

Utilization of Heat from a Boiler Chimney Making Tofu into Electrical Energy Using Thermoelectric Generator TEG SP 1848-27145

Pemanfaatan Panas Cerobong Asap Boiler Pembuatan Tahu Menjadi Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik TEG SP 1848-27145

Andik Mustofa Fahet¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Kadiri, Kediri

E-mail: *¹Mustofarz@gmail.com

Abstract – The availability of fossil-based energy in Indonesia is decreasing because it is non-renewable. Therefore new and renewable alternative energy is needed to overcome this. A thermoelectric generator is a device used to convert a temperature difference directly into an electric voltage or vice versa. The temperature difference resulting from the tofu-making process is large enough to reach more than 2000 C. This study converted the heat energy generated from the boiler chimney in the tofu-making process into electrical energy using 5 TEG SP 1848-27145 type thermoelectric generators arranged in an orderly manner. series. The result of this study is a thermoelectric conversion that starts from measuring the lowest hot temperature of 270 Celsius and a cold temperature of 250 Celsius resulting in a voltage of 0.4 volts and a current of 0.00 amperes. While the highest hot temperature measurement is 1310 Celsius and cold temperature is 490 Celsius resulting in a voltage of 15.9 volts and a current of 0.35 amperes.

Keywords — buck converter, digital multimeter, thermoelectric generator, smartphone

Abstrak –Ketersediaan energi berbasis fosil di Indonesia semakin berkurang karena tidak bisa diperbarui. Oleh sebab itu energi alternative yang baru dan terbarukan sangat diperlukan untuk mengatasi hal tersebut. Generator termoelektrik adalah sebuah devais yang dipakai untuk melakukan konversi langsung terhadap suatu perbedaan temperatur menjadi tegangan listrik atau sebaliknya. Perbedaan temperatur yang dihasilkan dari proses pembuatan tahu cukup besar dapat mencapai lebih dari 200⁰ C. Penelitian ini melakukan konversi energi panas yang dihasilkan dari cerobong asap boiler pada proses pembuatan tahu menjadi energi listrik dengan menggunakan 5 generator termoelektrik tipe TEG SP 1848-27145 yang disusun secara seri. Hasil dari penelitian ini berupa konversi termoelektrik yang dimulai dari pengukuran suhu panas terendah sebesar 27⁰ Celcius dan suhu dingin sebesar 25⁰ Celcius menghasilkan tegangan 0,4 volt dan arus sebesar 0,00 ampere. Sedangkan pengukuran suhu panas tertinggi sebesar 131⁰ Celcius dan suhu dingin sebesar 49⁰ Celcius menghasilkan tegangan 15,9 volt dan arus sebesar 0,35 ampere.

Kata Kunci — buck converter, generator termoelektrik, multimeter digital, smartphone

1. PENDAHULUAN

Dalam pengertian umum, energi merupakan suatu kemampuan dalam melakukan kerja. Energi adalah suatu obyek yang bisa berpindah akibat terjadinya reaksi fundamental, tetapi energi tidak dapat diciptakan maupun dilenyapkan. Saat ini ketersediaan energi berbasis fosil di Indonesia semakin menipis. Sumber energi yang semakin berkurang disebabkan karena adanya ketidakseimbangan antara

jumlah energi yang tersedia di alam dengan kebutuhan akan energi yang semakin meningkat seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan yang semakin pesat.

Sejalan dengan berkembangnya teknologi saat ini, banyak digencarkan berbagai usaha untuk menghasilkan energi alternatif dan energi baru terbarukan untuk mengurangi dampak terjadinya pemanasan global. Akan tetapi ketersediaan sumber energi baru terbarukan di Indonesia masih belum dimanfaatkan secara maksimal termasuk pemanfaatan energi panas yang merupakan produk sampingan dari proses pembakaran. Energi panas merupakan salah satu hasil dari proses pembakaran bahan bakar yang sangat bermanfaat dan banyak manfaatnya [1]. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam rangka memanfaatkan energi panas dari gas buang sisa pembakaran mesin baik mesin diesel maupun mesin sepeda motor yang menggunakan bahan bakar fosil [2]–[6]. Pemanfaatan panas menjadi energi listrik salah satunya adalah menggunakan generator termoelektrik/*thermoelectric generator* (TEG) [7] sebagai teknologi pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi panas [8] yang lebih ramah terhadap lingkungan dan tahan lama [9].

