

PENGARUH LAJU ALIRAN AIR PENDINGIN TERHADAP KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS *THERMOELECTRIC GENERATOR* (TEG)

Rahmat Iman Mainil, Gontor Andrapica dan Azridjal Aziz

Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widaya Km 12.5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

E-mail : rahmat.iman@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Besarnya energi yang terbuang pada kendaraan menyebabkan para peneliti berupaya untuk memanfaatkan energi berupa panas buang kendaraan sebagai sumber energi listrik. Termoelektrik generator merupakan sebuah perangkat yang bekerja memanfaatkan efek seebeck sehingga dapat mengubah panas menjadi energi listrik. Dalam penelitian kali ini panas dirubah menjadi listrik menggunakan termoelektrik jenis TEG SP 1848 dan TEC 12706. Variasi laju aliran air pendingin 1,7 L/min dan 3,5 L/min digunakan untuk mengetahui efek laju aliran air pendingin terhadap kinerja *Thermoelectric Generator*. Jumlah modul termoelektrik juga divariasikan dari 1-4 buah. Temperatur panas *input* diperoleh dari sebuah *heater* listrik yang diberi tegangan 80 volt menggunakan sebuah *slide regulator*. Hasilnya didapatkan bahwa laju aliran air 3.5 L/min dapat menghasilkan daya listrik hingga 1.03 W pada penggunaan 4 buah modul TEG SP 1848.

Kata kunci : efek seebeck, generator termoelektrik

ABSTRACT

The amount of energy wasted on the vehicle caused the researchers trying to utilize energy in the form of exhaust heat as a source of electrical energy. Thermoelectric generator is a device that works by utilizing the Seebeck effect so that it could convert heat into electrical energy. In this research, heat was converted into electricity using thermoelectric generator (TEG SP 1848 and TEC 12706). Variations of cooling water flow rate of 1.7 L / min and 3.5 L / min were employed to determine the effect of cooling water flow rate on the performance of the Thermoelectric Generator. The number of thermoelectric modules was varied from 1-4. The heat input temperature was obtained from an electric heater with a setting voltage of 80 volts by slide regulator. The results showed that the water flow rate of 3.5 L / min could produce up to 1.03 W of electric power when using 4 SP 1848 TEG modules.

Keywords : seebeck effect, thermoelectric generator

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi akan meningkat dari tahun ke tahun seiring dengan menurunnya pasokan energi fosil yang diperkirakan akan habis sehingga mendorong para peneliti untuk menemukan sumber-sumber energi yang baru dan terbarukan (Djafar et al. 2011). Panas merupakan sumber energi yang bisa didapatkan dari berbagai sumber seperti matahari atau dari buangan berbagai peralatan mesin seperti panas buang kendaraan, panas buang sistem pembangkit, panas buang kondensor Ac dan lain sebagainya. Generator

termoelektrik adalah salah satu perangkat yang dapat mengkonversi panas menjadi energi listrik sehingga dapat menjadi satu solusi dalam mengatasi masalah energi (Nugroho et al. 2015; Tambunan et al. 2015). Teknologi termoelektrik memiliki beberapa keunggulan seperti ramah lingkungan, tahan lama, dan mampu menghasilkan energi dalam skala besar ataupun kecil (Tambunan et al. 2015).

Penelitian (Wirawan, 2012) memanfaatkan sumber panas sebagai sumber energi termoelektrik. Termoelektrik disusun seri dengan rangkaian 8 buah modul. Sisi dingin modul termoelektrik dipasang

heat pipe sebagai media pembuang panas. Hasilnya didapatkan tegangan maksimal sebesar 15.6 V dengan daya 2.4 W.

Eakburanawat dan Boonyaroonate (2006) mengembangkan sebuah sistem *battery charger* berbasis termoelektrik yang mampu menghasilkan daya maksimum sebesar 7,99 W. Penelitian tersebut menggunakan sumber kalor panas buang tungku api dan dinding tungku. Pembangkit termoelektrik ini juga telah dikembangkan untuk diaplikasikan pada laptop.

Nuwayhid et al. (2005) mengaplikasikan generator termoelektrik pada tungku api tradisional dimana panas tungku menjadi sumber energi. Modul termoelektrik dapat menghasilkan daya sebesar 4.2 W.

