



Penyelidikan Eksperimental Alat Pengisi Daya Menggunakan Termoelektrik Dengan Pemanfaatan Panas Knalpot Sepeda Motor

Manufacture and Analysis of Chargers Using Thermoelectric With the Utilization of Motorcycle Exhaust Heat

Rizki Wiranata, & Muhammad Idris

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Indonesia

Abstrak

Termoelektrik merupakan material yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik. Dengan memasang termoelektrik di dekat knalpot, maka otomatis panas yang keluar dari knalpot akan diubah menjadi energi listrik. Bagaimana alat pengisi daya dari pemanfaatan panas knalpot kendaraan bermotor dapat diuji sesuai kebutuhan. Diawali dari pemilihan bahan dan dimensi, perancangan, pembuatan, perakitan serta pengujian kinerja alat pengisi daya handphone dari pemanfaatan panas knalpot kendaraan bermotor. Penelitian ini bertujuan membuat alat untuk mengisi daya handphone atau powerbank dan menganalisis panas knalpot dari perubahan temperatur yang terjadi. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah experimental set up, perakitan alat, pengujian alat dan analisis alat. Hasil dari pembuatan alat pengisi daya handphone menggunakan spesimen tembaga berbentuk persegi panjang dengan dimensi panjang 80 mm, lebar 40 mm, tinggi 40 mm, bisa diletakkan 4 peltier berbentuk persegi dengan dimensi 40 mm x 40 mm, dan tinggi 4 mm, serta mampu menghasilkan tegangan sebesar $\pm 1,5V$ per 1 peltier-nya. Hasil dari analisis panas knalpot dari perubahan temperatur yang terjadi, pada pengujian 5000 rpm keadaan sepeda motor tidak berjalan dengan perbandingan ΔT 208.2 K. Tegangan yang dihasilkan 6.06 V, arus yang dihasilkan 0.223 A, dan daya 1.35 watt. Pada pengujian putaran mesin sepeda motor 5000 rpm dihasilkan arus listrik 0.25 A dan daya 1.55 watt. Laju perpindahan panas menyeluruh yang dihasilkan adalah $U = 23,915 \text{ W/}^\circ\text{C}$ dan laju tahanan termal yang dihasilkan $\Sigma R = 20,433 \text{ }^\circ\text{C/W}$

Kata Kunci: Termoelektrik generator; efek seebeck; konversi energi.

Abstract

Thermoelectricity is a material that can convert heat energy into electrical energy. By installing a thermoelectric near the exhaust pipe, the heat emitted from the exhaust pipe will automatically be converted into electrical energy. This article discusses the testing of a power charging device that utilizes the heat from the vehicle's exhaust pipe, according to specific requirements. The process begins with the selection of materials and dimensions, followed by design, fabrication, assembly, and performance testing of the power charging device for mobile phones using the heat from the vehicle's exhaust pipe. The objective of this research is to create a device for charging mobile phones or power banks while analyzing the heat generated by the temperature changes. The methodology employed in this study includes experimental setup, device assembly, device testing, and device analysis. The results of the fabrication of the mobile phone charging device using rectangular copper specimens with dimensions of 80 mm in length, 40 mm in width, and 40 mm in height, along with four square-shaped Peltier modules measuring 40 mm x 40 mm x 4 mm each, indicate a voltage output of approximately $\pm 1.5V$ per Peltier module. The analysis of the heat generated by the temperature changes during testing at 5000 rpm in an idle state resulted in a temperature difference (ΔT) of 208.2 K. The voltage produced was 6.06 V, the current was 0.223 A, and the power was 1.35 watts. Testing the engine at 5000 rpm resulted in an electric current of 0.25 A and power output of 1.55 watts. The overall heat transfer rate was $U = 23.915 \text{ W/}^\circ\text{C}$, and the thermal resistance rate was $\Sigma R = 20.433 \text{ }^\circ\text{C/W}$.

Keywords: Thermoelectric generator; Seebeck effect; energy conversion

How to Cite: Rizki Wiranata, & Muhammad Idris. (2023). Penyelidikan Eksperimental Alat Pengisi Daya Menggunakan Termoelektrik Dengan Pemanfaatan Panas Knalpot Sepeda Motor. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin dan Industri (JITMI)*, 2(1) 2023: 21-30,

PENDAHULUAN

Di Indonesia, yang teknologinya berkembang begitu pesat, terdapat banyak jenis kendaraan yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari, termasuk sepeda motor sebagai alat transportasi. Secara umum, sepeda motor menjadi pilihan moda transportasi yang populer di Indonesia. Namun, terdapat fakta bahwa hanya 40% dari bahan bakar yang benar-benar terbakar di dalam ruang bakar untuk menghasilkan tenaga mesin. Sementara itu, 60% sisanya hanya terbuang percuma sebagai gas panas (asap) yang keluar melalui knalpot (Nugroho & Haryadi, 2015).

Kenyataan ini mengungkap bahwa terdapat potensi energi yang belum dimanfaatkan sepenuhnya dari sumber bahan bakar pada sepeda motor. Gas panas yang terbuang sebenarnya memiliki energi termal yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan lain, seperti menghasilkan energi listrik. Dengan memanfaatkan teknologi termoelektrik, panas yang dihasilkan oleh knalpot sepeda motor dapat diubah menjadi energi listrik melalui perangkat termoelektrik yang dipasang di dekat knalpot (Khalid et al., 2016). Pemanfaatan energi panas knalpot ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar pada sepeda motor. Selain itu, hal ini juga dapat membantu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan mengurangi emisi gas buang yang keluar dari knalpot. Di Indonesia, yang memiliki jumlah sepeda motor yang besar dan penggunaan bahan bakar yang signifikan, pemanfaatan energi panas knalpot menjadi aspek penting yang perlu dieksplorasi lebih lanjut (S. A. Sasmita et al., 2019). Diperlukan penelitian dan pengembangan lanjutan untuk merancang dan mengoptimalkan teknologi yang dapat mengubah energi panas tersebut menjadi sumber energi yang berguna dan ramah lingkungan. Dengan demikian, dapat tercipta pemanfaatan energi yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam penggunaan sepeda motor di Indonesia. Upaya untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi panas knalpot sepeda motor memiliki potensi untuk memberikan manfaat signifikan, baik dalam hal efisiensi penggunaan bahan bakar maupun dalam upaya melindungi lingkungan. Melalui inovasi dan pengembangan teknologi yang tepat, kita dapat mengubah sepeda motor menjadi sumber energi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, serta membantu mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil yang semakin berkurang (PRADANA & WIDYARTONO, 2019).

