
Pembangkit Listrik Termoelektrik Terintegrasi Kompor Sekam Padi

YR. Liana^{1,2*}, A. Yulianto¹, I. Yulianti¹

¹ Program Studi Pendidikan Fisika, Pascasarjana Universitas Negeri Semarang, Jl. Kelud Utara III Kota Semarang 5023, Indonesia.

² SMA Negeri 2 Batang, Jl. Desa Rowobelang, Kab. Batang 51222, Indonesia.

* Penulis Penanggungjawab. E-mail: yrimaliana21@gmail.com

Telp: 081326824896

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar menjadi kebutuhan sehari-hari rumah tangga terutama untuk memasak. Keterbatasan persediaan bahan bakar gas menyebabkan peralihan ke bahan bakar alternatif seperti penggunaan kompor sekam padi. Ruang pembakaran dirancang untuk mencapai pembakaran sempurna dengan meningkatkan efisiensi dan mengurangi polusi udara dalam ruangan. Pengembangan tambahan yang diperkenalkan dalam penelitian ini, melibatkan penggunaan 6 modul generator termoelectric TEC1-12706 yang dirangkai secara seri untuk membangkitkan energi listrik untuk penerangan dan pengisian daya handphone. Uji eksperimental sederhana dilakukan dengan bervariasi massa sekam padi 200 gram dan 500 gram. Hasil penelitian ini didapatkan tegangan output maksimum sebesar 6,21 volt dan arus yang masuk ke baterai sebesar 2,40 A yang dapat digunakan untuk penerangan dan pengisian daya handphone sampai 70% dari daya awalnya yang dicapai untuk bahan bakar 500 gram sekam padi.

Kata Kunci : Generator Termoelektrik, kompor sekam padi, pembangkit energi listrik.

ABSTRACT

The use of fuel is a daily necessity for the household, especially for cooking. Limited supply of natural gas causes a shift to alternative fuels such as the use of rice husk stoves. The combustion chamber is designed to achieve complete combustion by increasing efficiency and reducing indoor air pollution. Additional development introduced in this study, involves the use of 6 TEC1-12706 thermoelectric generator modules arranged in series to generate electrical energy for lighting and charging mobile phones. A simple experimental test was carried out by varying the mass of rice husk 200 grams and 500 grams. The results of this study obtained a maximum output voltage of 6.21 volts and a current entering the battery of 2.40 A which can be used for lighting and charging mobile phones up to 70% of the initial power achieved for 500 grams of rice husk fuel.

Keywords: *Thermoelectric Generator, rice husk stove, electric energy generator.*

1. Pendahuluan

Dewasa ini penggunaan listrik kian meningkat, sedangkan tarif listrik tiap tahun selalu naik. Hal ini tentu saja sangat disayangkan mengingat kenaikan tarif listrik dapat memberikan dampak kurang baik bagi stabilitas harga-harga kebutuhan lain di pasaran. Oleh karena itu, perlu adanya inovasi pembangkit listrik *free energy* guna memperkecil biaya yang harus dikeluarkan oleh masyarakat. Salah satu perangkat yang termasuk kedalam pembangkit listrik *free energy* adalah *Termoelektrik Generator (TEG)*.

Indonesia sebagai negara pertanian menghasilkan limbah sekam padi yang jumlahnya melimpah, apabila tidak ditangani dengan baik dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan.

Lingkungan tidak dapat menguraikan sekam dengan cepat karena sekam memiliki kandungan selulosa yang tinggi [1,2].

Lertsatitthanakorn [3], menciptakan sistem yang memanfaatkan proporsi panas limbah biomass dengan daya keluaran 2,4 W dan 4,2 W ketika perbedaan suhu 150 °C dan efisiensi 3,2 % mampu untuk menghidupkan radio portable kecil atau bola lampu pijar berdaya rendah. Nuwayhid et al.[4], membuat desain generator menggunakan modul *termoelektrik* sebagai pembangkit listrik. Hasilnya didapatkan 4,2 W mampu dibangkitkan pada sistem ini. Para penulis telah menunjukkan keuntungan ekonomi yang dapat diterima [5].

Kalor yang dihasilkan, selain untuk keperluan memasak juga dapat dimanfaatkan sebagai penghasil listrik. Dengan memanfaatkan *efek seebeck* melalui

melalui generator *termoelektik*, atau juga disebut *seebeck* generator yaitu perangkat generator listrik yang mengkonversikan panas karena perbedaan suhu menjadi energi listrik. Semakin besar nilai perbedaan suhu, maka listrik yang dihasilkan juga semakin besar [6]. Pemanfaatan generator termoelektik sebagai pembangkit listrik juga merupakan salah satu langkah untuk menanggulangi seputar masalah kelistrikan yang terjadi di masyarakat [7].

