarisasi dan pengadaan komponen: logam, sensor, mikrokontroler, motor stepper, dsb.
5	Pembuatan Kompor Oli Bekas Sesuai Desain Kontrol Suhu	Fabrikasi fisik kompor dan jalur panas yang sesuai dengan mekanisme kontrol suhu
6	Pembuatan Sistem Controller dan Integrasi Sistem	Perakitan sistem pengontrol suhu dan integrasi dengan kompor dan modul TEG
7	Uji Coba dan Pengambilan Data	Pengujian suhu, tegangan, dan performa sistem dalam berbagai skenario (blower, jarak, dll)
8	Analisa Hasil dan Evaluasi Kinerja	Analisis data untuk menilai kestabilan suhu dan efisiensi konversi energi

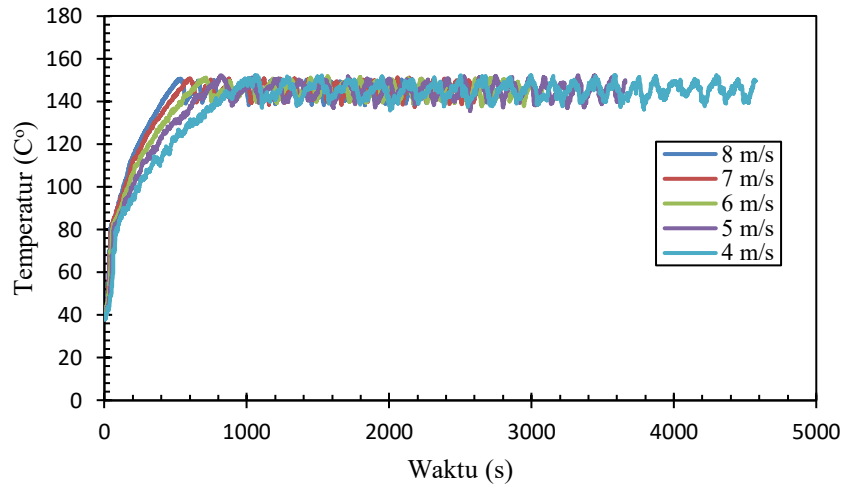
HASIL DAN PEMBAHASAN

Temperatur Terhadap Waktu

Gambar 2 adalah Grafik temperatur terhadap waktu ini menggambarkan kinerja sistem pengendalian suhu otomatis pada modul termoelektrik generator yang dikendalikan menggunakan mikrokontroler ESP32 dan motor stepper. Program pengendalian dirancang untuk membatasi suhu yang diterima oleh sistem termoelektrik agar modul tidak mengalami kerusakan dini, dengan menetapkan rentang suhu kerja antara 145 °C hingga 150 °C.

Pada grafik, terlihat bahwa suhu meningkat secara bertahap hingga mencapai 150 °C. Ketika suhu maksimum tercapai, sistem kontrol secara otomatis mengaktifkan motor stepper untuk bergerak mundur menjauhi sumber panas sebanyak lima putaran penuh, kemudian berhenti. Motor tetap dalam posisi berhenti hingga suhu turun ke 145 °C, setelah itu sistem kembali menggerakkan motor stepper maju mendekati sumber panas.

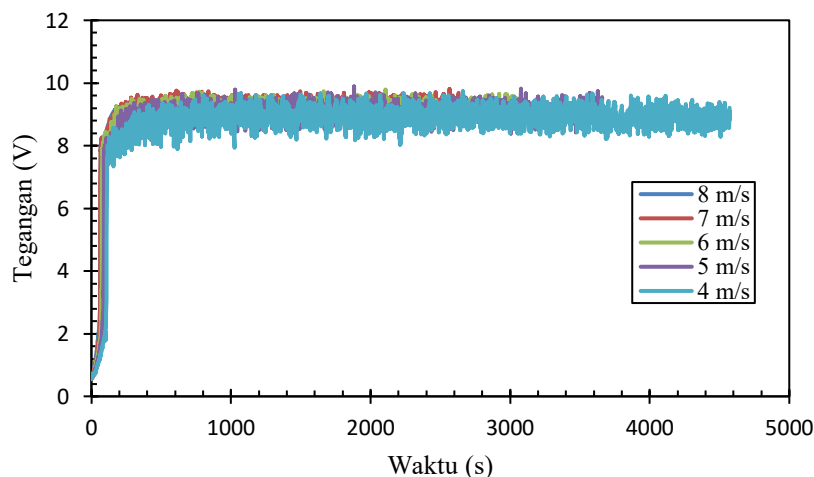
Proses maju-mundur ini berlangsung secara berulang selama bahan bakar masih tersedia. Pola garis grafik yang berfluktuasi naik dan turun menunjukkan bahwa sistem kontrol bekerja secara efektif dalam menjaga suhu modul tetap berada pada rentang aman. Selain itu, sistem ini diuji dengan lima variasi kecepatan blower, sehingga performa pengendalian suhu dapat dievaluasi secara komprehensif dan terbukti mampu mempertahankan kinerja termoelektrik generator secara optimal