Pemanfaatan energi panas yang terbuang ini memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar pada sepeda motor. Selain itu, hal ini juga dapat memberikan kontribusi signifikan dalam mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan mengurangi emisi gas buang yang dikeluarkan oleh knalpot (A. Sasmita et al., 2022). Dalam konteks ini, pemanfaatan energi panas yang terbuang menjadi aspek yang krusial dan perlu untuk dieksplorasi lebih lanjut. Dengan memanfaatkan teknologi termoelektrik, panas yang dihasilkan oleh knalpot sepeda motor dapat diubah menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk keperluan lainnya. Dengan demikian, energi panas yang sebelumnya terbuang dapat dimanfaatkan secara efisien dan berkelanjutan (Hakim, 2021). Di Indonesia, dengan jumlah sepeda motor yang besar dan tingginya penggunaan bahan bakar, pemanfaatan energi panas terbuang pada knalpot menjadi isu yang penting. Diperlukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam merancang perangkat termoelektrik yang efektif dan efisien untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik. Hal ini akan memberikan manfaat yang signifikan, baik dalam meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar maupun dalam mengurangi emisi gas buang yang berkontribusi terhadap perubahan iklim. Upaya untuk memanfaatkan energi panas terbuang dari knalpot sepeda motor merupakan langkah menuju penggunaan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Dengan inovasi teknologi dan kesadaran akan pentingnya keberlanjutan, kita dapat menciptakan solusi yang berkelanjutan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan keterbatasan sumber daya energi fosil. Dengan demikian, pemanfaatan energi panas terbuang pada sepeda motor dapat menjadi langkah yang penting dalam mencapai masa depan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Penelitian yang mendalam perlu dilakukan pada perangkat Exhaust System Generator dengan maksud dan tujuan utama untuk mengungkapkan sejauh mana efektivitas dan efisiensi energi listrik yang dihasilkannya (Harman & Ahyar, 2019). Dalam penelitian ini, variabel yang akan diteliti cukup terbatas pada besarnya tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan oleh perangkat Termoelektrik tersebut. Dalam rangka mencapai tujuan penelitian, perbandingan antara kedua parameter tersebut dengan spesifikasi keluaran yang diinginkan harus dilakukan. Selain itu, kondisi mesin dan waktu tertentu juga perlu dipertimbangkan untuk memperoleh hasil yang akurat dan terpercaya. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan informasi

yang berharga mengenai kinerja dan potensi dari Exhaust System Generator dalam menghasilkan energi listrik. Hasil penelitian ini dapat menjadi landasan bagi pengembangan dan pengoptimalan perangkat tersebut guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi energi yang dihasilkan (Quan et al., 2022; Zulfikar et al., 2023). Dalam konteks penelitian di Indonesia, langkah ini penting karena memungkinkan kita untuk mengeksplorasi potensi pemanfaatan energi terbarukan dan ramah lingkungan. Dengan memaksimalkan energi listrik yang dihasilkan oleh Exhaust System Generator, kita dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional yang terbatas dan berpotensi merusak lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi dalam mengembangkan teknologi termoelektrik yang lebih efisien dan efektif. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang karakteristik dan performa perangkat, kita dapat merancang solusi yang lebih baik dalam memanfaatkan energi panas yang terbuang untuk keperluan lain, seperti menghasilkan energi listrik dalam skala yang lebih luas (Burhanudin, 2021; Yuhazri et al., 2020). Dalam kesimpulannya, penelitian yang dilakukan pada perangkat Exhaust System Generator memiliki tujuan yang jelas untuk mengevaluasi efektivitas dan efisiensi energi listrik yang dihasilkan. Penelitian ini akan memfokuskan pada besarnya tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan oleh perangkat Termoelektrik, serta mempertimbangkan spesifikasi keluaran yang diinginkan, kondisi mesin, dan waktu yang ditentukan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja perangkat dan potensinya dalam menghasilkan energi listrik yang efisien dan berkelanjutan (Zhao et al., 2021; Zulfikar, 2020).

Dalam penelitian ini, permasalahan yang diteliti adalah bagaimana charger yang menggunakan panas knalpot kendaraan bermotor dapat diuji sesuai dengan kebutuhan yang telah dijelaskan sebelumnya. Salah satu keterbatasan penelitian ini adalah identifikasi dimensi dan penempatan perangkat yang menggunakan sistem termoelektrik. Proses penelitian dimulai dengan pemilihan bahan yang tepat dan pengukuran yang akurat. Selanjutnya, dilakukan perancangan, produksi, perakitan, dan pengujian kinerja dari pengisi daya ponsel yang menggunakan panas dari knalpot kendaraan yang sedang bergerak. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan solusi yang efektif dan efisien dalam memanfaatkan panas knalpot sebagai sumber energi untuk mengisi daya ponsel. Dalam konteks pengisian daya ponsel, keandalan dan keamanan merupakan faktor penting yang perlu diperhatikan dalam pengujian perangkat (Derlini & Zulfikar, 2022; Pratomo, 2020). Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pengisian daya ponsel yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang potensi penggunaan energi panas knalpot dalam bidang pengisian daya yang dapat diterapkan pada kendaraan bermotor (Alamsyah et al., 2022; Utami et al., 2022). Dengan demikian, penelitian ini akan memberikan informasi yang berguna untuk mengoptimalkan penggunaan energi panas knalpot sebagai sumber daya alternatif dalam mengisi daya ponsel, sehingga dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi konvensional dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Hidayat et al., 2022; Luo et al., 2021).

