



Modifikasi Kompor Termoelektrik: Perubahan Panas menjadi Listrik

Bambang Hermawan^{*}), Firmansyah

Departemen Fisika, FMIPA, IPB, Jalan Meranti Wing S Level 5. Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

^{*}) Penulis korespondensi : bangor@apps.ipb.ac.idabc@ub.ac.id

Abstract

Modification of Thermoelectric Stove: Converting Heat into electric. The heat generated from burning in the charcoal kiln is wasted on the furnace walls to the environment. This wasted heat can be used to generate electrical energy using Thermoelectric (TE). Thermoelectric (TE) is a semiconductor that can convert heat into electricity by using the principle of the Seebeck effect, the power supply is used to change the electrical output to suit the working load conditions of the equipment. The purpose of this research is to utilize thermoelectric (TE) to convert the wasted heat on the walls of the charcoal/briquette furnace into electrical energy. Furthermore, the output voltage on the Thermoelectric (TE) is entered into the power supply and then stored in a lithium battery for use at different times, places, and equipment. The stove is modified by attaching TE to the stove wall, to match the characteristics and specifications of the TE that will be used in the next stage. The current and voltage are then increased by making two TE series circuits consisting of four TEs (peltier type), the TEs arranged in series will increase the output voltage, then the output voltage is connected in parallel which aims to increase the output current generated. The charging module is added together with the step-up module then assembled into a single power supply unit. The combination of a fan, heatsink and heat paste on a modified stove is able to make TE according to its operating specifications (here I will give a little explanation that each type of TE has a different ability to convert heat into electricity, the most important of which is the operating specification is the temperature on the side). TE heat used in this study has a maximum limit of 120oC). The assembled TE is capable of providing a significant output current difference of up to 2x. The overall TE circuit arrangement increases current and voltage output by up to 3x. The output voltage at the end of the circuit after using the stepup module is 5.04V, and the resulting current is 0.35 A (power generated 1.764 watts). During 20 minutes of charging, it can charge up to 1.59V on an 18650 lithium battery, or the equivalent of 0.588 wh. (for commercial charging on TE still not many people use it)

Keywords: power supply, rechargeable battery, renewable energy, waste heat

Abstrak

Panas yang dihasilkan pada pembakaran didalam kompor arang ada yang terbuang pada dinding kompor. Termoelektrik (TE) adalah semikonduktor yang dapat mengubah panas menjadi listrik menggunakan prinsip *Seebeck effect*, sebuah catu daya (*power supply*) digunakan untuk merubah output listrik agar sesuai dengan kondisi beban kerja peralatan. Tujuan dari penelitian ini adalah menggunakan termoelektrik (TE) untuk mengubah panas terbuang (*wasted heat*) pada dinding kompor arang/briket menjadi listrik. Selanjutnya output listrik dimasukkan ke sebuah catu daya lalu disimpan didalam baterai litium untuk dapat digunakan di waktu, tempat, dan peralatan yang berbeda. Kompor dimodifikasi agar sesuai dengan karakteristik dan spesifikasi TE yang akan digunakan pada tahap berikutnya. Arus dan Tegangan kemudian dinaikkan dengan membuat dua buah rangkain seri TE yang tersusun dari empat buah TE (tipe peltier) kemudian outputnya dirangkakan secara paralel. Sebuah modul charger ditambahkan bersama dengan modul *step-up* kemudian dirakit untuk membuat satu unit catu daya. Kombinasi kipas, *heatsink* dan pasta panas pada modifikasi kompor mampu membuat TE berada pada spesifikasi pengoperasian. Mampu memberikan perbedaan yang

nyata pada output arus sampai 2x lipatnya. Penyusunan rangkain TE secara keseluruhan meningkatkan output arus dan tegangan sampai 3x lipatnya. Daya diujung rangkaian adalah sebesar 5,04V dan selama 20 menit pengisian mampu mengisi sampai 1,59V.