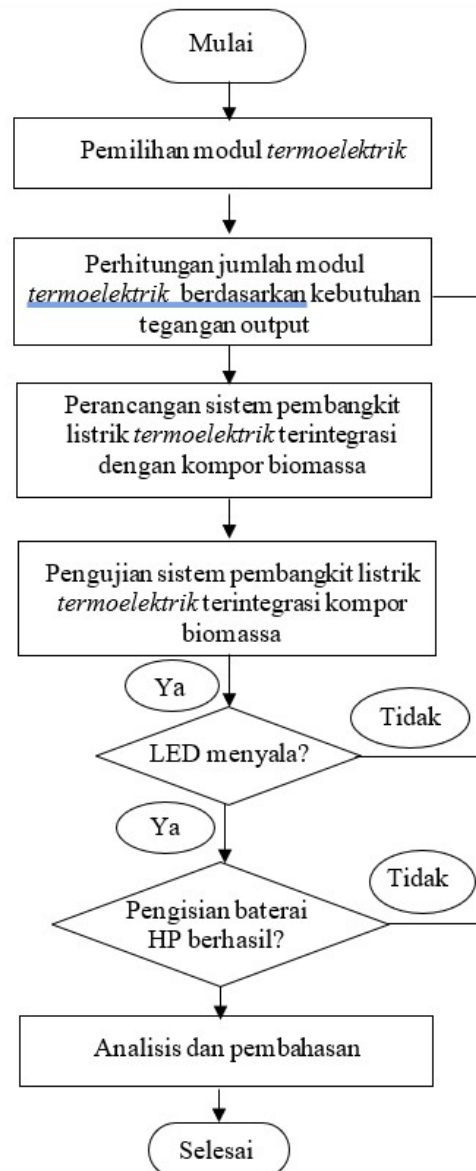
Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendesain pembangkit listrik *termoelektik* [8] terintegrasi kompor biomassa sekam padi, sehingga fungsi kompor dapat ditingkatkan selain untuk memasak, juga dapat menghasilkan listrik untuk penerangan dan pengisian daya baterai *handphone*.

2. Bahan dan Metode

2.1 Alat dan Bahan yang digunakan

1. Tungku kompor
2. Modul termoelektik TEC1 - 12706
3. Heatsink
4. Blower 12 VDC
5. Sensor suhu DS18B20
6. Multimeter digital
7. USB port charger
8. Lampu LED 5 V DC
9. Neraca digital
10. Stopwatch
11. Bak air
12. Sekam padi

2.2. Flowchart Metode Penelitian



2.3. Pemilihan modul *termoelectric*

Modul *Termoelektik* yang digunakan dalam penelitian ini adalah TEC1 – 12706. Modul ini dipilih karena mudah didapatkan di pasaran. Termoelektik TEC1-12706 terdiri dari sekumpulan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang dihubungkan dalam sebuah rangkaian tertutup, dibungkus material keramik, berdimensi $40 \times 40 \times 5 \text{ mm}^3$. Modul termoelektik berfungsi sebagai

pendingin pada salah satu sisi dan sebagai pemanas pada sisi lainnya apabila diberi aliran listrik arus searah, namun apabila alat ini di kedua sisinya diberi suhu yang berbeda, maka akan menghasilkan listrik arus searah. Spesifikasi TEC1-12706 ditunjukkan tabel 1.

Tabel 1. *Data Sheet* TEC1-12706 [7]

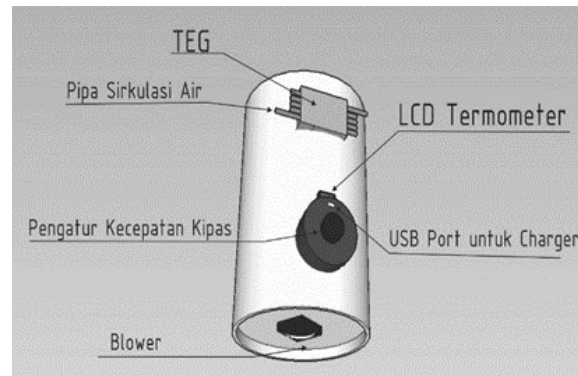
Temperatur sisi panas	25 ⁰ C	50 ⁰ C
Q _{max} (W)	50	57
DT _{max} (°C)	66	75
I _{max} (A)	6,0	6,4
V _{max} (V)	14,4	16,4
R (W)	1,98	2,30