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis dan memahami hubungan antara putaran mesin dengan peningkatan tegangan listrik, efek Seebeck, arus listrik, dan daya listrik pada kondisi kendaraan diam maupun berjalan. Mengidentifikasi perbedaan signifikan dalam peningkatan tegangan listrik, efek Seebeck, arus listrik, dan daya listrik antara kondisi kendaraan diam dan kendaraan berjalan pada setiap tingkat putaran mesin yang diuji. Mengoptimalkan pemanfaatan panas knalpot kendaraan bermotor dalam pengisian daya handphone atau powerbank dengan mempertimbangkan daya listrik yang dihasilkan pada kondisi kendaraan diam maupun berjalan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui metode eksperimen, di mana pengamatan langsung dilakukan untuk memperoleh data yang kausal, akurat, dan empiris. Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran yang bertujuan untuk menghasilkan data tegangan dan arus yang berasal dari perbedaan suhu yang terjadi. Data yang diperoleh dalam bentuk digital kemudian diolah dan dianalisis untuk mendapatkan nilai daya, efisiensi, dan koefisien Seebeck pada perangkat termoelektrik yang diteliti. Analisis data tersebut bertujuan untuk memahami kinerja perangkat termoelektrik dalam menghasilkan energi listrik dari perbedaan suhu. Penelitian ini memiliki keunggulan karena menggunakan pendekatan eksperimen, yang memberikan keandalan dan

keakuratan dalam pengumpulan data. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja perangkat termoelektrik serta potensi penggunaannya dalam menghasilkan energi listrik dari perbedaan suhu. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi termoelektrik dan aplikasinya dalam berbagai bidang, seperti konversi panas menjadi energi listrik. Data yang diperoleh dari penelitian ini juga dapat digunakan sebagai dasar untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja perangkat termoelektrik di masa depan.

Data tersebut selanjutnya diolah menjadi grafik dan persamaan garis guna mempermudah pemahaman, perbandingan, dan analisis. Selanjutnya, dilakukan analisis dan evaluasi ulang terhadap data yang telah diperoleh untuk memastikan kevalidan dan ketepatan data tersebut. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk menyimpulkan keseluruhan kegiatan dan mendapatkan karakteristik data yang telah diperoleh. Melalui proses ini, diharapkan dapat menghasilkan kesimpulan yang jelas dan akurat berdasarkan data yang telah dianalisis. Kesimpulan ini mencerminkan hasil dari keseluruhan penelitian serta karakteristik data yang berhasil dikumpulkan dan dievaluasi. Dengan demikian, kesimpulan tersebut memiliki landasan yang kuat dan dapat digunakan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan atau pengembangan lebih lanjut dalam bidang yang bersangkutan.

Prosedur penelitian, proses pengujian, dan analisis alat dalam penelitian ini dimulai dengan mengukur suhu heatsink pada kondisi sepeda motor dalam keadaan diam dan berjalan. Selanjutnya, dilakukan pengukuran suhu tembaga pada kondisi sepeda motor dalam keadaan diam dan berjalan. Voltase pada alat pengisi daya diukur pada kondisi sepeda motor dalam keadaan diam dan berjalan, begitu juga dengan pengukuran arus pada alat pengisi daya. Setiap pengukuran dilakukan dengan variasi putaran mesin, yaitu 2000 rpm, 3000 rpm, 4000 rpm, dan 5000 rpm. Untuk setiap putaran mesin, dilakukan pengukuran dengan variasi waktu selama 60 detik, 180 detik, dan 360 detik. Selanjutnya, dilakukan perhitungan perpindahan panas, termasuk perhitungan laju perpindahan panas total dan perhitungan jumlah tahanan termal. Proses pengukuran dan perhitungan ini bertujuan untuk mendapatkan data yang akurat mengenai temperatur, voltase, arus, dan perpindahan panas pada alat yang diteliti. Data tersebut kemudian akan dianalisis untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik alat dan efek dari variasi putaran mesin dan waktu terhadap perpindahan panas. Dengan adanya prosedur penelitian yang sistematis dan pengujian yang teliti, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang penggunaan energi panas knalpot sepeda motor dan potensinya untuk pengisian daya. Hasil analisis data juga diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna untuk pengembangan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan di masa depan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan dan data diolah pada Microsoft excel, maka diperoleh hasil pengukuran pengisi daya pada saat kendaraan dalam keadaan diam yang diperlihatkan pada tabel 1. Hasil pada tabel 2 diperoleh dari alat pengisi daya pada saat kendaraan dalam keadaan berjalan. Hasil laju perpindahan panas menyeluruh dari alat pengisi daya menggunakan termoelektrik dengan pemanfaatan panas knalpot sepeda motor yaitu: $U = 23.915W/^\circ C$. Jumlah Tahan Termal dari alat pengisi daya menggunakan termoelektrik dengan pemanfaatan panas knalpot sepeda motor yaitu : $\Sigma R = 0.433 \text{ }^\circ C/w$.

