

Studi Sistem Konversi Panas Buang Konduksi Berbasis Termoelektrik Generator

Joni Aditya Ananda¹, Septian Rahono², Risse Entikaria Rachmanita^{3*}

^{1,2,3*} Prodi Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember

*risse_rachmanita@polije.ac.id

Abstract

Thermoelectric generator (TEG) is an electrical generator device that converts temperature differences into electrical energy directly. Based on the Seebeck effect, if two different metals are connected at one end, then a temperature difference is given at the joint, there will be a difference in voltage between one end and the other. The purpose of this research is to create a conversion system based on thermoelectric generator (TEG) that utilizes the conduction heat of the biomass furnace when used for cooking, so that it can also be used as a power plant. This study used two TEG SP1846 peltiers with test variation used one TEG, two TEGs in series connection and two TEGs in parallel connection. The results showed that the conduction heat conversion system of biomass furnace using 300 gr of sengon wood and two TEGs connected in series could produce a temperature on the hot side of the TEG maximum of 153.1°C and the temperature on the cold side of the maximum TEG of 106.4 °C. So that, the maximum voltage value of 7.19 volts and a maximum current of 0.023A and a power of 0.16537 watts.

Keywords : Thermoelectric generators, Seebeck Effect, Exhaust Heat Conduction, Conversion Systems

Abstrak

Termoelektrik generator (TEG) adalah sebuah perangkat generator listrik yang mengkonversi perbedaan suhu menjadi energi listrik secara langsung. Berdasarkan efek Seebeck, jika dua buah logam yang berbeda disambungkan pada salah satu ujungnya, kemudian diberikan perbedaan suhu pada sambungan tersebut, maka akan terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lain. Tujuan penelitian ini yaitu untuk membuat sistem konversi berbasis termoelektrik generator (TEG) yang memanfaatkan panas buang konduksi tungku biomassa pada saat digunakan untuk memasak, sehingga dapat juga difungsikan sebagai pembangkit listrik. Penelitian ini menggunakan dua buah peltier TEG SP1846 dengan variasi pengujian satu TEG, dua TEG dirangkai seri dan dua TEG dirangkai paralel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem konversi panas buang konduksi tungku biomassa dengan menggunakan bahan bakar kayu sengon sebesar 300 gr dan dua TEG dirangkai secara seri dapat menghasilkan suhu pada sisi panas TEG maksimal sebesar 153,1°C dan suhu pada sisi dingin TEG maksimal sebesar 106,4 °C. Sehingga didapatkan nilai tegangan maksimal sebesar 7,19 volt dan arus maksimal sebesar 0,023 A dan daya sebesar 0,16537 watt.

Kata kunci : Termoelektrik generator, Efek Seebeck, Panas Buang Konduksi, Sistem Konversi

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat diperlukan dalam kehidupan sehari-hari, baik penggunaan berskala kecil seperti sektor rumah tangga,

maupun penggunaan berskala besar seperti sektor industri. Peningkatan jumlah penduduk Indonesia akan mengakibatkan bertambahnya penggunaan peralatan-peralatan yang menggunakan listrik sehingga kebutuhan

pasokan listrik yang tersedia juga perlu ditambah. Berdasarkan data dari Direktorat Jendral Ketenagalistrikan tahun 2016 kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik di Indonesia mencapai 59.656,30 MW yang terdiri dari pembangkit PLN sebesar 41.133,73 MW dan non PLN sebesar 18.522,57 MW dibandingkan dengan tahun 2015 sebesar 55.528,10 MW, maka kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik naik sebesar 4.128,20 MW atau sekitar 7,43 %. Walaupun dengan bertambahnya pembangkit tenaga listrik yang terpasang di Indonesia dari tahun 2015 ke 2016, pemerataan penyediaan listrik masih belum merata di Indonesia [1]. Masih banyak desa-desa yang belum teraliri listrik terutama pada daerah-daerah terpencil yang sulit dijangkau oleh aliran listrik.

