

Pemanenan Panas dari Tungku Biomassa dengan Termoelektrik untuk Menghasilkan Listrik

Ihya Maulana Arif¹, Hafidh Hasan², Mahdi Syukri³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Elektro dan Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh, 23111, Aceh, Indonesia

¹ihyamaulanaa@gmail.com

²hafidh.hasan@unsyiah.ac.id

³mahdisyukri@unsyiah.ac.id

Abstrak— Biomassa kayu adalah salah satu bentuk energi yang paling mudah ditemukan dan diakses oleh manusia. Proses ekstraksi energi dari kayu sangat mudah yaitu melalui proses pembakaran. Oleh karenanya kayu sangat praktis untuk digunakan sebagai sumber energi pada waktu bentuk energi lain sulit ditemukan, misalnya pada waktu terjadi bencana. Pemanfaatan energi kayu yang paling banyak ditemui adalah untuk memasak atau kegiatan produksi yang membutuhkan panas. Proses memasak tersebut umumnya menggunakan tungku terbuka, sehingga sebagian besar energi kayu terbuang sebagai panas ke lingkungan sekitar tungku. Dalam penelitian ini telah dikaji teknik untuk memanen panas dari pembakaran biomassa kayu untuk menghasilkan energi listrik. Untuk memaksimalkan panas dan meminimalkan panas untuk itu diperlukan desain tungku yang dapat meminimalkan terbuangnya panas. Metode konversi energi panas ke energi listrik menggunakan prinsip termoelektrik. Untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran dan kontinuitas energi yang dipanen dari panas tungku, digunakan konverter dc-dc dan baterai lithium.

Kata Kunci— Generator Termoelektrik, Tungku Biomassa.

I. PENDAHULUAN

Biomassa adalah material hayati yang berasal dari bagian tanaman atau hewan yang telah mati [1]. Biomassa dapat digunakan sebagai sumber energi. Kayu adalah salah satu bentuk biomassa yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi tanpa pengolahan terlebih dahulu melalui proses pembakaran. Sampai saat ini masih banyak ditemukan penggunaan kayu, terutama di pedesaan untuk kegiatan memasak. Umumnya proses pembakaran kayu dilakukan dengan menggunakan tungku dengan desain terbuka. Kekurangan dari desain tungku ini adalah hilangnya sebagian besar energi panas dari pembakaran ke lingkungan sekitar tungku. Untuk peningkatan efektifitas pemanfaatan energi dari kayu tersebut dapat diperbaiki dengan menggunakan tungku tertutup [2]. Desain tersebut dapat menaikkan temperatur tungku melebihi 400°C.

Untuk menambah keefektifan pemanfaatan energi kayu, panas dari tungku dapat dimanfaatkan lebih lanjut untuk membangkitkan energi listrik [3]. Proses konversi panas ke listrik tersebut dilakukan dengan menggunakan generator termoelektrik yang bekerja berdasarkan prinsip *peltier* dan *seebeck*. Prinsip *seebeck* menjelaskan fenomena timbulnya

perbedaan potensial ketika dua konduktor terbuat dari material berbeda memiliki temperatur yang berbeda. Rangkaian tersebut di atas disebut rangkaian *thermocouple*. Prinsip *peltier* juga menjelaskan apa yang terjadi pada rangkaian *thermocouple* yang dialiri arus akan menghasilkan panas pada satu konduktor dan diserap oleh konduktor lainnya [4].

Generator termoelektrik terdiri dari satu sisi panas dengan temperatur T_h dan satu sisi dingin dengan temperatur T_c . Pada sisi generator termoelektrik dengan suhu yang lebih tinggi, akan menggerakkan elektron pada batang dengan material semikonduktor tipe-n (material yang kelebihan elektron) menuju sisi dingin dengan suhu yang lebih rendah dan masuk ke batang dengan material tipe-p (material yang kekurangan elektron) melalui metal *junction*. Sehingga akan timbul arus listrik dari pergerakan elektron tersebut [5]. Suatu percobaan untuk menghasilkan listrik menggunakan generator termoelektrik dilakukan di dalam [6]. Untuk menstabilkan tegangan keluaran generator termoelektrik digunakan konverter *boost*. Alat tersebut diuji untuk *charging* telepon seluler. Namun alat tersebut dikembangkan dengan menggunakan sumber panas buatan dan pendingin dan tidak aplikatif dalam kehidupan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Termoelektrik

Generator termoelektrik atau dikenal juga sebagai sel termoelektrik adalah suatu alat yang bisa menghasilkan listrik dari perbedaan temperatur antara kedua sisi sel [6]. Sebaliknya saat sel termoelektrik diberi tegangan akan menghasilkan perbedaan temperatur antara kedua sisinya. Sel termoelektrik merupakan alat elektronik *solid state* tanpa komponen yang bergerak seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar. 1 Suatu sel atau generator termoelektrik yang menerapkan prinsip *seebeck* untuk membangkitkan listrik.