Tabel 1. Hasil pengukuran pengisi daya pada saat kendaraan dalam keadaan diam

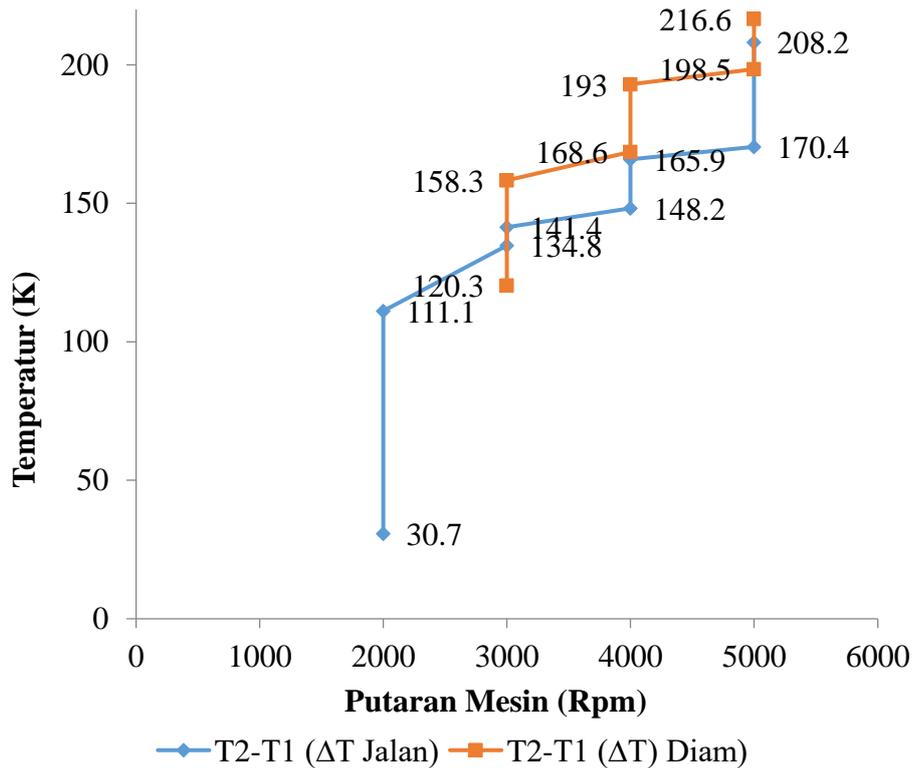
No	Rotasi Rpm	Waktu S	T ₁ K	T ₂ K	T ₁ -T ₂ (ΔT) K	Efek Seebeck V/ ΔT V/K	Tegangan n V	Arus A	Daya V.I Watt
1	2000	60	305.45	336.15	30.7	0.012	0.36	0.03	0.011
2	2000	360	313.85	424.95	111.1	0.017	1.87	0.08	0.150
3	3000	60	326.45	461.25	134.8	0.024	3.22	0.18	0.580
4	3000	360	339.35	480.75	141.4	0.027	3.78	0.2	0.756

5	4000	60	344.65	492.85	148.2	0.027	3.98	0.204	0.812
6	4000	360	363.75	529.65	165.9	0.028	4.59	0.21	0.964
7	5000	60	371.05	541.45	170.4	0.028	4.8	0.213	1.022
8	5000	360	380.85	589.05	208.2	0.029	6.06	0.223	1.351

Tabel 2. Hasil pengukuran pengisi daya pada saat kendaraan dalam keadaan berjalan

No	Rotasi	Waktu	T ₁	T ₂	T ₁ -T ₂	Efek Seebeck	Tegangan	Arus	Daya
	Rpm	S	K	K	(ΔT)	V/ ΔT	V	I	V.I
						V/K	V	A	Watt
1	3000	60	320.05	440.35	120.3	0.004	0.48	0.04	0.019
2	3000	360	340.05	498.35	158.3	0.015	2.4	0.106	0.254
3	4000	60	349.05	517.65	168.6	0.015	2.56	0.155	0.397
4	4000	360	373.05	566.05	193	0.023	4.39	0.207	0.909
5	5000	60	376.45	574.95	198.5	0.023	4.59	0.21	0.964
6	5000	360	414.55	631.15	216.6	0.029	6.18	0.25	1.545