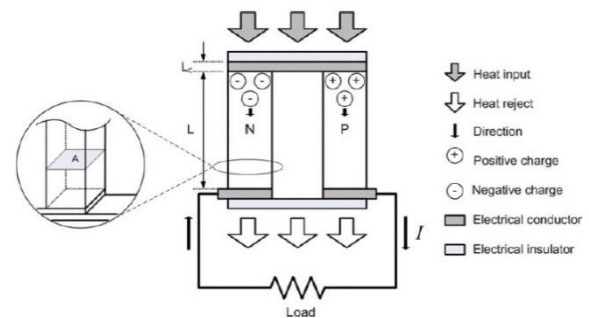
Nandy et al. (2010) melakukan simulasi variasi tegangan pemanas/heater 110 V dan 220 V. Hasil pengujian menggunakan sumber tegangan 220 V dapat menghasilkan daya 8.11 W pada beda temperatur 42,82 °C. Jumlah elemen termoelektrik yang digunakan pada penelitian ini adalah 12.

Penelitian lain (Sugiyanto, 2014) memanfaatkan dua buah kompor gas elpiji sebagai sumber panas. Dua buah modul termoelektrik berbeda digunakan untuk mengkonversi panas menjadi listrik. Modul termoelektrik TEG 127-40A mampu menghasilkan 3.77 V dan 0.39 A.

Kendaraan bermotor yang mengkonsumsi bahan bakar untuk menghasilkan energi gerak membuang sampai 70 % panas ke lingkungan melalui radiator dan gas buang. Temperatur gas buang atau radiator tersebut dapat mencapai 700 °C. Panas buang tersebut sebetulnya dapat dimanfaatkan sehingga tidak terbuang percuma. Teknologi termoelektrik dapat menjadi salah satu alternatif dalam memanfaatkan panas buang kendaraan menjadi energi listrik. Energi ini diharapkan dapat mengkompensasi kehilangan energi akibat buangan panas pada kendaraan (Nugroho et al. 2015).

Modul termoelektrik generator bekerja dengan efek seebeck yang dikenalkan oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821 (Riffat and Ma 2003; Mal et al. 2015). Prinsip kerja dari efek ini adalah jika terdapat dua buah material yang berbeda dihubungkan dalam suatu rangkaian yang tertutup dan pada kedua sambungannya dipertahankan pada temperatur yang berbeda, sehingga arus listrik akan mengalir pada rangkaian tersebut. Perbedaan tegangan kedua material

tersebut dapat diukur dengan memasang galvanometer pada salah satu sambungannya. Gambar 1 memperlihatkan bagaimana generator termoelektrik tersebut bekerja.



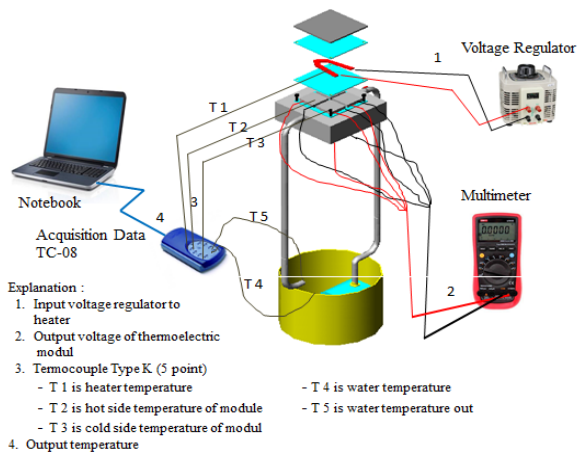
Gambar 1. Skema kerja generator termoelektrik
(Eakburanawat and Boonyaroonate, 2006)

Dalam pemanfaatan termoelektrik generator untuk mengkonversi panas buang kendaraan menjadi energi listrik, penelitian-penelitian masih terbatas dengan pendingin menggunakan udara. Sehingga dalam penelitian ini dikembangkan sistem konversi energi panas buang menjadi energi listrik dengan sisi penyerap panas menggunakan air dengan temperatur 10°C. Untuk mendapatkan nilai panas buang kendaraan, digunakan sebuah heater listrik yang sumber panasnya divariasikan mendekati panas radiator dan gas buang kendaraan. Dua buah tipe modul termoelektrik yaitu tipe TEC 12706 dan TEG SP 1848 digunakan untuk mengetahui mana modul termoelektrik yang lebih efektif digunakan dalam pemanfaatan panas tersebut.

