

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **V.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Berbasis *Thermoelectric generator* dengan Memanfaatkan *Exhaust Manifold* dan Aliran Bahan Bakar", maka peneliti mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Debit aliran bahan bakar berpengaruh signifikan terhadap perpindahan panas; semakin rendah debit, semakin besar penyerapan panas oleh bahan bakar (maksimal  $\Delta T$  11,66°C), namun suhu sisi dingin TEG juga meningkat yang berisiko menurunkan efisiensi termal jangka panjang.
2. Konfigurasi Rangkaian Seri menghasilkan daya paling secara keseluruhan, dengan daya maksimal sebesar 1,03 Watt pada debit 1,44 L/menit.
3. Penempatan modul pada posisi nomor 4 (terdekat dengan *exhaust port*) menghasilkan suhu paling tinggi, yang membuktikan bahwa posisi modul menentukan besarnya kontribusi tegangan pada sistem secara keseluruhan.

#### **V.2. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan di atas, maka peneliti merekomendasikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penambahan *thermal interface material* yang memiliki konduktivitas termal lebih tinggi untuk memaksimalkan perpindahan panas dari manifold ke sisi panas Peltier.
2. Disarankan menggunakan *DC-DC Step Up Converter* untuk menstabilkan tegangan keluaran agar dapat digunakan secara praktis untuk mengisi daya baterai kendaraan. Selain itu, penggunaan *boost converter* dapat dipertimbangkan untuk menaikkan tegangan output agar dapat digunakan untuk mengisi daya perangkat elektronik atau baterai 12V secara lebih efisien.
3. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan modul TEG dengan spesifikasi suhu tinggi (tipe TEP-127 atau sejenisnya) agar tidak mudah mengalami degradasi akibat panas ekstrem dari manifold.

Selain itu, penelitian selanjutnya dapat mencoba variasi dimensi *waterblock* untuk meningkatkan luas permukaan kontak fluida sehingga pendinginan lebih optimal meskipun pada debit tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Albana, M. H., Baharudin, B., Ibrahim, Nugroho, C. B., & Saputra, I. (2018, Desember 14). *Thermoelectric generator* for electricity from the exhaust manifold of the diesel engine. *Proceedings of the 2018 International Conference on Applied Engineering, ICAE 2018*. <https://doi.org/10.1109/INCAE.2018.8579150>
- AlHidayat, Alh., Bakhri, S., & Dinata, S. (2021). Rancang Bangun Generator Thermal Dengan Pemanfaatan Limbah Panas Knalpot Motor Replika. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 20(1), 71. <https://doi.org/10.24843/mite.2021.v20i01.p08>
- Ansyori, A. (2017). *Rancang Bangun Sistem Generator Termoelektrik Sederhana sebagai Pembangkit Energi Listrik dengan Menggunakan Metode Seebeck Effect*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Aribowo, W., Widyartono, M., & Chandra Hermawan, A. (2021). Monitoring Arus, Tegangan, dan Suhu Pada Prototype *Thermoelectric generator* Berbasis IoT. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1).
- Asaduzzaman, M., Ali, M. H., Pratik, N. A., & Lubaba, N. (2023). Exhaust heat harvesting of automotive engine using thermoelectric generation technology. *Energy Conversion and Management: X*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100398>
- Atmoko, N. T., Jamaldi, A., & Riyadi, T. W. B. (2022). An Experimental Study of the TEG Performance using Cooling Systems of Waterblock and Heatsink-Fan. *Automotive Experiences*, 5(3), 361-367. <https://doi.org/10.31603/ae.6250>
- Bastanta Oktavianus Zega. (2021). *Analisa Pengaruh Jumlah Dan Susunan Thermoelectric generator Terhadap Karakteristik Termoelectric Generator Pada Motor Bensin 4 Cylinder*. Universitas Islam Riau.
- Bayendang, N. P., Kahn, M. T., & Balyan, V. (2022). *Thermoelectric generators* (TEGs) modules—Optimum electrical configurations and performance determination. *AIMS Energy*, 10(1), 102-130. <https://doi.org/10.3934/ENERGY.2022007>