2.4 Perhitungan jumlah modul Berdasarkan kebutuhan tegangan output yang dibutuhkan

Berdasarkan data sheet modul peltier TEC1-12706, Tegangan yang diperoleh untuk tiap satu keping *termoelektrik* sebesar 0,9V (tanpa pembebanan), maka dibutuhkan 6 keping modul *termoelektrik* yang disusun secara seri. untuk pengisian daya baterai *handphone* atau menyalakan lampu LED 5 VDC.

2.5 Perancangan sistem pembangkit listrik *termoelektrik* terintegrasi dengan kompor biomassa

Secara keseluruhan desain pembangkit listrik *termoelektrik* terintegrasi kompor biomassa dalam penelitian ini diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Desain kompor sekam padi dengan termoelektrik

Kompor sekam padi dalam penelitian ini berbentuk tabung terbuat dari bahan alumunium untuk bagian luar dan *stainless steel* untuk bagian dalamnya. Terdapat beberapa lubang besar di bagian bawah kompor dengan tujuan untuk memasok oksigen, gas yang dibutuhkan dalam proses pembakaran. Di bagian dalam kompor terdapat tempat yang berfungsi sebagai tungku pembakaran sekam padi. Bagian atas kompor dilengkapi dudukan tempat meletakkan alat memasak. Kompor sekam padi menghasilkan api yang cukup besar lantaran sirkulasi udara yang terjaga dengan baik. Panasnya mampu mendidihkan 1 liter air dalam waktu 5 hingga 10 menit. Kompor ini juga dilengkapi dengan LCD termometer untuk mengukur suhu panas, USB port untuk charger *handphone* dan pengatur kecepatan kipas yang berfungsi memperkecil atau memperbesar nyala api, termasuk mematikan kompor. Listrik dihasilkan oleh generator *termoelektrik* yang terpasang pada badan kompor. Generator

termoelektrik berfungsi mengubah energi kalor yang dihasilkan nyala api menjadi energi listrik.

Bagian dalam kompor, listrik diperlukan untuk memberi daya pada kipas karena udara yang bertiup melalui kompor meningkatkan rasio udara/bahan bakar dan mencapai pembakaran sempurna. Pada awal pembakaran, suhunya sangat rendah, sehingga perlu mengisi baterai. Baterai membantu menjalankan kipas selama beberapa menit pertama pembakaran ketika pelat panas belum cukup panas untuk menghasilkan listrik. Bagian termal kompor dihasilkan dari enam modul TEC1 – 12706 yang disusun seri pada heatsink. Heat sink aluminium dipasang di sisi dingin modul *termoelektrik*. Termal pasta digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas antar permukaan. Dua sistem pendingin yang berbeda diuji untuk mempertahankan suhu konstan pada sisi dingin (air es yang suhunya dikontrol).

Material sisi pemanas kompor dihasilkan dari pembakaran sekam padi, sementara material pada sisi dingin menggunakan air es. Hal ini disebabkan es mempunyai titik lebur yang sangat baik, air es bisa sampai menembus nol derajat *celcius* [9]. Jika satu sisi modul panas dan sisi lainnya dingin, maka energi listrik akan dihasilkan. Arus listrik akan distabilkan oleh *stabilizer* sebelum dialirkan melalui kabel yang tersambung ke *USB port*. Dari situlah, energi listrik

energi listrik yang dihasilkan bisa dimanfaatkan untuk menyalakan lampu atau mengisi baterai *handphone*.

2.6 Pengujian dan pengukuran *output* sistem pembangkit listrik *termoelektrik* terintegrasi kompor biomassa

Pengujian dan pengambilan data sistem pembangkit listrik *termoelektrik* terintegrasi kompor sekam padi untuk penerangan atau untuk pengisian daya baterai *handphone* dilakukan setiap 10 menit sekali dengan menggunakan multimeter. Bahan bakar kompor berupa sekam padi dengan variasi massa 200 gram dan 500 gram. Pemilihan variasi massa tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas maksimum penampung bahan bakar dalam kompor. Beban pemanasan digunakan panci masak berisi 1 liter air dan beban listrik digunakan lampu LED atau charger *handphone*. Langkah pengambilan data dari pengujian pembangkit listrik *termoelektrik* terintegrasi kompor sekam padi, yaitu: (1) memasang multimeter secara paralel sebelum rangkaian *USB buck converter* untuk mengukur tegangan inputnya, (2) mengukur besar tegangan *input* sampai multimeter menunjukkan angka yang konstan dan tidak berubah lagi, (3) mengukur besar arus *input* yang dihasilkan dengan cara memasang multimeter secara seri sebelum rangkaian *USB buck converter*, (4) memasang multimeter secara paralel sesudah