Setelah penemuan efek termoelektrik, perkembangan awal termoelektrik melambat, penggunaan termoelektrik hanya sebatas pada pengukuran suhu. Pada tahun 1930-an setelah semikonduktor ditemukan membuat kegiatan pengembangan termoelektrik kembali meningkat. Pada tahun 1950-an semikonduktor mulai dipergunakan untuk bahan termoelektrik yang memungkinkan untuk membuat pendingin kulkas dan generator termoelektrik [8].

1) *Material Termoelektrik*: *Material Termoelektrik* dalam pembuatannya diklasifikasikan tiga material utama yang digunakan, yaitu semikonduktor, polimer, dan keramik. Dari tiga jenis ini, semikonduktor menjadi bahan paling populer yang digunakan dibandingkan dengan bahan jenis lain. Bahan semikonduktor merupakan bahan yang paling umum digunakan dalam konstruksi sel termoelektrik, karena bahan semikonduktor memiliki nilai koefisien seebeck yang besar melebihi 100 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Salah satu bahan semikonduktor yang memiliki nilai massa atom tinggi adalah Bismut Telluride (Bi_2Te_3) [9]. Bahan semikonduktor lainnya yang banyak digunakan untuk kondisi tertentu dalam konstruksi termoelektrik adalah Bismuth Antimony (SbBi), Silikon Germanium (SiGe), dan Timbal Telluride (PbTe). Bahan semikonduktor Silicon Germanium memiliki tingkat kerja pada temperatur yang tinggi, dimana bahan ini mampu bekerja pada suhu 750°C hingga 1000°C , sehingga harga materian jenis ini sangat mahal dengan kelebihan yang dimilikinya. Sedangkan untuk bahan semikonduktor Bismuth Telluride memiliki tingkat kerja pada suhu maksimum 750°C dan bahan ini umum digunakan untuk kontruksi sel termoelektrik yang digunakan untuk elemen pendinginan atau pengkombinasian pendinginan dan pemanasan karena adanya perbedaan suhu sehingga menimbulkan daya listrik [4].

2) *Koefisien Seebeck*: *Koefisien Seebeck* menunjukkan bahwa kondisi termoelektrik akan terisi dengan elektron bermuatan negatif saat termokopel dipanaskan. Termoelektrik yang bermuatan negatif memiliki kelebihan elektron koefisien seebecknya., sedangkan termoelektrik bermuatan positif memiliki kekurangan elektron koefisien seebecknya. Sehingga setiap konduktor ada yang bermuatan negative dan ada yang bermuatan positif [10]. Besarnya nilai Koefisien seebeck berdasarkan pada perbedaan temperature dan perbedaan tegangan yang dikeluarkan [4]. Rumus untuk menghitung koefisien seebeck terdapat pada persamaan 1. dimana $S_1 = 1,33450 \times 10^{-2}$, $S_2 = -5,37574 \times 10^{-5}$, $S_3 = 7,42731 \times 10^{-7}$, $S_4 = -1,27141 \times 10^{-9}$ dan S_{MTh} adalah koefisien seebeck pada sisi panas T_h , dan S_{MTc} : koefisien seebeck pada sisi dingin T_c . Untuk total koefisien seebeck dengan 71 pasang semikonduktor berlaku persamaan 2. Sedangkan koefisien seebeck untuk modul yang digunakan menggunakan 127 pasang semikonduktor dan 6 ampere, berlaku rumus 3 dimana S_N adalah koefisien seebeck untuk modul dengan 127 pasang semikonduktor [4].

$$S_{MTh} \text{ atau } S_{MTc} = S_1 + \frac{S_2 T^2}{2} + \frac{S_3 T^3}{3} + \frac{S_4 T^4}{4} \quad (1)$$

$$S_M = \frac{S_{MTh} + S_{MTc}}{2} \quad (2)$$

$$S_N = S_M \times \frac{127}{71} \quad (3)$$

B. Generator Termoelektrik

Generator termoelektrik terdiri dari beberapa modul termoelektrik yang disusun secara seri dan paralel. Banyaknya jumlah modul yang diserikan atau diparalelkan akan berpengaruh terhadap besar arus dan tegangan yang dihasilkan generator termoelektrik [12].