Penelitian ini adalah melakukan kajian dari pemanfaatan panas cerobong asap pada boiler pembuatan tahu yang akan dikonversi oleh generator termoelektrik menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan sebagai pengisi daya *smartphone*. Generator termoelektrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah generator termoelektrik tipe TEG SP 1848-27145 [10]. Generator termoelektrik bekerja dengan memanfaatkan perbedaan suhu antar kedua sisi modul, hal ini sesuai dengan pemanfaatan efek *seebeck* yang terjadi jika kedua ujung suatu logam terjadi perbedaan suhu, maka arus listrik yang dihasilkan, sebanding dengan gradien suhu antara sisi panas dan sisi dingin. Perpindahan kalor dari sisi panas menuju sisi dingin mengakibatkan timbulnya arus listrik dalam rangkaian tersebut, hal ini disebut dengan efek *joule*. Sedangkan perambatan atau penyebaran sisi panas menuju sisi dingin disebut dengan efek konduksi. Bahan yang baik untuk menghantarkan panas adalah aluminium, tembaga, dan besi [11]. Dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan energi alternatif dari panas yang dihasilkan oleh cerobong asap boiler pembuatan tahu yang selama ini energi panas dari cerobong asap tersebut tidak dimanfaatkan.

2. METODE PENELITIAN

Langkah awal yang dilakukan pada penelitian ini adalah mengetahui temperatur panas yang dihasilkan cerobong asap pada boiler pembuatan tahu. Selain itu juga mempelajari panas maksimum yang dapat diterima generator termoelektrik dan tegangan yang dihasilkan oleh generator termoelektrik. Setelah itu menentukan kebutuhan jumlah generator termoelektrik yang dipakai untuk mengkonversi energi panas menjadi energi listrik. Setelah alat selesai dibuat, dilakukan pengambilan data tegangan dan arus yang dihasilkan dengan beberapa perbedaan temperature panas dan dingin.

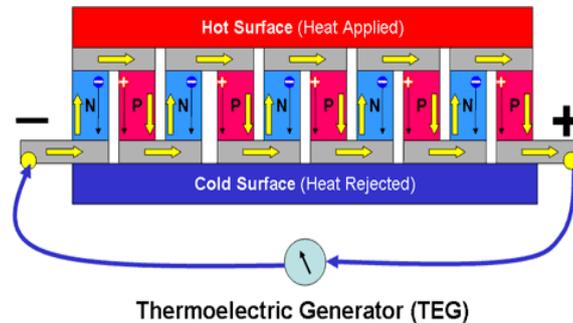
2.1. Generator Termoelektrik

Generator termoelektrik bekerja dengan memanfaatkan efek *Seebeck* yaitu jika 2 buah logam dengan jenis yang berbeda disambungkan pada salah satu ujungnya, selanjutnya diberikan suhu yang berbeda pada sambungan tersebut, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung logam yang satu dengan ujung logam yang lain [12], [13]. Jika perbedaan nilai suhu tersebut semakin besar, maka beda potensial listrik yang dihasilkan oleh generator termoelektrik semakin besar [14]. Tegangan yang dihasilkan oleh generator termoelektrik dinyatakan oleh Persamaan 1.

$$V = S \times \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

Dimana V adalah tegangan yang dihasilkan, S merupakan koefisien *Seebeck* dan ΔT sebagai perbedaan temperature panas dan dingin. Pada generator termoelektrik memiliki dua jenis semikonduktor yang berbeda jenis P dan N. semikonduktor P memiliki harga ap (*thermoelectric power*) yang positif sedangkan semikonduktor N memiliki harga an yang negatif [15]. Pada masing-masing *junction* yang dipasang mempunyai unsur *non-metal* sebagai permukaan perpindahan panas. Salah satu permukaan (*cold junction*) akan menyerap panas dan bertindak sebagai evaporator pada sistem kompresi uap sedangkan *hot junction* melepaskan panas ke lingkungan mirip dengan fungsi kondensor

pada sistem kompresi udara [5]. Gambar 1 menggambarkan susunan semikonduktor dari generator termoelektrik.