rangkaian USB *buck converter* untuk mengukur tegangan *outputnya*, (6) Setelah besar tegangan output konstan, mengukur besar arus *output* yang dihasilkan dengan cara memasang multimeter secara seri sesudah rangkaian USB *buck converter* [10]

Instalasi uji coba pembangkit listrik *termoelektrik* terintegrasi kompor berbahan bakar sekam padi ditunjukkan gambar 3.



Gambar 3. Pembangkit listrik termoelektrik terintegrasi kompor sekam padi

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian atau pengambilan data pada pembangkit listrik *termoelektrik* terintegrasi kompor berbahan bakar sekam padi diperoleh hasil data sebagai berikut:

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa sistem pembangkit listrik termoelektrik dengan bahan bakar 200 gram sekam padi, pada tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sebesar 5,00 V dan 1,93 A.

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa sistem pembangkit listrik termoelektrik dengan bahan bakar 200 gram sekam padi, pada 10 menit pertama air dalam panci masak sudah mendidih, namun pembakaran hanya menghasilkan tegangan output sebesar 2,16 V dengan besar temperatur sisi panas dari *generator thermoelectric* 73,5 °C. Tegangan yang dihasilkan ini belum mencukupi untuk menyalakan lampu LED atau mengisi daya baterai *handphone* sebesar 5 V.

Tabel 2. Hasil pengujian kompor dengan bahan bakar 200 gram sekam padi sekam

Waktu	Temperature Sisi Panas	Temperatur Sisi Dingin	Selisih Temperatur	Output Generator Termoelektrik	Output USB Back Converter	Indikator LED	Indikator Charging	Pengisian Daya		
(Menit)	(°C)	(°C)	(°C)	V (V)	I(A)	V (V)	I(A)	(%)		
10	73,5	20,00	53,50	2,16	0,83	0,78	0,30	Mati	OFF	0
20	90,10	19,05	71,05	3,21	1,24	2,21	0,85	Redup	OFF	0
30	98,00	19,00	79,00	3,78	1,46	2,76	1,06	Menyala	OFF	0
40	104,20	19,00	85,20	4,15	1,60	3,40	1,31	Menyala	OFF	0
50	107,80	19,00	88,80	4,27	1,65	3,67	1,42	Menyala	OFF	0
60	115,70	19,00	96,70	5,00	1,93	3,95	1,52	Menyala	ON	25
70	110,90	19,00	100,20	5,29	2,04	4,16	1,60	Menyala	ON	44

Pada menit ke - 30 dihasilkan tegangan sebesar 3,78 V dengan temperatur sisi panas dari *generator thermoelectric* sebesar 98,00 °C, sedangkan arus yang dihasilkan sebesar 1,46 A. Tegangan ini sudah mampu menyalakan lampu LED namun belum mencukupi tegangan minimum baterai untuk melakukan pengisian daya *handphone*. Pada menit ke - 60 kompor dinyalakan, besar temperatur sisi panas dari *generator termoelektrik* yaitu 115,70 °C.

Tegangan dan arus yang dihasilkan mampu menyalakan lampu LED lebih terang dari menit ke - 30 dan mampu mengisi daya *handphone* sebesar 25% dari semula. Tegangan ini diubah oleh USB *buck converter* menjadi tegangan *output* sebesar 3,95V dan arus listrik sebesar 1,52A. Pada menit ke - 70 kompor sekam padi dapat menyalakan lampu LED semakin terang dan mampu