$$NT = NS \times NP \quad (4)$$

1) *Spesifikasi Modul Termoelektrik TEG SP1848*: Dalam penelitian ini menggunakan modul termoelektrik jenis Termoelektrik Cooler TEG SP1848 dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Panjang sisi modul 40 mm dan lebarnya 40 mm dengan ketebalan 3.4 mm.
- Besar perbedaan suhu antara sisi panas dengan sisi dingin 20°C s/d 100°C .
- Maksimal arus listrik yang dapat mengalir (I_{max}) adalah 669 mA.
- Maksimal tegangan yang mengalir (V_{max}) adalah 4,8 V.
- Suhu bekerja yang diperbolehkan dalam penggunaannya adalah -30°C s/d 120°C .

TABEL I
KONDUKTIVITAS THERMAL BAHAN [12]

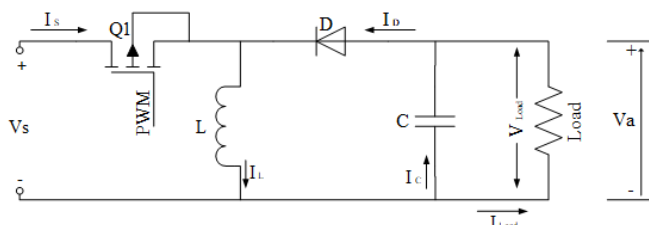
Bahan	k (W/m.K)
Aluminium	205,0
Kuningan	109,0
Tembaga	385,0
Perak	406,0

2) *Konduktivitas Termal Panghantar Pamanen Panas*: *Penghantar pemanen panas* adalah konduktor yang digunakan untuk memanen panas dari tungku untuk dihantarkan kepada sel termoelektrik. Kemampuan penghantar dalam menghantarkan panas ditentukan oleh konduktivitas termal. Penghantar panas yang baik ditandai dengan nilai konduktivitas termal yang tinggi, sedangkan konduktor yang jelek ditandai dengan nilai konduktivitas termal yang rendah. Pada Tabel I dapat dilihat daftar beberapa material penghantar dan nilai konduktivitasnya.

3) *DC-DC Konverter*: *DC-DC Konverter* berguna mengubah daya listrik searah (DC) dari satu level ke bentuk daya listrik searah (DC) level lainnya. Umumnya Ada 3 jenis DC-Dc konverter yang banyak digunakan, yaitu: 1) konverter buck, 2) konverter boost, dan 3) konverter buck boost. Konverter buck-boost merupakan gabungan dari konverter buck dan boost, sehingga memiliki kemampuan konversi

tegangan dc ke dc ke level yang lebih tinggi atau lebih rendah dari *input*. Adapun rangkaian konverter *buck boost* digambarkan di Gambar 2. Adapun spesifikasi konverter buck-boost adalah:

1. Tegangan input 3,8 - 32 V.
2. Tegangan output 1,25 - 35 V.
3. Arus keluaran maksimum 3 A.
4. Efisiensi konversi <94%.
5. Suhu operasional sampai dengan 85°C.



Gambar. 2 Rangkaian konverter buck-boost.

III. METODE PENELITIAN

A. Kebutuhan Sistem

Tabel 2 menunjukkan alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang perakitan penelitian ini.

TABEL 1
ALAT DAN BAHAN

No	Alat dan Bahan
1	Thermometer infrared
2	Modul Termoelektrik TEG SP1848
3	Heatsink
4	Kolektor panas (aluminium pelat dan batang)
5	Tungku tertutup
6	Modul buck boost converter XL6009
7	Baterai litium 18650

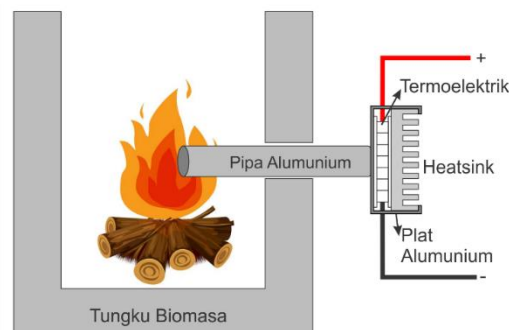
B. Prosedur Penelitian

Skema generator termoelektrik yang dirancang tersusun dari beberapa komponen melalui tahap perancangan. Berikut tahapan perancangan yang dilakukan, yaitu:

1) *Perancangan Kolektor Panas*: Perancangan kolektor panas ini menggunakan pipa aluminium yang dibuat sedemikian rupa dimana salah satu ujungnya diletakkan di tengah kompor biomassa agar terjadi pemanasan langsung dari pembakaran di kompor biomassa, sedangkan ujung lainnya direkatkan ke plat aluminium yang memiliki ketebalan 1 mm dengan lebar 15 x 10 cm yang melekat ke sisi panas sel termoelektrik (lihat Gambar 3).