Presentase penggunaan bahan bakar biomassa Indonesia masih cukup besar yaitu sekitar 29,95 % [1]. Masih banyaknya masyarakat yang menggunakan bahan bakar biomassa disebabkan oleh beberapa faktor antara lain masih banyaknya ketersediaan biomassa di Indonesia yang menyebabkan masyarakat Indonesia lebih memilih menggunakan biomassa. Faktor lain adalah masih mahalnya harga bahan bakar selain biomassa seperti LPG yang menyebabkan masyarakat masih memilih menggunakan bahan bakar biomassa dalam memenuhi kehidupan sehari-hari.

Perpindahan panas yang diakibatkan oleh pembakaran suatu bahan bakar dapat terjadi secara konduksi, konveksi, maupun radiasi. Perpindahan panas secara konduksi pada suatu tungku dapat terjadi saat api dari pembakaran mengenai dinding-dinding tungku sehingga aliran panas dari api akan merambat melalui atom-atom yang ada pada dinding tungku. Sedangkan perpindahan panas secara radiasi pada tungku dapat terjadi ketika udara terasa panas disekitar pembakaran yang terjadi pada tungku. Perpindahan panas secara konveksi terjadi pada saat asap pembakaran biomassa bergerak naik [2], [3], [4].

Termoelektrik merupakan suatu komponen elektronika yang terbuat dari bahan

solid-state atau bahan semi konduktor yang dapat menciptakan efek Seebeck dan efek Peltier. Efek Seebeck akan terjadi apabila input yang diterima termoelektrik adalah perbedaan suhu maka outputnya adalah listrik. Efek Peltier akan terjadi apabila input yang diterima termoelektrik adalah listrik maka outputnya adalah perbedaan pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik [5], [6], [7].

Penelitian mengenai studi termoelektrik generator yang dilakukan oleh Vita Nurdinawati pada tahun 2017 dengan menggunakan 4 buah termoelektrik tipe TEG SP1848 dipasang secara seri, yang diterapkan pada heater didapatkan tegangan maksimal sebesar 8,4 volt [8]. Penelitian tentang generator termoelektrik juga dilakukan oleh Ryanugroho, Syaiful Anwar dan Sri Poernomo Sari pada tahun 2013 dengan memanfaatkan limbah panas dari kondensor didapatkan tegangan maksimal sebesar 3,14 volt [9].

Penelitian ini bertujuan untuk membuat tungku biomassa sederhana yang dapat menghasilkan listrik DC dengan memanfaatkan panas buang secara konduksi dari tungku yang nantinya akan disalurkan ke termoelektrik pada bagian *hot plate* sehingga akan terjadi efek seebeck dimana jika ada dua buah material logam (semi konduktor) yang tersambung dan memiliki temperatur yang berbeda, maka material tersebut akan mengalirkan arus listrik.

2. Metoda Penelitian

2.1. Alat dan Bahan

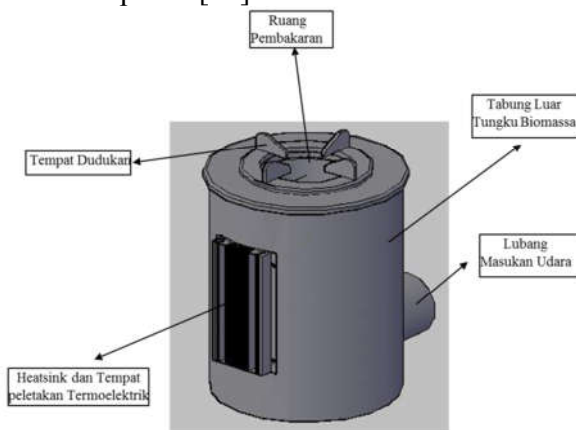
Alat yang digunakan dalam penelitian adalah AVO meter, termokopel tipe K sebanyak 3 buah, gergaji besi, gerenda potong, tang, power supply, las listrik dan solder. Bahan yang dibutuhkan adalah termoelektrik tipe TEG SP1846, plat besi, heatsink, kabel, kayu bakar, kipas DC dan lem.