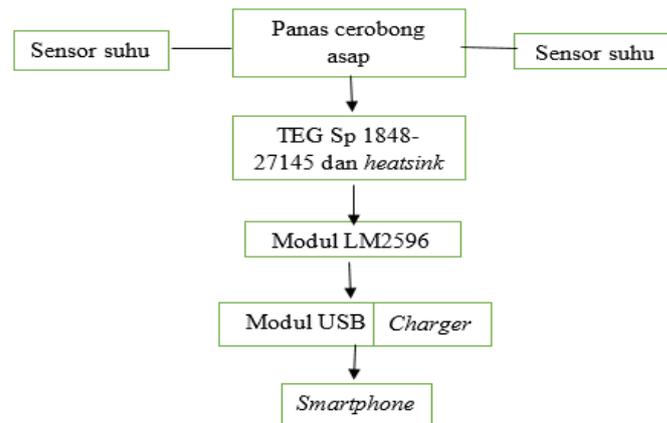


Gambar 1 Susunan Semikonduktor TEG

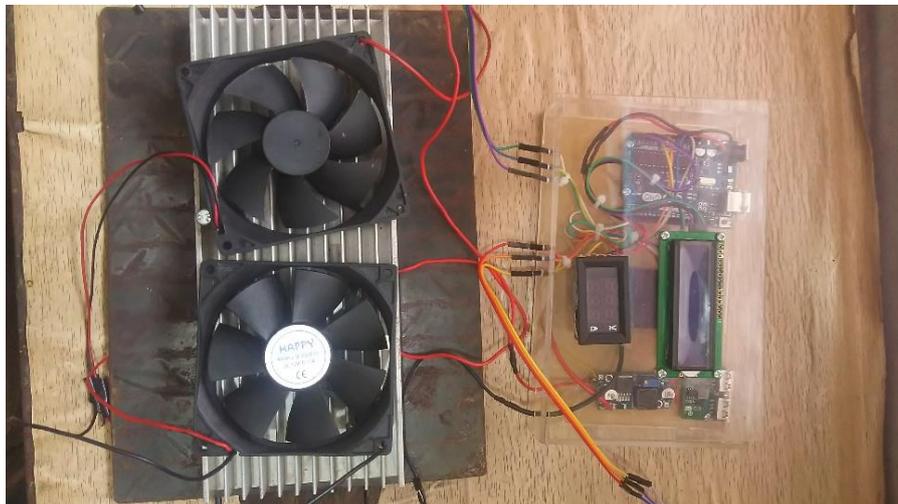
Elektron pada lapisan panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan lapisan dingin logam. Dengan adanya kecepatan yang lebih tinggi, maka elektron dari lapisan panas akan mengalami transisi ke lapisan dingin sehingga menyebabkan terjadinya medan listrik pada logam atau material tersebut. Elemen termoelektrik yang tersusun dari bahan semi konduktor tipe N dan tipe P yang dihubungkan dalam rangkaian tertutup yang terdapat pada beban, maka perbedaan suhu yang ada pada tiap sisi dan tiap semikonduktor tersebut akan menyebabkan perpindahan elektron dari lapisan panas menuju lapisan dingin akan menimbulkan medan listrik [16]. Semakin tinggi perbedaan suhu pada ruang tertutup termoelektrik generator, maka semakin tinggi pula aliran listrik yang dihasilkan [5].