Kata kunci: baterai isi ulang, catu daya, panas terbuang, energi terbarukan

PENDAHULUAN

Di daerah pedesaan salah satu cara mendapatkan energi untuk proses memasak atau penghangat adalah menggunakan kompor kayu, arang atau briket. Selain itu para pedagang makanan di perkotaan saat ini banyak yang kembali menggunakan kompor jenis ini untuk alasan rasa dan aroma. Proses pembakaran didalam kompor dapat mencapai suhu 500°C, sedangkan panas yang terserap pada dinding kompor dapat mencapai 300°C. Panas terbuang (*wasted heat*) dapat digunakan sebagai salah satu sumber energi terbarukan (*renewable energy*). Dalam hal ini karena energi panas dapat dipanen menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi semikonduktor (Elsheikh 2014; Sornek 2021) maka tentu sangat membantu pada pemenuhan energi listrik di daerah yang membutuhkan yang utamanya untuk penerangan atau peralatan elektronik (najjar 2017).

Termoelektrik (TE) adalah suatu semikonduktor yang memiliki kemampuan untuk mengubah panas menjadi listrik (*Seebeck effect*) sehingga dapat dimanfaatkan untuk memanen panas yang terbuang untuk selanjutnya disalurkan sebagai energi listrik (Schierning 2015 ; Zouli 2020). Listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan langsung sebagai pembangkit televisi (Killander 1996) maupun sebagai penerangan menggunakan LED (Mal 2015; Nuraida 2020). Sampai saat ini efisiensi dari penggunaan TE untuk menghasilkan listrik masih rendah tetapi manfaatnya sangat besar, sehingga kebutuhan energi akan menjadi lebih utama dibandingkan efisiensinya (Rowe 1999).

Besaran *output* listrik berupa arus maupun tegangan pada TE berbanding lurus dengan perbedaan suhu (Salim 2019) pada sisi yang menerima panas (TH) dan sisi sebaliknya yang lebih dingin (TC). Oleh sebab itu beberapa teknik pendinginan telah digunakan seperti kipas, *thermosiphonic heat pipe* (THP), *coolant flow*, *heatsink block*, maupun *ice gel pack* (Killander 1996; Nuwayhid 2005; Kim 2017; Nuraida 2020). Masalah muncul karena TE yang beredar dipasaran saat ini tidak cocok dengan kompor yang tersedia dan makin meningkat kerumitannya saat dikombinasikan dengan ketepatan pemasangan, daerah kontak dan sebaran panas (referensi ini mengacu kepada spesifikasi termoelektrik yang berada dipasaran spesifikasi TE dapat dilihat pada tabel 2). Termoelektrisitas saling keterkaitan antara hukum listrik, mekanikal dan termodinamika sehingga merupakan suatu kompleksitas (Sornek 2019).

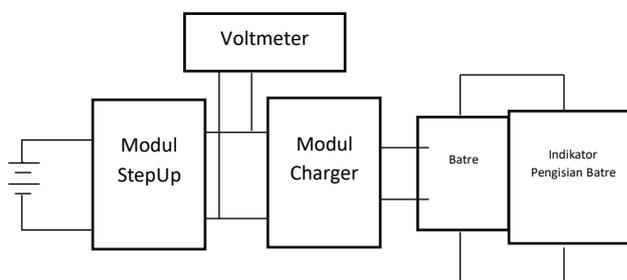
Energi listrik dapat ditingkatkan arus atau tegangannya dengan merangkai komponen-komponen

penyusunnya dan dapat disimpan didalam sebuah baterai isi ulang. Keunggulan baterai adalah dapat menyimpan energy listrik lebih lama, lebih mudah dipindahkan ke tempat lain, selain itu juga mudah dipasangkan pada berbagai peralatan elektronik bertenaga baterai. Sumarjo pada 2017 melaporkan bahwa rangkaian seri sepuluh TE yang dibuatnya mampu menghasilkan listrik walaupun belum dapat melakukan penyimpanan. Penyimpanan output listrik TE didalam baterai isi ulang (*recharge battery*) pernah dilakukan dengan memparalelkan output dari konverter ke baterai isi ulang tetapi tegangan yang dihasilkan tidak stabil (Montecucco 2015). Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengkonversi panas menjadi listrik, dengan menggunakan catu daya yang telah dibuat oleh peneliti, listrik yang dihasilkan mampu di simpan pada baterai litium 18650.