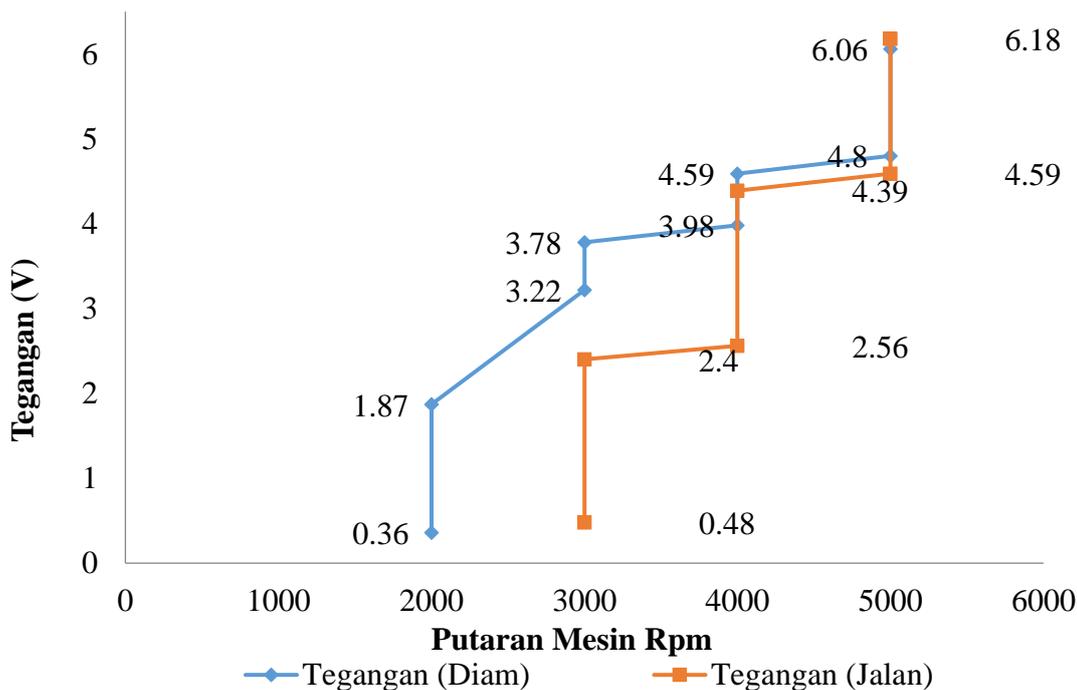
Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan yang selanjutnya diolah pada Microsoft excel menjadi grafik perbandingan suhu yang diperlihatkan pada gambar 1. Pada tiap rpm diambil 3 variasi waktu yaitu 60 s, 180 s, dan 360 s. Dapat dilihat kenaikan perbandingan temperatur yang cukup tinggi terjadi pada saat kondisi diam di 2000 rpm, dengan waktu 180 s, yaitu dari 30.70 K naik menjadi 88.80 K. Sedangkan kenaikan perbandingan temperatur yang cukup pendek terjadi pada saat kondisi diam di 2000 rpm, dengan waktu 360 s, yaitu dari 19.5 K naik menjadi 141.4 K. Grafik perbandingan tegangan diperlihatkan pada gambar 2. Perbandingan tegangan yang cukup tinggi terjadi pada saat kondisi diam di 3000 rpm, dengan waktu 60 s, dari 1.87 V naik menjadi 3.22 V. Sedangkan kenaikan perbandingan tegangan yang cukup rendah terjadi pada saat kondisi diam di 4000 rpm, dengan waktu 60 s, dari 2.4 V naik menjadi 2.56 V. Grafik hasil pengujian kenaikan perbandingan efek seebeck diperlihatkan pada gambar 3. Kenaikkan perbandingan efek seebeck yang cukup tinggi terjadi pada saat kondisi diam di 3000 rpm, dengan waktu 60 s, dari 0.017 V/K naik menjadi 0.024 V/K. Sementara, sebagian besar hanya mengalami kenaikan 0.001 V/K. Grafik kenaikan perbandingan arus berdasarkan grafik hasil pengujian diperlihatkan pada gambar 4. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat kenaikan perbandingan arus yang cukup tinggi terjadi pada saat kondisi diam di 4000 rpm, dengan waktu 60 s, dari 0.155 A naik menjadi 3.22 V. Sedangkan kenaikan perbandingan arus yang cukup rendah terjadi pada saat kondisi diam di 4000 rpm, dengan waktu 180 s, dari 0.204 A naik menjadi 0.206 A.



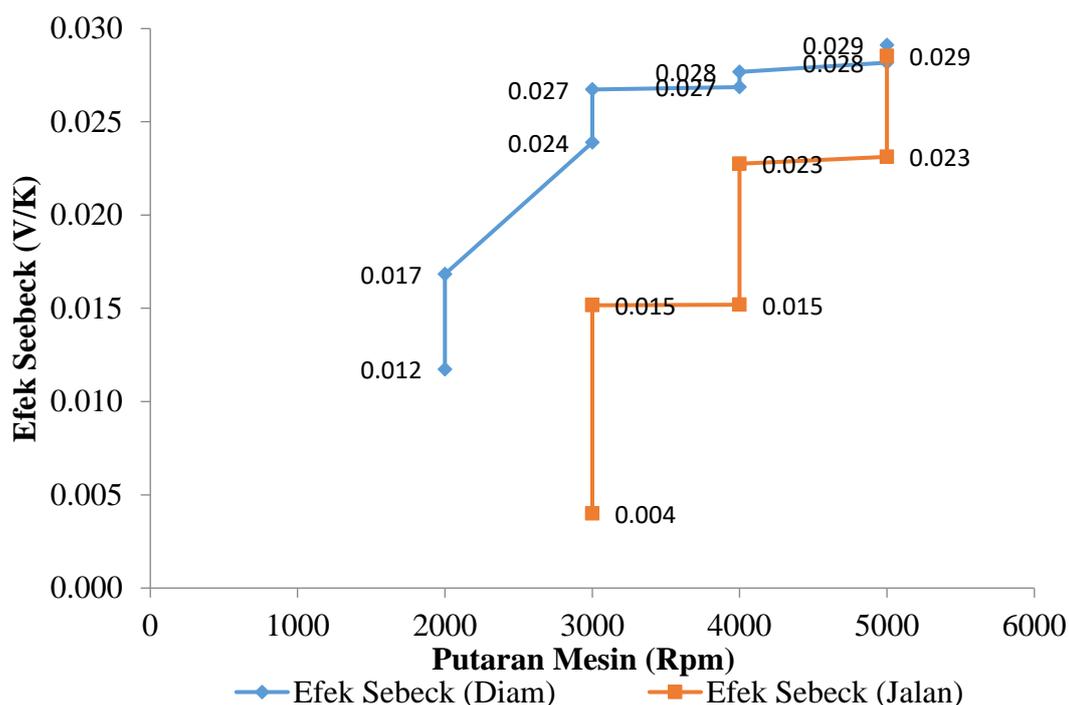
Gambar 1. Grafik perbandingan suhu dan putaran mesin

Berdasarkan gambar 1, Selama pengujian pada kondisi kendaraan diam, suhu meningkat seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 3000 rpm, suhu naik dari 120,3 K menjadi 158,3 K. Kemudian, pada putaran mesin 4000 rpm, suhu naik dari 168,6 K menjadi 193 K. Pada putaran mesin 5000 rpm, suhu naik dari 198,5 K menjadi 216,6 K. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, semakin tinggi pula suhu yang dihasilkan pada kondisi kendaraan diam. Selama pengujian pada kondisi kendaraan berjalan, suhu juga mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran 2000 rpm, suhu naik dari 30,7 K menjadi 111,1 K. Pada putaran 3000 rpm, suhu naik dari 134,8 K menjadi 141,4 K. Pada putaran 4000 rpm, suhu naik dari 148,2 K menjadi 165,9 K. Pada putaran 5000 rpm, suhu naik dari 170,4 K menjadi 208,2 K. Hal ini menunjukkan bahwa saat kendaraan berjalan, suhu meningkat lebih tinggi dibandingkan saat kendaraan diam pada setiap tingkat putaran mesin.