2.2. Perancangan Alat

Penelitian ini menggunakan 5 buah modul generator termoelektrik TEG SP 1848-27145 [17] yang disusun secara seri untuk mengkonversi panas menjadi energi listrik. Generator termoelektrik yang diaplikasikan dalam penelitian ini menggunakan tipe TEG SP 1848-27145 karena memiliki daya tahan yang tinggi dibandingkan tipe yang lainnya [18]. Panas dari cerobong asap yang dihasilkan dari boiler pada proses pembuatan tahu akan diserap oleh generator termoelektrik dari sisi panas, dan dari sisi dingin akan dilakukan proses pendinginan oleh sirip pendingin atau *heatsink* yang dibantu oleh kipas DC 24 volt. Energi panas yang dihasilkan oleh cerobong asap dari proses pemanasan air pada boiler pembuatan tahu dan energi dingin dari sirip pendingin yang diserap oleh termoelektrik generator lalu diubah menjadi aliran listrik. Listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan ke rangkaian *DC to DC converter* menggunakan kabel yang mana tegangan listrik tersebut akan diturunkan sesuai dengan *input* yang dibutuhkan oleh rangkaian pengisi daya sebesar 5 volt, apabila tegangan yang dihasilkan oleh generator termoelektrik melebihi 5 volt. Adapun diagram blok system yang dirancang dalam penelitian ini disajikan oleh Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Blok Konversi Energi Dengan Generator Termoelektrik Untuk Pengisian Daya *Smartphone*



Gambar 3 Rangkaian Generator Termoelektrik dan Pengisi Daya

Gambar 3 merupakan rangkaian generator termoelektrik yang digunakan untuk mengisi daya *smartphone* dengan sensor suhu LM35 yang dihubungkan ke *Arduino* untuk melihat perbedaan suhu pada sisi panas dan sisi dingin. Cara kerja rangkaian ini adalah panas yang dihasilkan dari cerobong asap dikonversi oleh termoelektrik generator type SP 1848-27145 pada sisi panas. Sedangkan, pada sisi dingin menggunakan sumber dingin sirip pendingin dan kipas 24 volt DC *high speed* yang biasa dipakai pada mesin las inverter. Hasil dari perbedaan suhu tersebut menghasilkan energi listrik yang diteruskan ke modul *buck converter* atau *step down* tipe LM2596 untuk diturunkan tegangannya apabila tegangan yang dihasilkan oleh generator termoelektrik lebih besar dari tegangan yang diperlukan oleh *USB Charger*. Dalam penelitian ini tegangan keluaran diatur sebesar 5,2 volt sesuai kebutuhan modul *USB Charger*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

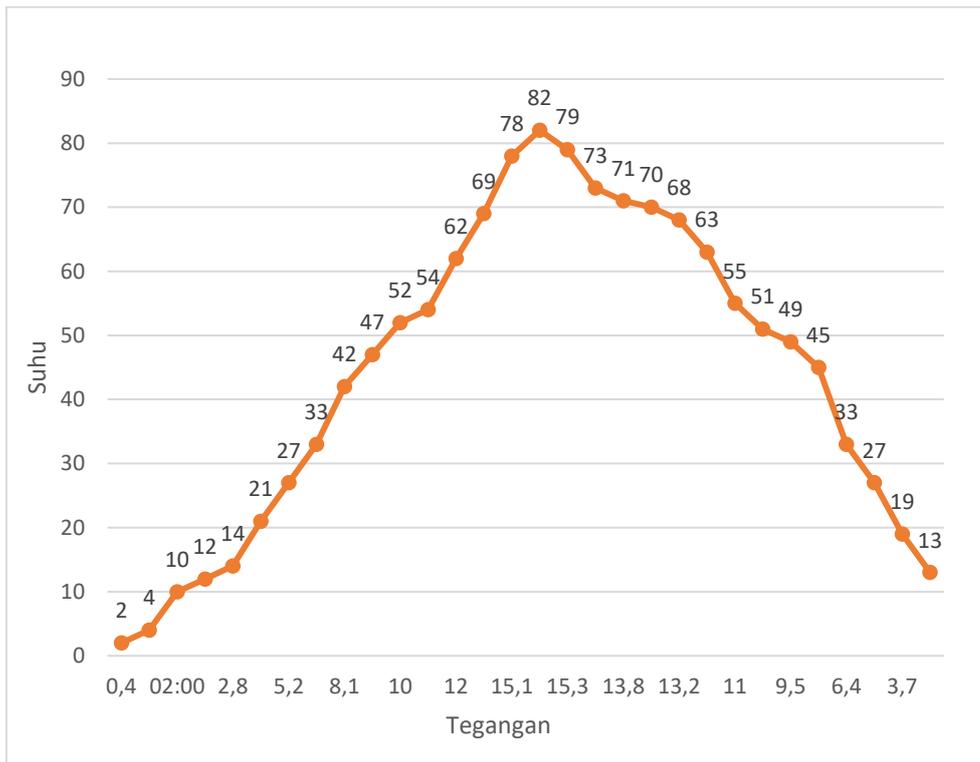
Analisa letak suhu tertinggi dilakukan sebelum pengambilan data, langkah ini dilakukan supaya alat tidak rusak saat digunakan. Perihal ini disebabkan oleh generator termoelektrik yang memiliki keterbatasan dalam menerima suhu panas yaitu sebesar 138 derajat celsius. Maka dari itu cerobong asap dirubah bentuknya dan disesuaikan dengan kapasitas generator termoelektrik tersebut.