Gambar 2. Grafik Temperatur Terhadap Waktu

Tegangan Listrik

Gambar 3 menunjukkan grafik tegangan terhadap waktu ini merepresentasikan luaran listrik dari sistem termoelektrik generator (TEG) yang dioperasikan pada berbagai kecepatan udara pada blower. Beban yang digunakan yaitu lampu LED DC 5 watt. Pada proses pengambilan data Pola tegangan menunjukkan kenaikan awal yang signifikan, diikuti oleh fluktuasi naik-turun yang konsisten seiring waktu. Fenomena fluktuatif tersebut merupakan dampak langsung dari aktivasi sistem kontrol temperatur yang bekerja secara dinamis maju dan mundur untuk menjaga suhu operasional tetap dalam batas aman. Perubahan suhu akibat intervensi kontrol ini menyebabkan variasi pada gradien termal antar sisi panas dan dingin TEG, sehingga tegangan listrik yang dihasilkan ikut mengalami perubahan. Dengan demikian, grafik ini mencerminkan respons adaptif sistem TEG terhadap regulasi termal yang berkelanjutan dalam rangka menjaga stabilitas dan efisiensi konversi energi.

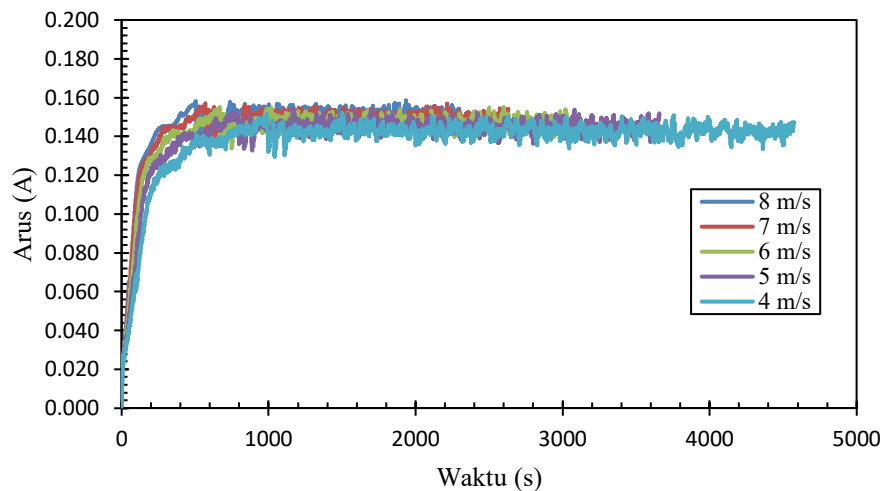


Gambar 3. Grafik Tegangan Terhadap Waktu

Arus Listrik

Gambar 4 grafik Arus terhadap waktu ini menggambarkan karakteristik keluaran arus listrik dari sistem thermoelectric generator (TEG) yang beroperasi pada lima tingkat kecepatan aliran panas berbeda, yaitu 4 m/s hingga 8 m/s. Setiap kurva menunjukkan pola peningkatan arus yang cepat pada awal waktu, diikuti oleh fase stabilisasi seiring sistem mencapai keseimbangan termal. Nilai arus yang lebih tinggi tercapai pada kecepatan udara yang lebih besar, mencerminkan peningkatan efisiensi transfer energi termal ke energi listrik. Fluktuasi kecil yang terjadi setelah fase awal merupakan respons sistem terhadap kontrol temperatur dinamis yang menjaga suhu tetap dalam batas

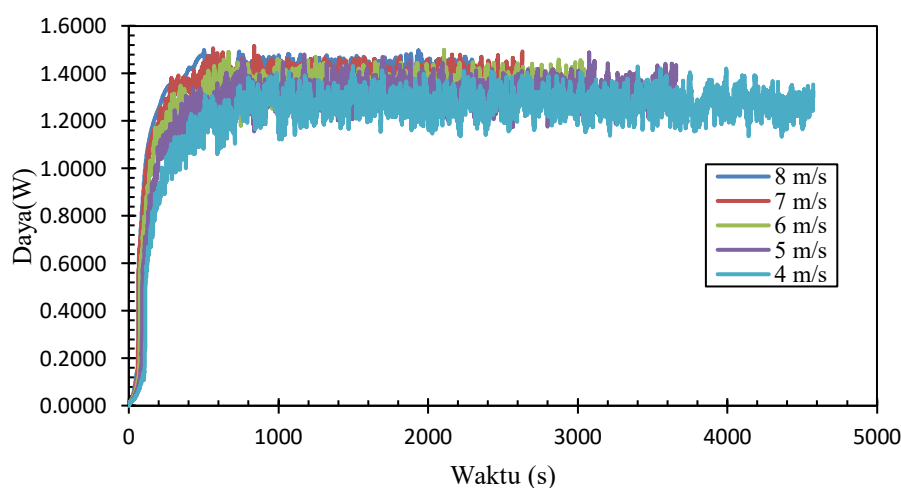
aman. Grafik ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa arus keluaran TEG sangat dipengaruhi oleh kecepatan udara dan efektivitas sistem kontrol suhu dalam mempertahankan kestabilan operasional.