BAHAN DAN METODE

Metode pengujian

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian modul termoelektrik dengan tipe TEC 12706 dan TEG SP 1848. Sebuah *voltage regulator* kapasitas 1 KW dengan merk *Matsuyama slide regulator* digunakan sebagai sumber energi untuk pemanas heater. Heater listrik sebagai sumber panas ditempatkan pada plat aluminium dengan ukuran (100x100x2) mm yang dipasang pada sisi penyerap panas modul termoelektrik. Sebuah sistem pendingin dengan fluida air bertemperatur 10° C di tempatkan pada sisi pembuang panas termoelektrik. Pompa tipe *Amara AA 104* digunakan untuk mensirkulasikan air pendingin. Heater listrik dan sistem pendingin diisolasi untuk mencegah adanya rugi-rugi panas. Seluruh komponen ditempatkan pada rangka dudukan sistem pengujian.



Gambar 2. Skematik alat uji thermoelectric generator (Andrapica et al. 2017)

Untuk memulai eksperimen, modul termoelektrik ditempatkan diantara heater dan sistem pendingin dengan variasi 1, 2, 3, dan 4 jumlah modul termoelektrik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah elemen terhadap daya yang dihasilkan. Kemudian heater listrik dipanaskan dengan tegangan 80Volt menggunakan slide regulator. Air pendingin dengan temperatur 10 °C dialirkan melewati sistem pendingin dengan variasi bukaan katup 45° dan 90° yang sesuai dengan laju aliran air 1.7 L/min dan 3.5 L/min. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju aliran air terhadap kinerja generator termoelektrik.

Termokopel tipe K dipasang pada beberapa titik pengujian yaitu pada heater, bagian penyerap panas modul termoelektrik, bagian pembuang panas, temperatur air masuk dan keluar sistem pendingin. Data pengukuran temperatur dibaca menggunakan data akuisisi TC-08 yang dihubungkan dengan perangkat komputer. Pengambilan data dilakukan selama 30 menit untuk setiap variasi pengujian.

Data reduksi

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam perhitungan data hasil pengujian ditunjukkan oleh persamaan 1-5

Koefisien seebeck dapat dinyatakan dari persamaan berikut:

$$S = \frac{V}{\Delta T} \quad (1)$$

Dimana :

S = Koefisien seebeck (V/°C)

V = Beda potensial (V)

ΔT = Perbedaan temperatur antara sisi panas dan sisi dingin dari modul termoelektrik (K).

Panas yang diserap (Q_h) dan panas yang dibuang (Q_c) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_H = K_{TEG}(T_H - T_C) + (S_{TEG} \cdot T_H \cdot I) - \left(\frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_{TEG}\right) \quad (2)$$

$$Q_C = K_{TEG}(T_H - T_C) + (S_{TEG} \cdot T_C \cdot I) + \left(\frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot R_{TEG}\right) \quad (3)$$

Dimana :

Q_H = Kalor yang diserap pada sisi panas modul termoelektrik (W)

Q_C = Kalor yang dibuang pada sisi dingin modul termoelektrik (W)

T_H = Temperatur pada sisi panas termoelektrik (°C)

T_C = Temperatur pada sisi dingintermoelektrik (°C)

K_{TEG} = Konduktivitas termal modul termoelektrik (W/m.°C)

S_{TEG} = Koefisien seebeck (V/°C)

I = Arus (A)

R_{TEG} = Hambatan (Ω)

Daya listrik yang dihasilkan oleh modul thermoelectric (P_{TEG}) dapat didefinisikan melalui persamaan efisiensi konversi energi (η) yaitu:

$$P_{TEG} = Q_H - Q_C \quad (4)$$

Dimana :

P_{TEG} = Daya Listrik (W)

P_{TEG} dapat dihitung dengan mengetahui besar arus listrik (I) dan besar tegangan yang diberikan (V_{TEG}), seperti dapat dilihat pada Persamaan 2.7.

$$P_{TEG} = V_{TEG} \cdot I \quad (5)$$

Dimana :

P_{TEG} = Daya listrik (W)

I = Arus (A)