METODE PENULISAN

Evaluasi Kinerja Termoelektrik

Kegiatan yang pertama kali dilakukan adalah menguji kesesuaian kondisi suhu pengujian. Termoelektrik tipe peltier (TEC-12706) ditempelkan langsung ke dinding kompor arang dengan dan tanpa pendingin. Kombinasi heatsink-kipas dan pasta termal digunakan sebagai pendingin karena memiliki kemudahan dan kenyamanan dalam memodifikasinya. Kemudian dilakukan pengukuran suhu di (*Temperatur Cool* atau sisi TE yang dingin bersentuhan dengan kipas, *heatshing* dan pasta termal) TC dan (*Temperatur Hot* atau sisi TE yang panas yang bersentuhan langsung dengan dinding kompor) TH, selain itu dilakukan juga pengukuran *output* arus dan tegangan dengan menggunakan multimeter



Gambar 1. Skema rangkaian modifikasi power supply

Rangkain listrik *battery charging*

Selanjutnya kompor arang dimodifikasi dengan menambahkan rangkaian seri termoelektrik, kabel, solder, *heatsink*, kipas DC 12V, adaptor 12V, pasta

termal. Unit catu daya yang terdiri dari modul *charger*, modul *step-up*, kotak plastik, DC *jack*, baterai *holder*, baterai litium tipe 18650 3,7 V dirakit untuk disambungkan dengan baterai isi ulang. Skema rangkaian modifikasi power suplay ditunjukkan oleh Gambar 1.

Sebuah thermometer laser pyrometer memiliki range suhu antara -50°C sampai 400°C digunakan untuk mengumpulkan data suhu yang sudah terkalibrasi dengan tombol kalibrasi di alat, selain itu juga digunakan sebuah multimeter untuk mengumpulkan data kelistrikan berupa arus (A) dan tegangan (V). Sebanyak 6 kali pengulangan pada masing-masing parameter kemudian diuji menggunakan statistik t-student dan ANOVA untuk menganalisa hasil pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Kinerja Termoelektrik

Pada Tabel 1 terlihat saat pendingin mati (OFF) suhu maksimum pada TH adalah $190,50 (\pm 21,52)$ sedangkan pada TC sebesar $139,33 (\pm 15,34)$ dan keduanya berada diluar spesifikasi pengoperasian suhu maksimum yaitu 138°C (Tabel 2) jika suhu pengoperasian diluar dari spesifikasi maka TE yang digunakan akan rusak tidak menghasilkan lagi baik tegangan maupun arus. Sedangkan saat pendingin hidup (ON) semua sisi TE sesuai dengan spesifikasi suhu pengoperasian atau suhu maksimum agar TE dapat berfungsi dengan baik tanpa mengalami kerusakan.

Hasil pengukuran arus dan tegangan yang ditampilkan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa *output* arus maupun tegangan berbeda secara nyata dengan adanya pendingin pada TE. Arus meningkat sebanyak 2x lipat sedangkan tegangan meningkat 1,5x lipat. Daya listrik sebagai fungsi dari arus dan tegangan terjadi peningkatan yang signifikan dari $0,06\text{W} (\pm 0,02)$ menjadi $0,15\text{W} (\pm 0,04)$ ketika pendingin dinyalakan. Penggunaan kipas yang dikombinasikan dengan pasta termal dan *heatsink* memiliki kemudahan dan kenyamanan untuk memodifikasinya, walaupun penggunaan pendingin cair (*coolant flow*) lebih efisien (Kim 2017; Zoladek 2020).

Tabel 1. Karakteristik perbedaan suhu termoelektrik

	TC*	TH**	ΔT
OFF	$139,33 (\pm 15,34)$	$190,50 (\pm 21,52)$	$51,17 (\pm 16,02)$
ON	$68,83 (\pm 9,47)$	$116,17 (\pm 18,49)$	$47,33 (\pm 12,19)$

* sisi dingin ; **sisi panas

Tabel 2. Spesifikasi TEC 12706*

Suhu Maksimum	138°C
Arus Maksimum (25°C)	6,4 A
Arus Maksimum (50°C)	6,4 A
Tegangan Maksimum (25°C)	14,4V
Tegangan Maksimum (50°C)	16,4 V
ΔT Maksimum	75°C

*(www.hebeiltd.com.cn)