Gambar 4. Grafik Arus Listrik Terhadap Waktu

Daya Listrik

Gambar 5 menunjukkan grafik daya listrik terhadap waktu ini merepresentasikan keluaran energi listrik dari sistem termoelektrik generator (TEG) yang dipengaruhi oleh variasi kecepatan angin dari blower, dengan satuan m/s. Setiap kurva menunjukkan respons daya pada kecepatan angin yang berbeda, mulai dari 4 m/s hingga 8 m/s. Secara umum, daya meningkat tajam pada awal waktu akibat perbedaan suhu yang besar antara sisi panas dan dingin TEG, kemudian mengalami fase stabilisasi disertai fluktuasi ringan. Fluktuasi ini merupakan hasil dari sistem kontrol temperatur yang aktif secara dinamis untuk menjaga suhu tetap dalam batas aman. Semakin tinggi kecepatan angin blower, semakin besar daya yang dihasilkan, menunjukkan bahwa peningkatan aliran panas memperkuat konversi energi termal menjadi energi listrik. Grafik ini secara keseluruhan menggambarkan hubungan langsung antara kecepatan angin, efektivitas kontrol suhu, dan performa daya keluaran TEG dalam kondisi operasional yang berkelanjutan.



Gambar 5. Grafik Daya Listrik Terhadap Waktu

KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa sistem pengendalian suhu otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 dan motor stepper mampu menjaga modul Thermoelectric Generator (TEG) tetap berada dalam rentang aman 145–150 °C sehingga mencegah kerusakan dini dan mempertahankan efisiensi konversi energi; hasil pengujian menunjukkan keluaran listrik maksimum sebesar 9,53 V, arus 0,19 A, dan daya 1,43 W dengan beban lampu LED 5 watt, sementara variasi kecepatan blower (4–8 m/s) berpengaruh langsung terhadap peningkatan arus dan daya, yang secara keseluruhan menegaskan bahwa sistem ini adaptif, stabil, dan efektif dalam memanfaatkan panas kompor oli bekas sebagai sumber energi alternatif berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, saya menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi – Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek Diktiristek) atas kepercayaan dan dukungan pendanaan melalui skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) tahun 2025.

Dukungan ini merupakan dorongan penting bagi saya dalam mengembangkan potensi riset yang relevan dengan kebutuhan masyarakat dan dunia akademik. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan peningkatan mutu pendidikan tinggi di Indonesia.

Terima kasih atas komitmen Kemendikbudristek dalam mendorong budaya riset yang inklusif dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifianto, M. J. F., & Suprpto, H. (2023). Perancangan Pengendali Gerakan Stepper Motor menggunakan Mikrokontroler STM32 dengan Tampilan Grafis TouchGFX. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 8(1), 13–20. <https://elektroda.uho.ac.id/>
- Jaziri, N., Boughamoura, A., Müller, J., Mezghani, B., Tounsi, F., & Ismail, M. (2020). A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications. *Energy Reports*, 6(xxxx), 264–287. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.12.011>
- Kusnadi, A., Djafar, R., & Mustofa, M. (2020). Pemanfaatan Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar Alternatif Kompor Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo (JTPG)*, 5(2), 49–55. <https://doi.org/10.30869/jtpg.v5i2.681>
- Masaji, M., Facta, M., & Winardi, B. (2019). Pemanfaatan Thermoelectric Energy Generator (Teg) Sebagai Sumber Energi Listrik Menggunakan Buck Converter Dengan Umpan Balik Tegangan Berbasis Ic TI494. *Transient*, 7(4), 1106. <https://doi.org/10.14710/transient.7.4.1106-1112>
- Muhanif, M., Umurani, K., & Nasution, F. A. A. (2022). Analisis Termoelektrik Generator (TEG) sebagai pembangkit listrik Bersekala kecil terhadap perbedaan temperatur. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(1), 26–32. <https://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME/article/view/10260/7216>
- Ridlo, R., & Hakim, A. (2020). *Model Energi Indonesia , Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia : Literatur Review*. 1(1), 1–11.
- Widya Rahmadani, Lumbantoruan, P., & Jumingin. (2023). Pemanfaatan Oli Bekas Untuk Bahan Bakar Kompor Sebagai Energi Listrik Alternatif Dengan Prinsip Termoelektrik. *Jurnal Redoks*, 8(2), 142–152. <https://doi.org/10.31851/redoks.v8i2.13156>