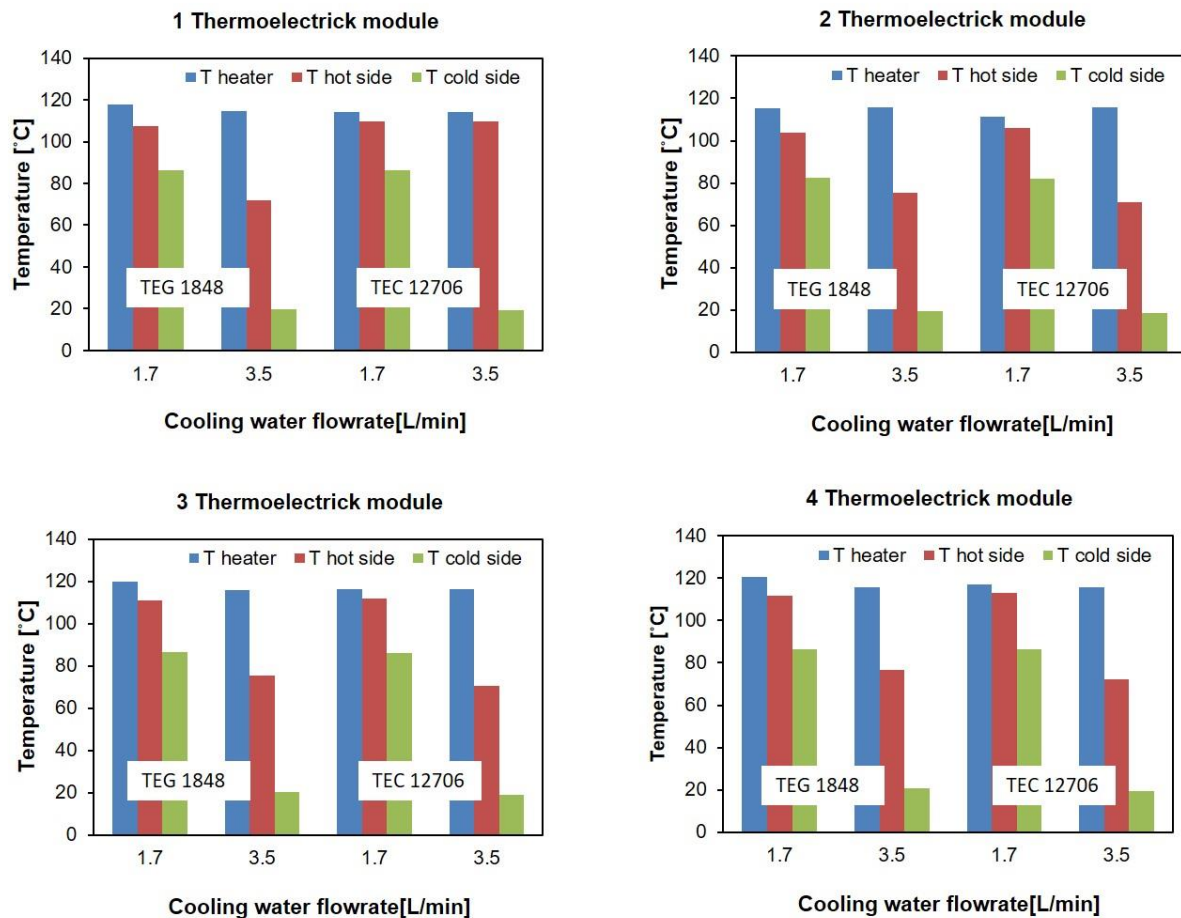
Hambatan dari modul thermoelectric dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui efek laju aliran air pendingin pada sisi pembuangan panas terhadap kinerja dari termoelektrik generator dilakukan pengujian terhadap dua jenis modul termoelektrik, TEG SP 1848 dan TEC 12706 dengan variasi jumlah modul 1, 2, 3, dan 4. Panas input dengan tegangan 80 volt di berikan pada heater listrik sehingga terjadi perbedaan temperatur antara sisi penerima panas yang kontak langsung dengan heater dan sisi

pembuang panas yang berkontak dengan air bertemperatur 10°C. Perbedaan temperatur *heater*, sisi panas, dan sisi dingin untuk kedua jenis

termoelektrik pada laju aliran air 1.7 L/min dan 3.5 L/min dapat dilihat pada **gambar 3**.



Gambar 3.Efek laju aliran air pendingin terhadap temperatur *heater*, sisi panas, dan sisi dingin termoelektrik TEG SP 1848 dan TEC 12706