2.2. Perancangan dan Pengujian Sistem Konversi Berbasis TEG

Metode penelitian dilakukan dengan cara pengujian alat yang dibuat yang nantinya alat akan diaplikasikan untuk generator mini

termoelektrik sekaligus bisa digunakan untuk memasak.

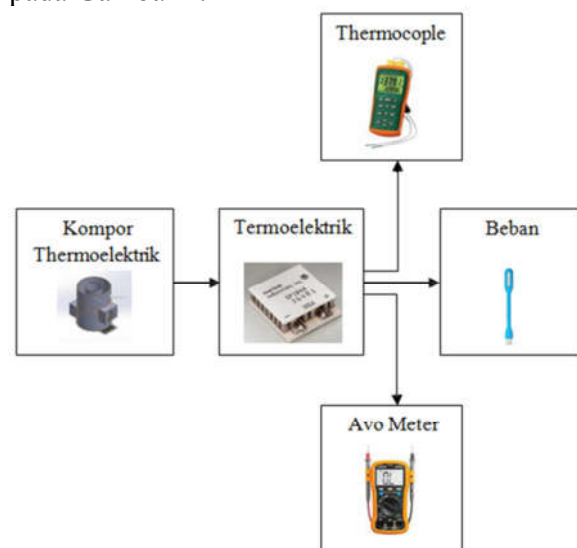
Perancangan alat dalam penelitian berfungsi untuk mempermudah dalam pembuatan alat. Perancangan alat yang dilakukan dalam penelitian dimulai dengan pembuatan desain alat yang akan dibuat, kemudian menentukan dimensi dari setiap ukuran rancangan, dan terakhir menentukan alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian. Pembuatan desain rancangan dan dimensi dari setiap ukuran rancangan tungku biomassa menggunakan aplikasi Autocad 2007 yang ditampilkan pada Gambar 1. Termoelektrik generator (TEG SP1846) diletakkan di bagian samping tungku dan heatsink yang digunakan adalah tipe fin [2], [10]. Bahan digunakan sebagai heat sink harus memiliki nilai hambatan termal yang rendah sehingga mampu memindahkan kalor dari sisi panas modul dengan cepat agar tidak terjadi *overheat* pada modul. Fungsi heat sink itu sendiri yang bertujuan menambah luasan permukaan agar mempercepat proses perpindahan kalor secara konduksi. Untuk meningkat kalor yang dibuang, maka biasanya penggunaan heat sink dikombinasikan dengan menggunakan kipas untuk menciptakan konveksi paksa [11].



Gambar 1. Desain Sistem Konversi Berbasis TEG pada Tungku Biomassa

Pengujian alat berfungsi untuk menguji apakah alat berfungsi atau tidak, apabila alat berfungsi maka dapat dilakukan pengambilan data. Data yang diambil dalam penelitian berupa suhu pada *hot plate*, *cooling plate* dan

daya yang dihasilkan oleh generator termoelektrik. Data suhu dari *hot plate* dan *cooling plate* akan tampil pada sensor suhu digital sehingga pengambilan data menjadi lebih mudah. Untuk pengambilan data tegangan dan arus yang dihasilkan oleh kompor termoelektrik menggunakan AVO meter. Data diambil dengan selang waktu tertentu, serta pengambilan data suhu maupun tegangan dan arus diambil pada waktu yang bersamaan sehingga didapatkan data yang lebih akurat. Skema kerja sistem TEG dari panas buang tungku biomassa ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Kerja Sistem Konversi Berbasis TEG pada Panas Buang Konduksi Tungku Biomassa

2.3. Analisa Data

Analisa data dilakukan untuk mengolah data yang telah diperoleh yaitu nilai suhu dan daya yang dihasilkan. Dari nilai tegangan dan hambatan yang diperoleh, maka dapat dihitung nilai daya yang dihasilkan. Dari nilai daya dan suhu yang diperoleh dapat diketahui nilai efisiensi dari termoelektrik generator. Pengolahan data akan dilakukan dengan menggunakan aplikasi Microsoft excel dan disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik.