- Bhakta, S., & Kundu, B. (2024). A Review of *Thermoelectric generators* in Automobile Waste Heat Recovery Systems for Improving Energy Utilization. Dalam *Energies* (Vol. 17, Nomor 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/en17051016>
- Bima Anggara. (2021). *Generator Alternatif Menggunakan Termoelektrik Pada Exhaust Manifold*. Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan .
- Bonardo, N., Hudaya, C., Olat Maras Raya, J., Alang, B., Hulu, M., Tenggara Barat Indonesia, N., & Author, C. (2021). *Science and Technology RANCANGAN TERMoeLEKTRIK GENERATOR (TEG) PORTABEL PADA KNALPOT SEPEDA MOTOR DENGAN MATERIAL ALUMUNIUM SEBAGAI KONDUKTOR* (Vol. 5, Nomor 1). <http://jurnal.uts.ac.id>
- Caton, J. A. (2018). The thermodynamics of internal combustion engines: Examples of insights. *Inventions*, 3(2). <https://doi.org/10.3390/inventions3020033>
- Di, U., Ban, D., Bermotor, K., Empat, R., Sensor, M., Udara, T., Arduino, B., & Novrizaldi, M. A. (t.t.). *Perancangan Alat Monitoring Tekanan*.
- Diki, M., Charis Fathul Hadi, Risk Fita Lestari, & Rezki Nalandari. (2022). Pemanfaatan Termoelektrik Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *JOURNAL ZETROEM*, 4(1), 23-25. <https://doi.org/10.36526/ztr.v4i1.1913>
- Gibran, M. A., Novianto, S., Supriyadi, S., & Bhikuning, A. (2024). TERMoeLEKTRIK GENERATOR DAN FUNGSINYA. *JURNAL PENELITIAN DAN KARYA ILMIAH LEMBAGA PENELITIAN UNIVERSITAS TRISAKTI*, 404-418. <https://doi.org/10.25105/pdk.v9i2.20109>
- Gu, Z., He, S., Li, X., Sun, P., Wu, J., Hu, H., Zhang, Q., & Jiang, J. (2024). Hundred-Watt Implantable TEG Module for Large-Scale Exhaust Gas Waste Heat Recovery. *Energies*, 17(3). <https://doi.org/10.3390/en17030665>
- Gürçan, A., & Yakar, G. (2025). Effect of Different Heat Sink Designs on *Thermoelectric generator* System Performance in a Turbocharged Tractor. *Energies*, 18(13). <https://doi.org/10.3390/en18133267>

- Karabulut, M., Sayın, C., & Erdoğan, S. (2024). Effects of an Exhaust System Equipped with a *Thermoelectric generator* on Combustion, Performance, Emissions, and Energy Recovery in a Diesel Engine Using Biodiesel. *Energies*, 17(5). <https://doi.org/10.3390/en17051083>
- Nisa, F. K., Rahmadanti, D. A., Rohmatun Khasanah, Y., Aura Nabela, Y., Aqila Nisa, S., Dwi Pratiwi, J., & Ratnasari, Y. (2024). Analisis Pemahaman Konsep Rangkaian Listrik Seri dan Paralel Melalui Praktikum Sederhana. *Jurnal BELAINDIKA (Pembelajaran dan Inovasi Pendidikan)*, 6(2), 107-118. <https://doi.org/10.52005/belaindika.v6i2.213>
- Krishna Kumar, T. S., Anil Kumar, S., Kodanda Ram, K., Goli, K. R., & Siva Prasad, V. (2020). Analysis of thermo electric generators in automobile applications. *Materials Today: Proceedings*, 45, 5835-5839. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.081>
- Kristoforus Agastya Munis. (2013). *Karakteristik Generator Termoelektrik*. Universitas Sanata Dharma.
- Laki, R. F., Gunawan, H., & St, N. G. (t.t.). *ANALISIS KONSUMSI BAHAN BAKAR MOTOR BENSIN YANG TERPASANG PADA SEPEDA MOTOR SUZUKI SMASH 110CC YANG DIGUNAKAN PADA JALAN MENANJAK*.
- Lan, Y. , L. J. , & W. S. (2024). An experimental study on the performance of TEGs using uniform flow distribution heat exchanger for low-grade thermal energy recovery. *Energy*, 292(130506).
- Lan, Y., J. Lu, & S. Wang. (2024). An Experimental Study on the Performance of TEGs Using Uniform Flow Distribution Heat Exchanger for Low-Grade Thermal Energy Recovery. *Energy*, 292(130506).
- Mansyur, S., & Harahap, A. A. (2025). Sistem Otomatisasi Pengendalian Kelembaban menggunakan Sensor DHT21 dan Modul Peredup Arus Bolak-Balik (AC Light Dimmer). *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 4(3), 153-164. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i3.339>