Pengambilan data dilakukan sesuai dengan jam produksi dimulai dari jam 08.30 WIB sampai jam 16.30 WIB sesuai dengan jam produksi pembuatan tahu. Pengambilan data dilakukan dengan mengamati dan mengukur suhu secara langsung yang ditampilkan melalui LCD *Display* M1632 setiap 15 menit sekali.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Termoelektrik Generator Pada Cerobong Asap

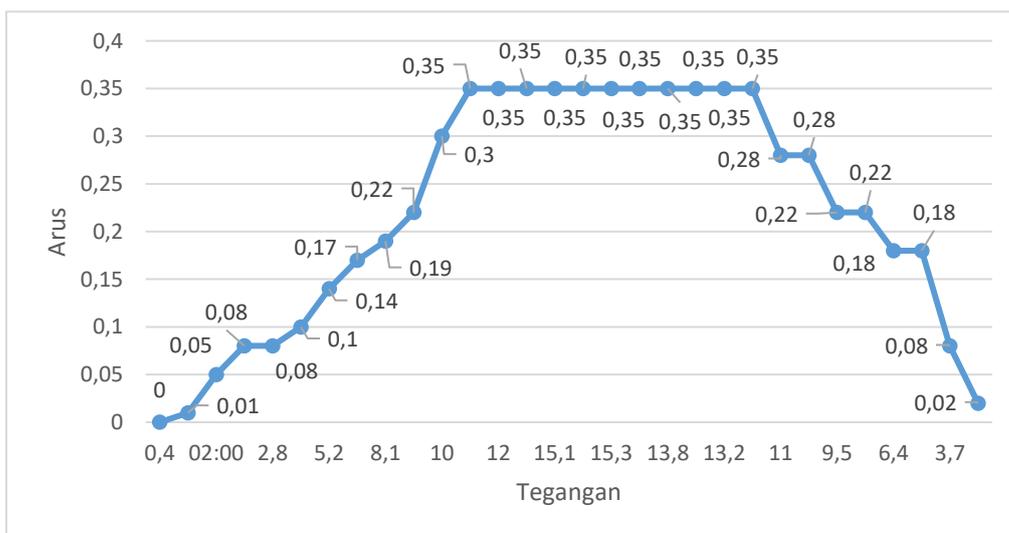
No	Suhu Panas (°C)	Suhu Dingin (°C)	Beda Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (i)	Daya (Watt)
1	27	25	2	0,4	0,00	0
2	30	26	4	0,7	0,01	0,007
3	39	29	10	2,0	0,05	0,10
4	45	33	12	2,3	0,08	0,184
5	51	37	14	2,8	0,08	0,224
6	59	38	21	4,0	0,10	0,40
7	66	39	27	5,2	0,14	0,728
8	75	42	33	6,4	0,17	1,088
9	84	42	42	8,1	0,19	1,539
10	91	44	47	9,1	0,22	2,002
11	99	47	52	10,0	0,30	3,00
12	105	51	54	10,5	0,35	3,675
13	112	50	62	12,0	0,35	4,20
14	118	49	69	13,4	0,35	4,69
15	127	49	78	15,1	0,35	5,285
16	131	49	82	15,9	0,35	5,565
17	129	50	79	15,3	0,35	5,355
18	125	52	73	14,1	0,35	4,935
19	120	49	71	13,8	0,35	4,83
20	114	44	70	13,6	0,35	4,76
21	107	39	68	13,2	0,35	4,62
22	99	36	63	12,2	0,35	4,27
23	91	34	55	11,0	0,28	3,08
24	85	34	51	9,9	0,28	2,772
25	79	30	49	9,5	0,22	2,09
26	72	27	45	8,7	0,22	1,914
27	60	27	33	6,4	0,18	1,152
28	53	26	27	5,2	0,18	0,936
29	45	26	19	3,7	0,08	0,296
30	39	26	13	2,5	0,02	0,05