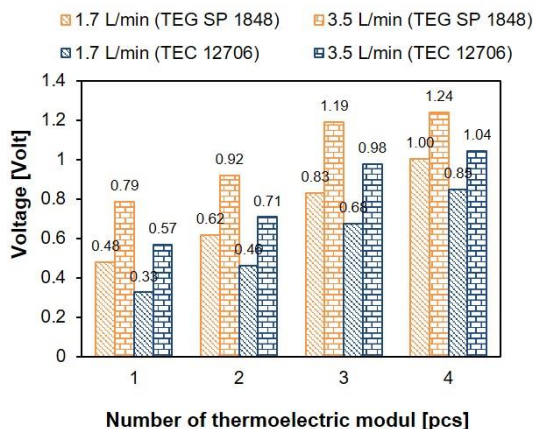
Nilai temperatur yang ditunjukkan pada gambar 3 merupakan rata-rata temperatur pada keadaan stasioner. Temperatur heater berkisar antara 117-120 °C untuk kedua jenis modul termoelektrik pada seluruh konfigurasi modul (1-4 buah) dan laju aliran air (1,7 dan 3,5 L/min). Tidak terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada temperatur heater karena sumber listriknya memiliki tegangan yang dikontrol pada 80 V. Berbeda dengan temperature sisi panas yang merupakan bagian termoelektrik yang berkontak langsung dengan heater, dimana temperature sisi panas mengalami penurunan pada penggunaan laju aliran pendingin 3.5 L/min.

Rata-rata temperatur sisi panas lebih rendah 35 °C pada laju aliran pendingin 3.5 L/min dibanding dengan 1,7 L/min. Rata-rata beda temperatur antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik untuk laju aliran 1.7 L/min adalah 23.2 °C, sementara untuk laju aliran 3.5 L/min adalah 55.4 °C. Hal ini menunjukkan semakin tinggi laju aliran

air pendingin maka panas yang diserap oleh air akan semakin tinggi sehingga beda temperature antara sisi panas dan dingin modul termoelektrik semakin besar.

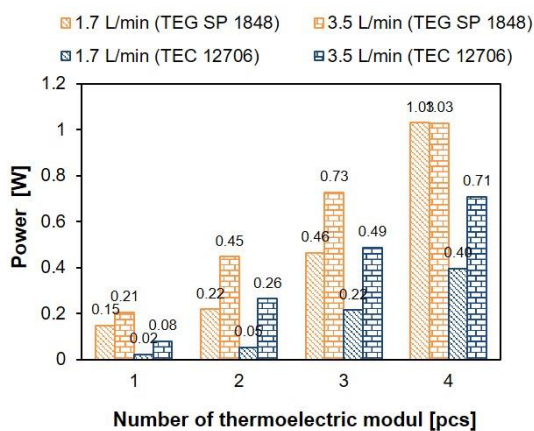
Tegangan output yang dihasilkan oleh modul termoelektrik terhadap laju aliran pendingin dengan variasi jumlah modul termoelektrik pada TEG SP 1848 dan TEC 12706 dapat dilihat pada **gambar 4**. Tegangan output maksimum yang dihasilkan oleh modul TEG SP 1848 pada laju aliran 1,7 L/min untuk konfigurasi 1, 2, 3, 4 buah modul termoelektrik adalah 0,48 V, 0,62 V, 0,83 V, 1 V. Sedangkan untuk laju aliran 3.5 L/min tegangan output yang dihasilkan adalah 0,79 V, 0,92 V, 1,19 V, 1,24 V. Ini menunjukkan bahwa beda temperatur sisi panas dan dingin berpengaruh terhadap peningkatan voltase keluaran dimana semakin besar beda temperatur maka tegangan akan semakin besar. Disamping itu jumlah dari elemen termoelektrik juga berpengaruh karena jumlah elemen dapat menyerap lebih banyak panas sehingga tegangan yang dihasilkan akan

semakin besar. Jika di dibandingkan dengan TEC 12706 maka voltase yang dihasilkan TEC 12706 lebih rendah dari TEG SP 1848 karena koefisien *seebeck* darimodul TEG lebih besar dari modul TEC.



Gambar 4. Tegangan output yang dihasilkan generator termoelektrik

Daya yang dihasilkan oleh termoelektrik generator tipe TEG SP 1848 lebih besar dari daya yang dihasilkkan oleh TEC 12706 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Daya yang dihasilkan generator termoelektrik

Dengan menggunakan 1, 2, 3, dan 4 modul termoelektrik daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh TEG dengan laju aliran 1.7 L/min adalah 0.15 W , 0.22 W, 0.46 W, 1.03 W. Sedangkan TEC menghasilkan 0.02 W, 0.05 W, 0.22 W, 0.4 W. Sedangkan untuk laju aliran 3,5 L/min daya yang dihasilkan TEG adalah 0.21 W, 0.45 W, 0.73 W, 1.03 W untuk variasi jumlah modul. Sementara itu TEC 12706 menghasilkan daya 0.07 W, 0.26 W, 0.48 W, 0.70 W (1, 2, 3, 4 modu ltermoelektrik). Hal ini menunjukkan kinerja TEG SP 1848 lebih baik dari TEG 12706, contohnya untuk penggunaan satu buah modul

termoelektrik TEG SP 1848 dengan laju aliran 3.5 L/min dapat meningkatkan daya hingga 61% jika dibandingkan penggunaan TEC 12706.