- Marwiyah, M. (2024). Penggunaan Arus Searah / Direct Current (Dc) Pada Rangkaian Listrik. *Journal of Maritime and Education (JME)*, 6(2), 676-680. <https://doi.org/10.54196/jme.v6i2.146>
- Nur Huda, D., Siti, D., & Kumala, A. (t.t.). *Didik Nur Huda & Siti Ayu Kumala / Identifikasi Termoelektrik Generator sebagai 6 SINASIS 1 (1) (2020) P r o s i d i n g S e m i n a r N a s i o n a l S a i n s Identifikasi Termoelektrik Generator sebagai Pembangkit Tenaga Listrik.*
- Ponnusamy, R., Barik, D., Lakshan Sri, L. A. S., Ragupathi, P., Pradeep, S., & Lakshan, L. (2018). A Review On Waste Heat Recovery Technologies In Internal Combustion Engines. *International Journal of Research in Advent Technology, Special Issue*. [www.ijrat.org](http://www.ijrat.org)
- Pustějovská, K., Janovská, K., & Jursová, S. (2023). Alternative Sources of Energy in Transport: A Review. Dalam *Processes* (Vol. 11, Nomor 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/pr11051517>
- Rahmat, B., & Wijaya, M. B. R. (2023). Performa Mesin Silinder Tunggal dengan Variasi Kompresi dan Bahan Bakar. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 21(2), 85-92. <https://doi.org/10.52330/jtm.v21i2.111>
- Ramadhani, N. R. (2025). Studi Eksperimental Karakteristik Output Tegangan pada Variasi Susunan Seri-Paralel Modul *Thermoelectric generator* (TEG). *Jurnal Rekayasa Mesin (JRM)*, 10(03), 678-684. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin>
- Rifky, R., Fikri, A., & Mujirudin, M. (2021). Konversi Energi Termal Surya Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik. *JURNAL KAJIAN TEKNIK MESIN*, 6(1), 60-65. <https://doi.org/10.52447/jktm.v6i1.4532>
- Rokhim, A. A., Endahwati, L., & Sutiyono, S. (t.t.). *Pemanfaatan Energi panas menggunakan Termoelektrik Generator dengan Variasi Peltier*. 14(1), 19-23.

- Saidur, R., Rezaei, M., Muzammil, W. K., Hassan, M. H., Paria, S., & Hasanuzzaman, M. (2012). Technologies to recover exhaust heat from internal combustion engines. Dalam *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 16, Nomor 8, hlm. 5649-5659). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.018>
- Sukendar, T., Utsman, F., & Sinambela, R. (2025). Pemanfaatan *Thermoelectric generator* (TEG) untuk Penyimpanan Energi Panas dari Limbah Industri. *Jurnal Teknik Industri*, 14(2). <https://doi.org/10.35968/jtin.v14i2.1785>
- 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). <https://doi.org/10.30596/rmme.v5i1.10260>
- Wahyudi. (2019). *Pemanfaatan Air Panas Sebagai Sumber Energi Listrik Menggunakan Thermoelectric*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan.
- Yusuf, M., Priyandoko, G., Istiadi, I., & Rofii, F. (2021). Prototype Data Logger Multimeter Digital Secara Wireless Berbasis Smartphone. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 2(02), 61-74. <https://doi.org/10.31328/jasee.v2i02.16>
- Zhu, B., Zhang, Y., & Wang, D. (2024). Investigation of Engine Exhaust Heat Recovery Systems Utilizing Thermal Battery Technology. *World Electric Vehicle Journal*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/wevj15100478>
- Zoui, M. A., Bentouba, S., Stocholm, J. G., & Bourouis, M. (2020). A review on *thermoelectric generators*: Progress and applications. Dalam *Energies* (Vol. 13, Nomor 14). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en13143606>