Dari data yang disampaikan oleh Tabel 1 diatas diperoleh suhu maksimal mencapai 131 derajat celsius dengan perbedaan suhu tertinggi 82 derajat celsius yang menghasilkan tegangan keluaran sebesar 15,9 Volt. Kenaikan suhu rata-rata hingga mencapai puncak panas sebesar 6,5 derajat celsius setiap 15 menit, Rata-rata kenaikan suhu dingin sebesar 1,5 derajat celsius setiap 15 menit.



Gambar 4 Grafik Pengukuran Suhu dan Tegangan

Dari gambar 4 diatas diketahui jika semakin tinggi perbedaan suhu, maka tegangan yang dihasilkan oleh generator termoelektrik akan semakin besar. Kenaikan suhu panas dikarenakan meningkatnya proses produksi tahu dan panas yang tersimpan pada material cerobong asap, sedangkan dari suhu pada sirip pendingin tidak begitu mengalami kenaikan karena adanya pengaruh oleh cuaca lingkungan pada saat itu (sedang berawan) dan material pendingin yang berkualitas. Sirip pendingin yang digunakan berupa logam aluminium memiliki ketebalan 5 mm dan dibantu dengan kipas dengan daya 24 volt 1,3 A.



Gambar 5 Grafik Pengukuran Arus dan Tegangan

Pada gambar 5 menerangkan bahwa perubahan arus terjadi seiring meningkatnya tegangan yang dihasilkan, dan mengalami puncaknya pada tegangan 10,2 volt sampai dengan 15,9 volt sebelum mengalami penurunan tegangan.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini disimpulkan bahwa 5 buah modul Generator termoelektrik TEG SP 1848-27145 yang disusun secara seri dalam penelitian ini dapat bekerja dengan memanfaatkan perbedaan suhu panas yang dihasilkan oleh cerobong asap pembuatan tahu dan suhu dingin dari sirip pendingin yang dikonversi menjadi energi listrik dan dapat dimanfaatkan untuk mengisi daya *smartphone*. Besarnya daya yang dihasilkan dari generator termoelektrik bervariasi sesuai perbedaan suhu yang dihasilkan. Daya tertinggi yang dihasilkan mencapai 15,9 volt 0,35 ampere pada suhu panas tertinggi sebesar 131⁰ Celcius dan suhu dingin sebesar 49⁰ Celcius. Sedangkan pada suhu panas terendah sebesar 27⁰ Celcius dan suhu dingin sebesar 25⁰ Celcius menghasilkan tegangan 0,4 volt dan arus sebesar 0,00 ampere.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. P. Simanjuntak, "METODE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BIOMASSA NON FOSIL," 2023.
- [2] M. Bustamiyatno dan W. D. Rahardjo, "Pengaruh perubahan temperatur gas buang terhadap karakteristik modul termoelektrik generator sebagai sumber energi listrik alternatif pada sepeda motor 150cc," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 16, no. 2, hlm. 87, Sep 2021, doi: 10.36289/jtmi.v16i2.249.
- [3] S. Klara dan Sutrisno, "Pemanfaatan Panas Gas Buang Mesin Diesel sebagai Energi Listrik," *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan (JRTK)*, vol. 14, 2016.
- [4] R. Sukarno, "PEMANFAATAN PANAS GAS BUANG SEPEDA MOTOR SEBAGAI SUMBER ENERGI ALTERNATIF MENGGUNAKAN TEKNOLOGI THERMOELEKTRIK," *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 3, no. 3, 2016, doi: 10.21009/jkem.3.3.6.