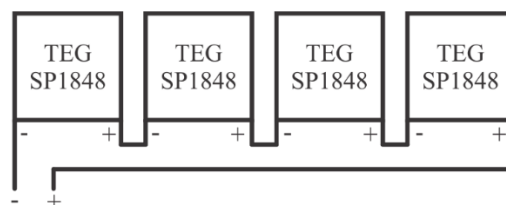
2) *Pemasangan Termoelektrik*: Sisi panas dari termoelektrik di tempelkan pada plat aluminium yang terhubung dengan pipa tembaga. Proses penempelan modul menggunakan thermal pasta agar panas dari plat aluminium dapat dipindahkan ke modul termoelektrik. Jumlah modul termoelektrik yang digunakan sebanyak 4 modul termoelektrik. Sedangkan untuk proses pelepasan panas dari

modul termoelektrik digunakan heatsink sebagai media pendingin. Heatsink yang digunakan berjumlah 2 buah yang memiliki ukuran 5,5 x 10 cm. Perekatan heatsink ke modul termoelektrik juga menggunakan thermal pasta untuk menghindari adanya rongga-rongga kosong antara modul dan heatsink.



Gambar. 3 Skema instalasi generator termoelektrik dan metode pemanenan panas menggunakan pipa aluminium.

3) *Rangkaian Termoelektrik*: Rangkaian Termoelektrik pada penelitian ini dirangkai secara seri sebanyak 4 modul, untuk mencapai tegangan seperti yang diharapkan.



Gambar. 4 Rangkaian seri modul termoelektrik.

4) *Rangkaian Pengisian Baterai*: Saat semua modul termoelektrik sudah di rangkai secara seri dan generator termoelektrik sudah dirancang, maka selanjutnya dilakukan penstabilan tegangan dengan menggunakan modul konverter buck-boost. Kabel output dari rangkaian modul termoelektrik dihubungkan dengan titik input konverter buck-boost. Tegangan keluaran dari konverter buck-boost diatur pada level 4,5V. Sedangkan titik output konverter buck-boost dihubungkan dengan baterai lithium 18650 untuk proses pengisian. Dalam penelitian ini baterai lithium digunakan sebagai beban untuk menguji kemampuan dari generator termoelektrik tersebut.

5) *Pengujian Generator Termoelektrik*: Pada tahap pengujian dilakukan pengukuran besar tegangan dan arus pada termoelektrik yang dirangkai secara seri sebagai data perbandingan daya output yang dihasilkan terhadap perbandingan panas pada plat aluminium. Adapun item pengukuran yang akan dilakukan adalah :

1. Temperatur T_h pada sisi panas sel termoelektrik.
2. Temperatur T_c pada sisi dingin modul termoelektrik.
3. Tegangan output V_a generator termoelektrik
4. Tegangan output dari konverter buck-boost

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian generator termoelektrik dilakukan menggunakan dua konfigurasi. Pertama, pengujian tanpa beban. Kedua, pengujian dengan menggunakan beban baterai *lithium*.



Gambar. 5 Tungku biomassa dengan batang aluminium.

A. Pengujian generator termoelektrik tanpa beban

Pengujian menggunakan 4 buah modul termoelektrik yang dirangkai seri tanpa beban. Hasil pengujian dapat dilihat pada grafik di Gambar. 6. Berdasarkan hasil yang didapat pada pengujian dapat dilihat pada tabel diatas bahwa pada menit 0 perbedaan suhu antara sisi dingin dengan sisi panas belum besar, seiring bertambahnya waktu lamanya pengujian hingga pada menit ke 60 besar perbedaan suhu dan tegangan yang dihasilkan semakin besar yaitu 23,2°C dan 5,06 V. Dari grafik Gambar 6 dapat dilihat bahwa perbedaan suhu berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan dimana semakin besar perbedaan suhu yang terjadi maka semakin besar juga tegangan yang dihasilkan dari generator termoelektrik.