Pengaplikasian laju aliran yang tinggi (3.5 L/min) dapat meningkatkan kapisitas pembuangan panas modul termoelektrik yang dapat memperbesar beda potensial dari elemen termoelektrik tersebut, sehingga daya listrik yang dihasilkan semakin besar.

KESIMPULAN

Pengujian termoelektrik generator tipe TEG SP 1848 dan TEC 12706 dengan variasi 1-4 buah modul untuk mengetahui efek laju aliran air pendingin sudah selesai dilakukan. Untuk memvariasikan laju aliran air maka katup saluran air dibuka 45° untuk laju aliran 1,7 L/min dan 90° untuk laju aliran 3,5 L/min. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa semakin tinggi laju aliran air pendingin maka panas yang diserap oleh air akan semakin tinggi sehingga beda temperatur antara sisi panas dan dingin modul termoelektrik semakin besar. Rata –rata beda temperatur dari sisi panas dan dingin dengan laju aliran 3.5 L/min adalah 55.4 °C. Disamping itu semakin besar beda temperatur maka tegangan yang dihasilkan akan semakin besar. Semakin banyak modul termoelektrik yang digunakan maka semakin besar kapasitas penyerapan panas. Pengaplikasian laju aliran yang tinggi (3.5 L/min) dapat meningkatkan kapisitas pembuangan panas modul termoelektrik yang dapat memperbesar beda potensial dari elemen termoelektrik, sehingga daya listrik yang dihasilkan semakin besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Riau sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

Andrapica, G. et al. 2017. Pengujian Thermoelectric Generator Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Sisi Dingin Menggunakan Air Bertemperatur 10 °c. *Jurnal Sains dan Teknologi* 14(2), pp. 45–50. Available at: <https://ejournal.unri.ac.id/index.php/JST/article/view/3983/3867>.

Djafar, Z. et al. 2011. Pengaruh Variasi Temperature Fluida Panas Tergadap Karakteristik Modul Termoelektrik Generator. *Jurnal Teknik Mesin* 11(1), pp. 32–41. Available at: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/download/185/147>.

Eakburanawat, J. and Boonyaroonate, I. 2006. Development of a thermoelectric battery-charger with

- microcontroller-based maximum power point tracking technique. *Applied Energy* 83(7), pp. 687–704. doi: 10.1016/j.apenergy.2005.06.004.
- Mal, R. et al. 2015. The design, development and performance evaluation of thermoelectric generator (TEG) integrated forced draft biomass cookstove. *Procedia Computer Science* 52(1), pp. 723–729. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.05.085>.
- Nandy, P. et al. 2010. Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid. *MAKARA of Technology Series* 13(2), pp. 53–58. doi: 10.7454/mst.v13i2.466.
- Nugroho, W.A. et al. 2015. Exhaust System Generator: Knalpot Penghasil Listrik Dengan Prinsip Termoelektrik. *Exhaust System Generator: Knalpot Penghasil Listrik Dengan Prinsip Termoelektrik* 13(2), pp. 161–168. doi: 10.15294/saintekno1.v13i2.5249.
- Nuwayhid, R.Y. et al. 2005. Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling. *Energy Conversion and Management* 46(9-10), pp. 1631–1643. doi: 10.1016/j.enconman.2004.07.006.
- Riffat, S.B. and Ma, X. 2003. Thermoelectrics: A Review of Present and Potential Applications. *International Journal of Applied Thermal Engineering* 23, pp. 913–935. doi: 10.1016/S1359-4311(03)00012-7.
- Sugiyanto, S.S. 2014. Pemanfaatan Panas Pada Kompor Gas Lpg Untuk Pembangkitan Energi Listrik Menggunakan Generator. *Teknologi* 7, pp. 100–105.
- Tambunan, W. et al. 2015. Pengembangan Dan Optimalisasi Elemen Peltier Sebagai Generator Termal Memanfaatkan Energi Panas Terbuang. *Komunikasi Fisika Indonesia* 12(11), pp. 720–726. Available at: <https://ejournal.unri.ac.id/index.php/JKFI/article/view/2913/2846>.
- Wirawan, R. 2012. Analisa Penggunaan Heat Pipe pada Thermoelectric Generator., pp. 1–59.