- [5] M. Latif, N. Hayati, dan U. G. S. Dinata, "Potensi Energi Listrik Pada Gas Buang Sepeda Motor," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 11, no. 5, hlm. 163–168, 2015.
- [6] Sugiyanto, "Pemanfaatan Panas Knalpot Sepeda Motor Matic 110 Cc Untuk Pembangkitan Listrik Mandiri," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 3, 2014.
- [7] S. A. Sasmita, M. T. Ramadhan, M. I. Kamal, Y. Dewanto, dan others, "Alternatif pembangkit energi listrik menggunakan prinsip termoelektrik generator," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 21, no. 1, hlm. 57–61, 2019.
- [8] Ginanjar, A. Hiendro, dan D. Suryadi, "Perancangan dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik dengan Menggunakan Kompor Surya sebagai Media Pemusat Panas," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, 2019.
- [9] . R., S. Anwar, dan S. P. Sari, "Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensator pada Sistem Pendingin," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 10, no. 4, Mar 2014, doi: 10.17529/jre.v10i4.1108.

- [10] H. Rafika, R. I. Mainil, dan A. Aziz, “Kaji Eksperimental Pembangkit Listrik Berbasis Thermoelectric Generator (Teg) Dengan Pendinginan Menggunakan Udara,” *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 15, no. 1, 2017.
- [11] Z. Djafar, N. Putra, dan R. A. Koestoer, “Kajian Eksperimental Pengembangan Generator Termoelektrik Sebagai Sumber Listrik,” *SNTTM ke-9, Palembang*, 2010.
- [12] A. W. Van Herwaarden dan P. M. Sarro, “Thermal sensors based on the Seebeck effect,” *Sensors and Actuators*, vol. 10, no. 3–4, hlm. 321–346, 1986.
- [13] R. Rizaldi dan L. Edahwati, “Analisa Termoelektrik Generator Dan Motor DC + Kipas Dengan Perbedaan Alas Konduktor Dari Sumber Energi Panas,” *JURNAL FLYWHEEL*, vol. 13, no. 2, 2022, doi: 10.36040/flywheel.v13i2.5853.
- [14] S. Suliono, E. Haris, R. Rachmatullah, dan S. Zulfa, “KARAKTERISTIK UNJUK KERJA PANAS PADA GENERATOR TERMOELEKTRIK DENGAN PENGATURAN JARAK SECARA CENTROID,” *EDUSAINTEK*, vol. 3, 2019.
- [15] A. E. Putra, R. Rifky, dan A. Fikri, “Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan,” *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, vol. 3, 2019, doi: 10.22236/teknoka.v3i0.2911.
- [16] S. C. Puspita, H. Sunarno, dan B. Indarto, “Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki,” *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 13, no. 2, 2017, doi: 10.12962/j24604682.v13i2.2748.
- [17] T. A. Ajiwiguna, D. S. Wulandari, dan M. R. Kirom, “Experimental Study of Thermoelectric Module Utilization as Water Heater,” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, no. 11, hlm. 9011–9013, 2018.
- [18] C. E. Ouserigha dan A. K. Benjamin, “Evaluation of the Performance of the SP 1848-27145 Thermoelectric Generator Module,” *International Journal of Scientific and Research Publications (IJSRP)*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.29322/ij srp.12.02.2022.p12246.