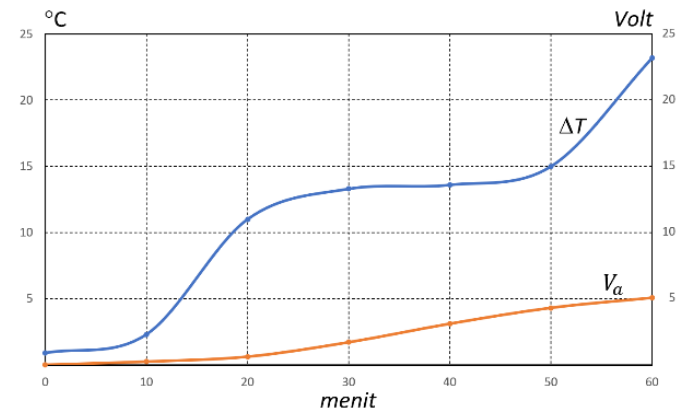
B. Pengujian generator termoelektrik dengan beban 10 ohm

Pada pengujian kedua ini hampir sama dengan pengujian sebelumnya, hanya saja pada pengujian ini digunakan resistor 10 Ohm sebagai beban. Pada waktu menit 0 didapatkan perbedaan suhu 0,5 °K dengan tegangan yang dihasilkan nol. Seiring dengan lamanya waktu pengujian, maka suhu pada pelat aluminium dan *heatsink* juga meningkat hingga pada menit ke 60 perbedaan suhu menunjukkan 26,3°C dengan tegangan keluaran 5,1 V.

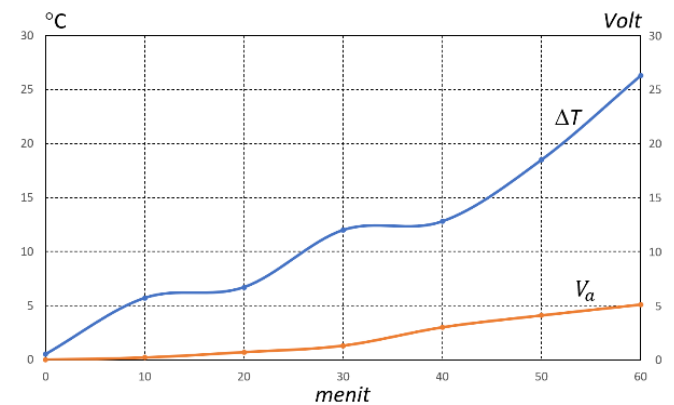
C. Pengujian generator termoelektrik untuk mengisi baterai *lithium* 18650

Pengujian ketiga dilakukan dengan menggunakan dc-dc konverter untuk menstabilkan tegangan keluaran modul agar dapat mengisi baterai *lithium* 18650. Tegangan output dari modul termoelektrik dimasukkan ke konverter *buck-boost*, kemudian output dari modul dc-dc konverter dihubungkan ke baterai *lithium* 18650. Mulai menit ke 0 hingga menit ke 40 dc-dc konverter belum mengeluarkan tegangan konversinya, sedangkan pada menit ke 50 dan ke 60 dc-dc konverter sudah menstabilkan tegangan keluaran dari modul menjadi 4,5 volt. Hal ini dikarenakan dc-dc konverter akan bekerja ketika rating

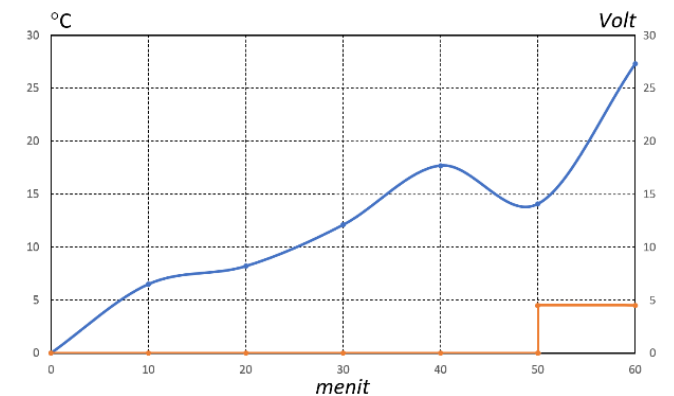
tegangan input minimumnya sebesar 3,8 volt, sedangkan pada menit ke 40 tegangan keluaran modul (input dc-dc konverter) masih 3,4 volt. Saat konverter *buck-boost* sudah mengeluarkan tegangan maka diukur arus yang mengalir didapatkan sebesar 0,5 A.