Tabel 3. Nilai *output* listrik pada TE yang di analisa menggunakan ANOVA

	OFF	ON	P-value*
Arus (A)	$0,10 (\pm 0,02)$	$0,21 (\pm 0,03)$	0,000
Tegangan (V)	$0,58 (\pm 0,07)$	$0,71 (\pm 0,10)$	0,034
Daya (W)	$0,06 (\pm 0,02)$	$0,15 (\pm 0,04)$	0,001

* $\alpha = 0,05$

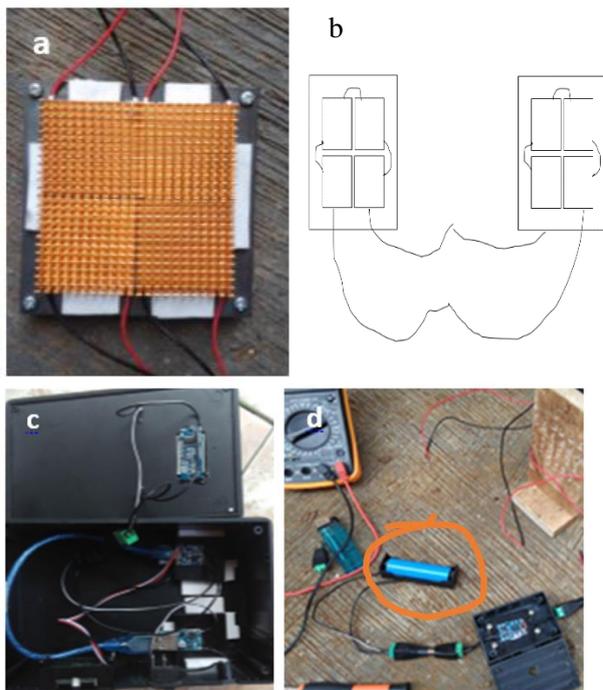
Kemampuan TE dalam mendiferensiasi suhu dipengaruhi sebaran panas pada dua sisi semikonduktor, sehingga arus yang dihasilkan tidak stabil dan hal ini adalah salah satu kelemahannya. Arus maupun tegangan tetap dihasilkan selama ΔT terpenuhi, tetapi panas berlebih yang diterima TH akan menurunkan ketahanan dari TE yang digunakan sehingga akan menjadi rusak dan tidak dapat digunakan kembali. Penggunaan TE pada sumber panas tanpa pendingin memiliki resiko mudah rusak (Wardoyo, 2016).

Faktor yang membatasi *output* listrik yang dihasilkan adalah rentang suhu pada TE yang digunakan, dan hal ini juga akan mempengaruhi efisiensi TE (Lertsatitthanakorn, 2007). *Output* yang kecil dibandingkan spesifikasi juga dapat disebabkan oleh penggunaan TE dengan tipe *peltier* yang umumnya difungsikan sebagai pendingin bukan sebagai penghasil listrik (Najjar, 2017).

Penggunaan Termoelektrik tipe *peltier* dilaporkan oleh Rowe tahun 1998 dengan efisiensi yang rendah, tetapi ini dipilih karena mudah didapatkan dan memiliki kinerja pengubahan panas menjadi listrik. Kebutuhan energi akan menjadi lebih utama sehingga kebutuhan efisiensi yang tinggi dikesampingkan dahulu (Rowe, 1999).

Rangkain listrik *battery charging*

Modifikasi penyusunan rangkain telah berhasil dilakukan untuk meningkatkan *output* listrik pada ujung rangkain sehingga dapat melakukan pengisian baterai (*battery charging*). Sebanyak empat buah TE disusun dengan rangkaian seri (Gambar 2a) agar *output* tegangan meningkat, dengan tidak merubah arus. Selanjutnya agar tegangan lebih stabil maka *output* dua buah rangkain seri TE dirangkain secara paralel sebelum disambungkan ke baterai (gambar 2b). Selain itu modul *step-up* ditambahkan pada unit catu daya untuk menaikkan tegangan awal agar modul *charger* dapat bekerja (Gambar 2c). Daya *Output* yang dihasilkan dari catu daya kemudian dihubungkan dengan penyimpanan berupa sebuah baterai litium (Gambar 2d)