Berdasarkan gambar 2, selama pengujian pada kondisi kendaraan diam, tegangan listrik mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 2000 rpm, tegangan naik dari 0,36 Volt menjadi 1,87 Volt. Pada putaran mesin 3000 rpm, tegangan naik dari 3,22 Volt menjadi 3,78 Volt. Pada putaran mesin 4000 rpm, tegangan naik dari 3,22 Volt menjadi 4,59 Volt. Pada putaran mesin 5000 rpm, tegangan naik dari 0,48 Volt menjadi 6,06 Volt. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin pada kondisi kendaraan diam, semakin tinggi pula tegangan listrik yang dihasilkan. Selama pengujian pada kondisi kendaraan berjalan, tegangan listrik juga mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 3000 rpm, tegangan naik dari 0,48 Volt menjadi 2,4 Volt. Pada putaran mesin 4000 rpm, tegangan naik dari 2,56 Volt menjadi 4,39 Volt. Pada putaran mesin 5000 rpm, tegangan naik dari 4,59 Volt menjadi 6,18 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa saat kendaraan berjalan, tegangan listrik meningkat lebih tinggi dibandingkan saat kendaraan diam pada setiap tingkat putaran mesin.



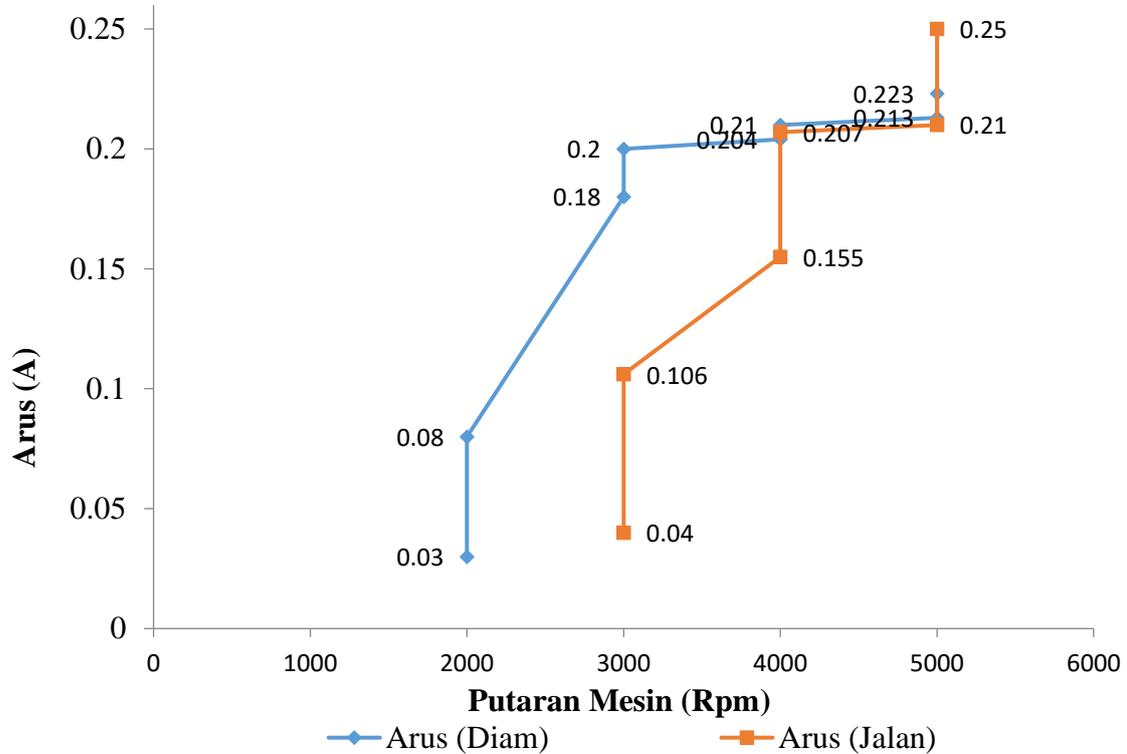
Gambar 2. Grafik perbandingan tegangan pada putaran mesin



Gambar 3. Grafik perbandingan efek seebeck

Berdasarkan gambar 3, selama pengujian pada kondisi kendaraan diam, efek Seebeck mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 2000 rpm, efek Seebeck meningkat dari 0,012 V/K menjadi 0,017 V/K. Pada putaran mesin 3000 rpm, efek Seebeck meningkat dari 0,024 V/K menjadi 0,027 V/K. Pada putaran mesin 4000 rpm, efek Seebeck meningkat dari 0,027 V/K menjadi 0,028 V/K. Pada putaran mesin 5000 rpm, efek Seebeck meningkat dari 0,028 V/K menjadi 0,029 V/K. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin pada kondisi kendaraan diam, semakin tinggi pula efek Seebeck yang dihasilkan. Selama pengujian pada kondisi kendaraan berjalan, efek Seebeck juga mengalami peningkatan