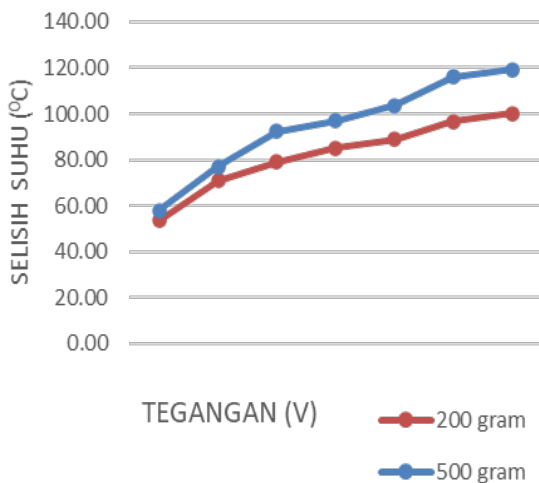
mengisi daya *handphone* sebesar 44% dari semula dengan tegangan 5,29V dan arus listrik 2,04A. Tegangan ini diubah oleh USB *buck converter* menjadi tegangan *output* sebesar 4,16V dan arus listrik sebesar 1,60A dengan temperatur sisi panas 110,90 °C.

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa sistem pembangkit listrik *termoelektrik* dengan bahan bakar 500 gram sekam padi, pada menit ke - 10 dan menit ke - 20 pembakaran hanya menghasilkan tegangan *output* sebesar 2,17V dan 3,30V dengan besar temperatur sisi panas dari *generator thermoelectric* masing – masing 78,0 °C dan 96,5 °C. Tegangan yang dihasilkan ini hanya mampu menyalakan lampu LED dengan redup, namun belum mampu mengisi daya baterai *handphone* sebesar 5 V. Mulai menit ke - 40 sistem pembangkit listrik *termoelektrik* sudah mampu menyalakan lampu LED dan mampu mengisi daya baterai *handphone*

Tabel 3. Hasil pengujian kompor dengan bahan bakar 500 gram sekam padi

Waktu	Temperatur Sisi Panas	Temperatur Sisi Dingin	Selisih Temperatur	Ouput Generator Termoelektrik		Output USB Back Converter		Indikator LED	Indikator Charging	Pengisian Daya
(Menit)	(°C)	(°C)	(°C)	V (V)	I(A)	V (V)	I(A)			(%)
10	78,00	20,00	58,00	2,17	0,84	1,38	0,53	Redup	OFF	0
20	96,50	19,50	77,00	3,30	1,27	2,43	0,94	Redup	OFF	0
30	112,20	20,00	92,20	4,00	1,54	3,04	1,17	Menyala	OFF	0
40	117,00	20,00	97,00	5,10	1,97	3,55	1,37	Menyala	ON	28
50	123,10	19,50	103,60	5,25	2,03	4,43	1,71	Menyala	ON	35
60	135,00	19,00	116,00	5,47	2,11	4,90	1,89	Menyala	ON	50
70	138,30	19,00	119,30	6,21	2,40	5,32	2,05	Menyala	ON	73

sebesar 5 V. Mulai menit ke – 40 sistem pembangkit listrik *termoelektrik* sudah mampu menyalakan lampu LED dan mampu mengisi daya baterai *handphone* sebesar 28% dari semula dengan tegangan 5,10V dan kuat arus listrik 1,97A. Temperatur sisi panas dan dingin dari *generator termoelectric* masing – masing 117,0 °C dan 20,0 °C. Tegangan ini diubah oleh USB buck converter menjadi tegangan *output* sebesar 3,55V dan arus listrik sebesar 1,37A. Pada menit ke – 70 nyala lampu LED semakin terang dan mampu mengisi daya *handphone* sebesar 73% dari semula dengan tegangan 6,21V dan arus listrik 2,40A. Tegangan ini diubah oleh USB buck converter menjadi tegangan *output* sebesar 5,32V dan arus sebesar 2,05A dengan temperatur sisi panas 138,30 °C.



Gambar 4. Grafik karakteristik tegangan output termoelektrik terhadap selisih suhu

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tegangan *output* yang dihasilkan *generator termoelektrik* yang terintegrasi dengan

kompor sekam padi dipengaruhi oleh massa sekam padi yang digunakan. Semakin besar massa sekam yang terpakai mengakibatkan peningkatan nilai *Fuel Consumption Rate* (FCR) [6]. Semakin besar nilai *Fuel Consumption Rate* (FCR) maka semakin besar pula nilai daya masuk sehingga mengakibatkan turunnya nilai efisiensi kompor sekam mengingat bahwa nilai efisiensi berbanding terbalik dengan nilai daya masukan [5]. Hasil *Output* sistem pembangkit listrik termoelektrik menggunakan 200 gram sekam padi sistem generator ternyata tidak dapat menjadi tegangan dan arus USB converter berdasarkan arus dan tegangan.