Gambar 2. Rangkaian *Battery charging* (a) TE dirangkai seri (b) output seri yang diparalelkan (c) unit catu daya (d) baterai *charging*

Pada Tabel 4 terlihat bahwa tegangan dari satu rangkain seri adalah 3,46V ($\pm 0,83$), meningkat dibandingkan dengan satu buah TE yang sebesar 0,71V ($\pm 0,10$). Hal ini sejalan dengan adanya laporan tentang peningkatan tegangan pada rangkaian seri yang telah dibuat (Putra 2009; Khalid 2016; Klara 2016) dan sejalan juga dengan ketetapan hukum umum listrik bahwa seluruh tegangan pada rangkaian seri adalah penjumlahan dari tegangan sumbernya. Tegangan listrik rangkain seri sebesar 3,46V ($\pm 0,83$) memiliki standar deviasi yang besar, sehingga dapat disimpulkan sebaran panas pada rangkain seri sangat rendah, penggunaan TE tipe peltier dipastikan menjadi sebab rendahnya sebaran panas (Nuwayhid 2003; Najjar 2017).

Tabel 4. Output rangkaian TE

	Arus (A)	Tegangan (V)	Daya (Watt)
1 TE	0,21 ($\pm 0,03$)	0,71 ($\pm 0,10$)	0,15 ($\pm 0,04$)
4 TE dirangkai Seri	0,12 ($\pm 0,01$)	3,46 ($\pm 0,83$)	0,50 ($\pm 0,12$)
8 TE Seri yang diparalel	0,35 ($\pm 0,02$)	3,24 ($\pm 0,04$)	1,14 ($\pm 0,06$)

Selain itu terlihat pada tabel 4 bahwa ketika output dua rangkaian seri dihubungkan secara paralel, arus yang dihasilkan meningkat dari 0,12A ($\pm 0,01$) menjadi 0,35A ($\pm 0,02$). Hal ini sesuai dengan hukum umum listrik pada rangkaian paralel yang menyatakan bahwa percabangan yang ada menyebabkan kuat arus yang diterima tidak sama dan merupakan penjumlahan semua arus sumbernya. Diujung rangkaian arus yang dihasilkan sebesar 0,35A ($\pm 0,02$) dan tegangan listrik sebesar 3,24V ($\pm 0,04$). Daya listrik terlihat stabil pada

semua rangkaian karena merupakan fungsi dari tegangan dan arus ($W = V \cdot I$; dimana W =daya, V =tegangan dan I =arus).

Output yang dirangkai paralel dan disambungkan langsung ke baterai memiliki tegangan tidak stabil (Montecucco 2015), oleh sebab itu penambahan sebuah unit catu daya dilakukan agar tegangan menjadi stabil. Hal ini juga dilakukan karena perlu adanya penyesuaian beban kerja tegangan pada modul pengisian (*charging module*) dari 3,24V menjadi 5,04V. Hasil pengisian baterai isi ulang selama 20 menit dapat terlihat pada Tabel 5 bahwa terjadi peningkatan tegangan pada baterai yang mengindikasikan terjadinya pengisian oleh catu daya dalam kisaran 1,59V.

Tabel 5. Pengisian baterai selama 20 menit

Tegangan awal (V)	Tegangan akhir (V)
2,47 ($\pm 0,14$)	4,06 ($\pm 0,11$)

KESIMPULAN

Peningkatan ΔT akan meningkatkan *output* listrik oleh sebab itu dibutuhkan pengaturan sebaran suhu yang sesuai pada TE dan ini salah satu kelemahannya. Penggunaan TE tipe *peltier* yang diperuntukkan sebagai pendingin dapat dilakukan dengan output yang kecil, dapat diusulkan penggunaan TE tipe *seebeck* yang memang diperuntukkan sebagai generator listrik. Kompor arang termoelektrik dengan modifikasi catu daya untuk pengisian ke dalam baterai isi ulang telah berhasil dibuat dengan kemampuan pengisian 1,59V selama 20 menit. Perlunya penggunaan termoelektrik tipe *seebeck* agar lebih efektif dan efisien, sehingga panas yang tersedia saat proses pembakaran dapat dimanfaatkan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Elsheikh, M.H., et.al. 2014. A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30:337–355. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.027>
- Killander, A., Bass, J. 1996. A stove-top generator for cold areas. Didalam: *Proceedings of 15th International Conference on Thermoelectrics*, Pasadena, USA, hlm.390-393
- Kim, T.Y., Negash, A., Cho, G. 2017. Direct contact thermoelectric generator (DCTEG): A concept for removing the contact resistance between thermoelectric modules and heat source. *Energy Conversion and Management*, 142:20-27
- Khalid, M., Syukri, M., Gapy, M. 2016. Pemanfaatan energi panas sebagai pembangkit listrik alternative berskala kecil dengan menggunakan termoelektrik. *KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro* 1(3):57-62.