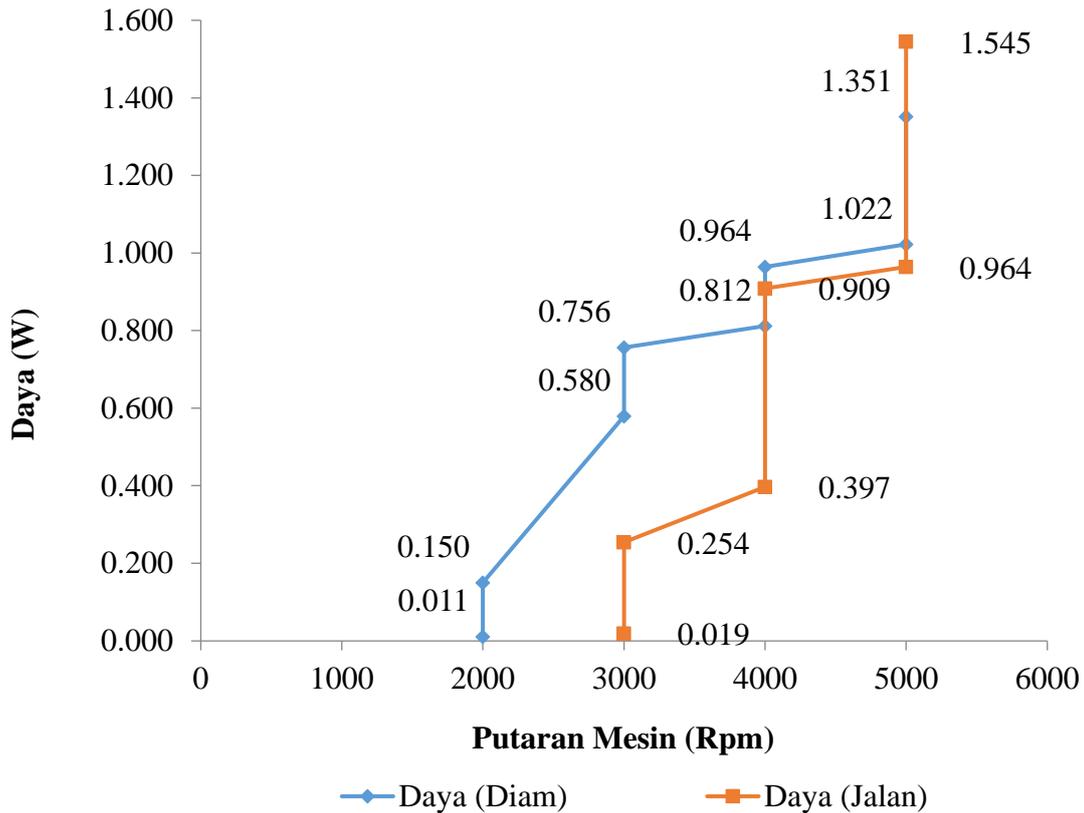
seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 3000 rpm, efek Seebeck meningkat dari 0,004 V/K menjadi 0,015 V/K. Pada putaran mesin 4000 rpm, efek Seebeck meningkat dari 0,015 V/K menjadi 0,023 V/K. Pada putaran mesin 5000 rpm, efek Seebeck meningkat dari 0,023 V/K menjadi 0,029 V/K. Hal ini menunjukkan bahwa saat kendaraan berjalan, efek Seebeck meningkat lebih tinggi dibandingkan saat kendaraan diam pada setiap tingkat putaran mesin.



Gambar 4. Grafik perbandingan arus listrik

Berdasarkan gambar 4, selama pengujian pada kondisi kendaraan diam, arus listrik mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 2000 rpm, arus listrik meningkat dari 0,03 A menjadi 0,08 A. Pada putaran mesin 3000 rpm, arus listrik meningkat dari 0,18 A menjadi 0,2 A. Pada putaran mesin 4000 rpm, arus listrik meningkat dari 0,204 A menjadi 0,21 A. Pada putaran mesin 5000 rpm, arus listrik meningkat dari 0,21 A menjadi 0,25 A. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin pada kondisi kendaraan diam, semakin tinggi pula arus listrik yang dihasilkan. Selama pengujian pada kondisi kendaraan berjalan, arus listrik juga mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 3000 rpm, arus listrik meningkat dari 0,04 A menjadi 0,106 A. Pada putaran mesin 4000 rpm, arus listrik meningkat dari 0,155 A menjadi 0,207 A. Pada putaran mesin 5000 rpm, arus listrik meningkat dari 0,213 A menjadi 0,223 A. Hal ini menunjukkan bahwa saat kendaraan berjalan, arus listrik meningkat lebih tinggi dibandingkan saat kendaraan diam pada setiap tingkat putaran mesin.

Grafik kenaikan perbandingan daya diperlihatkan pada gambar 5. Berdasarkan grafik hasil pengujian tersebut, kenaikan perbandingan daya yang cukup tinggi terjadi pada saat kondisi diam di 3000 rpm, dengan waktu 60 s, dari 0.15 watt naik menjadi 0.58 watt. Sedangkan kenaikan perbandingan arus yang cukup rendah terjadi pada saat kondisi diam di 5000 rpm, dengan waktu 60 s, dari 0.91 watt naik menjadi 0.96 watt.



Gambar 5. Data hasil pengujian daya yang cukup tinggi terjadi pada saat kondisi diam