Dari grafik diatas, daya output yang dihasilkan *thermoelectric generator* tersebut sangat kecil sehingga tegangan yang akan digunakan untuk pengisian baterai *handphone* juga kecil. Arus output dari USB *buck converter* yang dihasilkan tidak mencukupi untuk pengisian baterai *handphone*. Tegangan dan arus *output generator termoelektrik* yang dimasukkan kedalam USB *buck converter* masih belum dapat diubah menjadi tegangan output USB *buck converter* sebesar 5 V. Daya yang masuk kedalam USB *buck convert* terlalu kecil sehingga alat tersebut mengubah tegangan output menjadi 5 V dengan besar arus yang sangat kecil, maka dibutuhkan tegangan input yang lebih tinggi supaya daya yang dimasukkan kedalam alat tersebut juga besar. Tegangan *input* yang lebih dari 5 V dapat dikonversikan melalui alat tersebut

menjadi 5 V dan sisanya diubah untuk menguatkan arus listrik yang dihasilkan untuk pengisian daya baterai.

4. Simpulan

Penelitian ini menjelaskan desain kompor sekam padi yang bersih dan hemat energi untuk memasak dan menghasilkan listrik untuk masyarakat di pedesaan yang sederhana dan berbiaya rendah. *Generator termoelektrik* memanfaatkan prinsip perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas. Sisi panas memanfaatkan panas hasil pembakaran sekam padi dalam kompor dan sisi dingin menggunakan es. Dengan menggunakan 6 modul *generator termoelectric* yang dirangkai secara seri menghasilkan tegangan 6,21V dan arus listrik 2,40 A dengan massa sekam padi 500 gram. Tegangan dihasilkan akan diubah oleh USB *buck converter* menjadi tegangan 5V. Arus listrik dan tegangan output yang dihasilkan oleh USB *buck converter* sebesar 2,05 A dan 5,32V.

5. Referensi

1. F. Nawafi, R. D. Puspita, Desna, and Irzaman, "Optimasi Tungku Sekam Skala Industri Kecil Dengan Sistem Boiler," *Berk. Fis.*, vol. 12, no. 3, pp. 77–84, 2010.
2. Handayani, R. T., & Suryaningsih, S. PENGARUH SUHU KARBONISASI DAN VARIASI KECEPATAN UDARA TERHADAP LAJU PEMBAKARAN BRIKET CAMPURAN SEKAM PADI DAN TONGKOL JAGUNG. *Wahana Fisika*, 4(2), 98-103
3. C. Lertsatitthanakorn, "Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass cook stove thermoelectric (BITE) generator," *Bioresour. Technol.*, vol. 98, no. 8, pp. 1670–1674, 2007.
4. R. Y. Nuwayhid, A. Shihadeh, and N. Ghaddar, "Development and testing of a domestic woodstove thermoelectric generator with natural convection cooling," *Energy Convers. Manag.*, vol. 46, no. 9–10, pp. 1631–1643, 2005.
5. R. Y. Nuwayhid, D. M. Rowe, and G. Min, "Low cost stove-top thermoelectric generator for regions with unreliable electricity supply," *Renew. Energy*, vol. 28, no. 2, pp. 205–222, 2003.
6. R. Mal, R. Prasad, V. K. Vijay, and A. R. Verma, "The design, development and performance evaluation of thermoelectric generator (TEG) integrated forced draft biomass cookstove," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 52, no. 1, pp. 723–729, 2015.
7. C. Favarel, D. Champier, J.-F. Rozis, T. Kousksou, and Jean Pierre Bédécarrats, "Thermoelectricity, a Promising Complementarity with Efficient Stoves in OffGrid-Areas.pdf." pp. 256–268, 2015



8. T. Stephen John, “High Efficient Seebeck Thermoelectric Device for Power System Design and Efficiency Calculation: A Review of Potential Household Appliances,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 97, no. 18, pp. 37–42, 2014.
9. S. Martino and D. Wulandari, “ANALISIS TRAINER KONVERSI ENERGI PANAS MENJADI ENERGI LISTRIK BERBASIS THERMOELECTRICGENERATOR DENGAN VARIASI PERUBAHAN SUHU,” vol. 05, pp. 66–72, 2018.
10. S. Maneewan and S. Chindaruksa, “Thermoelectric power generation system using waste heat from biomass drying,” *J. Electron. Mater.*, vol. 38, no. 7, pp. 974–980, 2009.