- Klara, S., Sutrisno. 2016. Pemanfaatan panas gas buang mesin diesel sebagai energi listrik. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, 14(1):113-128.
- Lertsatitthanakorn, C. 2007. Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator. *Bioresource Technology*, 98:1670–1674.
- Mal, R., Prasad, R., Vijay, V.K. 2015. Design and performance evaluation of thermoelectric generator stove and comparison with traditional, natural and forced draft stoves. *Int. J. Energy Technology and Policy*, 11(3):220-233.
- Montecucco, A., Siviter, J., Knox, A.R. 2015. Combined heat and power system for stoves with thermoelectric generators. *Applied Energy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.132>
- Najjar, Y.S.H., Kseibi, M.M. 2017. Thermoelectric stoves for poor deprived regions- A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80:597-602. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.211>
- Nuraida, F., Taryana, E., Winanti, N. 2020. Pemanfaatan Panas Pada Kompor Gas Sebagai Energi Alternatif Menggunakan Generator Termoelektrik. *EPSILON : Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 18 (1):23-30.
- Nuwayhid, R.Y., Hamade, R. 2005. Design and testing of a locally made loop-type thermosiphonic heat sink for stove-top thermoelectric generators. *Renewable Energy*, 30:1101–1116.
- Putra, N., Koestoer, R.A., Adhitya, M., Roekettino, A., Trianto, B. 2009. Potensi pembangkit daya termoelektrik untuk kendaraan hibrid. *Makara, Teknologi*, 13(2):53-58.
- Rowe, D.M., Min, G. 1998. Evaluation of Thermoelectric modules for power generation. *Journal of Power Sources*, 73:193-198.
- Rowe, D.M. 1999. Thermoelectrics, an environmentally-friendly source of electrical power. *Renewable Energy*, 16:1251-1256.
- Salim, A.T.A, Susanto, F., Romandhoni, N., Putra, I.L.M.K. 2019. Performance of thermoelectric (TEG) for DC electricity power source using application of stoves rocket heats with resistance variations. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 4(3): 295-299.
- Schierning, G., et.al. 2015. Concepts for medium-high to high temperature thermoelectric heat-to-electricity conversion: a review of selected materials and basic considerations of module design. *Transl. Mater. Res*, 2: 025001. doi:10.1088/2053-1613/2/2/025001
- Sornek, K., Filipowicz, M., Zoladek, M., Kot, R., Mikrut, M. 2019. Comparative analysis of selected thermoelectric generators operating with wood-fired stove. *Energy*, 166:1303-1313.
- Sornek, K. 2021. Study of Operation of the thermoelectric generators dedicated to Wood-Fired Stoves. *Energies*, 14. <https://doi.org/10.3390/en14196264>
- Sumarjo, J., Santosa, A., Permana, M.I. 2017. Pemanfaatan sumber panas pada kompor menggunakan termoelektrik generator dirangkai secara seri untuk aplikasi lampu penerangan. *Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal)*, 11(2):123-128.
- Wardoyo. 2016. Studi karakteristik pembangkit listrik termoelektrik melalui pemanfaatan panas knalpot Sepeda Motor Sport 150 cc. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, II:70-75.
- Zoladek, M., et.al. 2020. The Use of Thermoelectric Generators With Home Stoves. *ICACER Web of Conferences* 173. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017303005>.
- Zoui, M.A., Bentouba, S., Stocholm, J.G., Bourouis, M. 2020. A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications. *Energies*, 13:3606. doi:10.3390/en13143606