Berdasarkan gambar 5, selama pengujian pada kondisi kendaraan diam, daya listrik meningkat seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 2000 rpm, daya listrik meningkat dari 0,011 W menjadi 0,15 W. Pada putaran mesin 3000 rpm, daya listrik meningkat dari 0,58 W menjadi 0,756 W. Pada putaran mesin 4000 rpm, daya listrik meningkat dari 0,812 W menjadi 0,964 W. Pada putaran mesin 5000 rpm, daya listrik meningkat dari 1,022 W menjadi 1,351 W. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin pada kondisi kendaraan diam, semakin tinggi pula daya listrik yang dihasilkan. Selama pengujian pada kondisi kendaraan berjalan, daya listrik juga meningkat seiring dengan peningkatan putaran mesin. Pada putaran mesin 3000 rpm, daya listrik meningkat dari 0,019 W menjadi 0,254 W. Pada putaran mesin 4000 rpm, daya listrik meningkat dari 0,397 W menjadi 0,909 W. Pada putaran mesin 5000 rpm, daya listrik meningkat dari 0,964 W menjadi 1,545 W. Hal ini menunjukkan bahwa saat kendaraan berjalan, daya listrik meningkat lebih tinggi dibandingkan saat kendaraan diam pada setiap tingkat putaran mesin.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa pada kondisi kendaraan diam maupun berjalan, tegangan listrik mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Peningkatan tegangan listrik lebih signifikan terjadi saat kendaraan berjalan, dibandingkan dengan kondisi kendaraan diam, pada setiap tingkat putaran mesin yang diuji. Efek Seebeck mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Peningkatan efek Seebeck lebih signifikan terjadi saat kendaraan berjalan, dibandingkan dengan kondisi kendaraan diam, pada setiap tingkat putaran mesin yang diuji. Arus listrik mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan putaran mesin. Peningkatan arus listrik lebih signifikan terjadi saat kendaraan berjalan, dibandingkan dengan kondisi kendaraan diam, pada setiap tingkat putaran mesin yang diuji. Daya listrik meningkat seiring dengan peningkatan putaran mesin. Peningkatan daya listrik lebih signifikan terjadi saat kendaraan berjalan, dibandingkan dengan kondisi kendaraan diam, pada setiap tingkat putaran mesin yang diuji. Informasi ini dapat digunakan untuk

memperhitungkan dan mengoptimalkan pengisian daya handphone atau powerbank menggunakan panas knalpot kendaraan bermotor, dengan mempertimbangkan daya listrik yang dihasilkan pada kondisi kendaraan diam maupun berjalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, D., Zulfikar, A. J., Yusuf, M., & Siahaan, R. (2022). Optimasi kekuatan tekan beton kolom silinder diperkuat selubung komposit laminat jute dengan metode anova compressive strength optimization of cylindrical column concrete reinforced jute laminated composite wrap with anova method. *Jcebt*, 6(1), 30–36. <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- Burhanudin. (2021). Design of HHO Generator to Reduce Exhaust Gas Emissions and Fuel Consumption of Non-Injection Gasoline Engine.
- Derlini, D., & Zulfikar, A. J. (2022). Penyelidikan Kegagalan pada Alat Pemisah Karet Alam Jenis LRH 410. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 1(3), 51–61.
- Hakim, O. N. (2021). EFEKTIVITAS PENANGANAN EMISI GAS BUANG PADA KENDARAAN DI JAKARTA (DITINJAU DARI PERATURAN GUBERNUR DKI JAKARTA NOMOR 66 TAHUN 2020 TENTANG UJI EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR). *Jurnal Hukum Adigama*, 4(1), 1354–1374.
- Harman, H., & Ahyar, A. (2019). Design of HHO Generator to Reduce Exhaust Gas Emissions and Fuel Consumption of Non-Injection Gasoline Engine. *JURNAL DINAMIKA VOKASIONAL TEKNIK MESIN*, 4(1), 9–17.
- Hidayat, N., Zulfikar, A. J., & Iswandi, I. (2022). Analisis Metode Split Tensile Test Komposit Laminat Jute Terhadap Kekuatan Tarik Belah Beton Kolom Silinder. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 1(2), 18–26.
- Khalid, M., Syukri, M., & Gapy, M. (2016). Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik. *Kitektro*, 1(3), 57–62.
- Luo, D., Wang, R., Yan, Y., Yu, W., & Zhou, W. (2021). Transient numerical modelling of a thermoelectric generator system used for automotive exhaust waste heat recovery. *Applied Energy*, 297(3), 117151.
- Nugroho, W. A., & Haryadi, M. S. (2015). EXHAUST SYSTEM GENERATOR: KNALPOT PENGHASIL LISTRIK DENGAN PRINSIP TERMOELEKTRIK. *Saintekno : Jurnal Sains Dan Teknologi*, 13(2), 161–168.
- PRADANA, M. A., & WIDYARTONO, M. (2019). Prototipe Pembangkit Listrik Termoelektrik Generator Menggunakan Penghantar Panas Aluminium, Kuningan Dan seng. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 9(2), 251–258.
- Pratomo, A. (2020). Analisis Kinerja Alat Pengisi Daya Handphone Dari Pemanfaatan Panas Knalpot Kendaraan Bermotor.
- Quan, R., Liang, W., Quan, S., & Huang, Z. (2022). Performance interaction assessment of automobile exhaust thermoelectric generator and engine under different operating conditions. *Applied Thermal Engineering*, 216(5), 19055.
- Sasmita, A., Yohanes, & Yolanda, K. (2022). Analisis Emisi Gas Buang dari Mesin Diesel Modifikasi Dipengaruhi Daya Mesin dan Bahan Bakar Campuran Oli Bekas dan Dexlite. *Semesta Teknika*, 25(2), 170–178.
- 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), 57–61.
- Utami, I., Yoessiantoro, D., & Sasongko, N. A. (2022). IMPLEMENTASI KEBIJAKAN KENDARAAN LISTRIK INDONESIA UNTUK MENDUKUNG KETAHANAN ENERGI NASIONAL. *Jurnal Ketahanan Energi*, 8(1), 49–65.
- Yuhazri, M. Y., Zulfikar, A. J., & Ginting, A. (2020). Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures: A Review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1003(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012135>
- Zhao, Y., Lu, M., Li, Y., Ge, M., & Xie, L. (2021). Characteristics analysis of an exhaust thermoelectric generator system with heat transfer fluid circulation. *Applied Energy*, 304(5), 117896.
- Zulfikar, A. J. (2020). The Flexural Strength of Artificial Laminated Composite Boards made from Banana Stems. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, 2(3), 334–340.
- Zulfikar, A. J., Ritonga, D. A. A., Pranoto, S., Nasution, F. A. K., Arif, Z., & Junaidi, J. (2023). Analisis Kekuatan Mekanik Komposit Polimer Diperkuat Serbuk Kulit Kerang. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 6(1), 30–40.