Gambar. 6 Grafik hubungan perbedaan temperatur dengan tegangan pada percobaan tanpa beban.



Gambar. 7 Grafik hubungan perbedaan temperatur dengan tegangan pada percobaan dengan beban resistor 10 Ohm.



Gambar. 8 Grafik hubungan perbedaan temperatur dengan tegangan pada percobaan menggunakan baterai *lithium*.

V. KESIMPULAN

Pada pengujian generator termoelektrik yang pertama, yaitu pengujian dengan 4 buah modul termoelektrik yang dirangkai seri tanpa adanya beban didapatkan tagangan

keluaran maksimal sebesar 5,06 V dengan perbedaan suhu ΔT sebesar 23,2°C. Pada pengujian dengan menggunakan beban 10 ohm didapatkan tegangan maksimal 5,1 V dengan arus 0,54 A dan perbedaan suhu 26,3°C. pada pengujian ini juga didapatkan efisiensi pembangkit maksimal sebesar 2,4%.

Sedangkan pada pengujian terakhir, yaitu dengan menggunakan dc-dc konverter dan beban baterai lithium 18650 didapatkan dc-dc konverter mengeluarkan tegangan 4,5 V dengan arus 0,5 A. Kondisi besar api pada tunggu

biomassa yang tidak stabil mejadi salah satu penghambat sehingga modul termoelektrik tidak dapat menerima panas secara teratur dan maksimal.

Dari keseluruhan pengujian dapat dilihat bahwa tegangan output yang dihasilkan modul berbanding lurus dengan besarnya perbedaan suhu ΔT . Hal ini sesuai dengan karakteristik dari termoelektrik berdasarkan teori efek *seebeck*.

REFERENSI

- [1] V. Smil, *Biomass Energies: Resources, Links, Constraints*. Springer US, 2013.
- [2] H. Hasan and S. H. Anwar, "Pengenalan dan Pemanfaatan Tungku Biomasa dengan Pembakaran Bersih Bagi Pengusaha Ikan Kayu (Keumamah) di Kota Banda Aceh," *JUARA: Jurnal Wahana Abdimas Sejahtera*, vol. 2, no. 1, pp. 43-54, 2020.
- [3] A. W. Culp, *Prinsip-prinsip Konversi Energi*, 1st ed. Jakarta: Erlangga, 1989.
- [4] M. Khalid, M. Syukri, and M. Gapy, "Pemanfaatan energi panas sebagai pembangkit listrik alternatif berskala kecil dengan menggunakan termoelektrik," *Jurnal Online Teknik Elektro*, vol. 1, no. 3, pp. 57-62, 2016.
- [5] A. P. Pratama, "Studi Eksperimental Termoelektrik Tipe sp 1848 27145 SA dan tec1-12706 dengan Variasi Seri dan Paralel pada Supra X 125 cc," Surakarta, 2018.
- [6] A. A. Rafsanjani, E. Kurniawan, and E. Estanto, "Desain dan Implementasi Generator Termoelektrik Sebagai Sumber Energi Alternatif untuk Keperluan Darurat," *EProceedings Eng.*, vol. 4, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2017, doi: 10.34818/eoe.v4i3.4869.
- [7] S. C. Puspita, H. Sunarno, and B. Indarto, "Generator Termoelektrik untuk Pengisian Aki," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 13, no. 2, pp. 84-87, 2017, doi: 10.12962/j24604682.v13i2.2748.
- [8] W. He, G. Zhang, X. Zhang, J. Ji, G. Li, and X. Zhao, "Recent development and application of thermoelectric generator and cooler," *Applied Energy*, vol. 143, pp. 1-25, 2015, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.12.075.
- [9] Ryanuargo, S. Anwar, and S. P. Sari, "Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 10, no. 4, pp. 180-185, 2013, doi: 10.17529/jre.v10i4.1108.
- [10] M. Nikitin and S. Skipidarov, *Thermoelectrics for Power Generation: A Look at Trends in the Technology*. BoD – Books on Demand, 2016.
- [11] H. Simatupang, "Karakteristik Termoelektrik untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan Pendingin Air," Yogyakarta, 2009.
- [12] I. Agustina and D. Astuti, "Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika (SNFPF) Ke-6 2015 Penentuan Konduktivitas