Parameter penelitian ini akan mengambil data nilai tegangan dan arus yang telah terukur kemudian dicari berapa nilai daya yang dibangkitkan. Perhitungan nilai daya dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = V \times I \dots\dots\dots (1)$$

di mana,

P = Daya (watt)

V = Tegangan (volt) I = Arus (A)

Untuk menghitung nilai efisiensi tungku dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\eta_{\text{tungku}} = \frac{m_a c_p \Delta T + \Delta m_a L}{\Delta m_k \text{LHV}} \times 100\% \dots\dots (2)$$

di mana,

m_a = Massa air (kg)

c_p = Kalor jenis air (4180 J/kg.°C)

ΔT = Selisih suhu akhir dan suhu awal (°C)

Δm_a = Massa air yang menguap (kg)

L = Kalor laten penguapan air (2260000 J/kg)

Δm_k = Massa bahan bakar yang digunakan (kg)

LHV = Nilai kalor bahan bakar (17MJ/kg)

Untuk menghitung perpindahan panas konduksi dari tungku ke modul termoelektrik dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Q = kAt \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots (3)$$

di mana,

Q = Laju perpindahan panas (W)

k = Konduktivitas termal (W/m.K)

A = Luas penampang (m²)

ΔT = Selisih suhu akhir dengan suhu awal (°C)

t = Waktu (s)

L = Panjang (m)

Untuk menghitung nilai efisiensi dari sistem termoelektrik generator dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\eta_{\text{TEG}} = \frac{V \times I}{Q_h} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

di mana,

η_{TEG} = Efisiensi sistem TEG (%)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (A)

Q_h = Panas yang diserap *hot plate* (°C)

3. Hasil Penelitian

3.1. Efisiensi Tungku

Bahan bakar yang digunakan adalah kayu bakar jenis sengon dengan berat sebesar 0,3 kg yang digunakan untuk memasak air sebesar 1 kg dengan suhu awal air sebesar 27°C. Setelah api menyala dengan sempurna pada tungku panci yang telah berisi air yang telah ditimbang dan suhu yang telah diukur, kemudian diletakkan di atas tungku dan

dipanaskan hingga mendidih sampai kayu bakar di dalam tungku habis. Pada tahap akhir adalah pengukuran suhu air menggunakan thermometer dan didapatkan suhu akhir 96°C dan massa akhir air sebesar 0,730kg. Sehingga, didapatkan energi pembakaran sebesar 5100000 J, energi pemanasan sebesar 900000 J, dan efisiensi tungku sebesar 17,6 %.

Tabel 1. Data pengujian efisiensi tungku

Parameter Penelitian	Nilai
Massa Panci + Tutup	0,196 kg
Massa Kayu	0,3 kg
Massa Panci + Air	1,196 kg
Suhu Awal Air	27 °C
Suhu Akhir Air	96 °C
Massa Akhir Air	0,73 kg

Pada pengujian ini membuktikan bahwa semakin banyak massa air yang dimasak, maka semakin lama waktu yang diperlukan. Hal ini juga selaras dengan kalor yang diperlukan. Pemasakan air menggunakan kayu membutuhkan kayu yang lebih banyak untuk massa air yang lebih banyak. Nilai kalor berpengaruh pada laju pembakaran. Semakin tinggi nilai kalor bahan bakar, maka semakin lambat laju pembakaran pada proses pembakaran. Semakin lama api menyala konstan maka efisiensinya semakin tinggi. Nilai efisiensi pemanasan air berpengaruh dengan nilai kalor pembakaran. Nilai kalor yang tinggi membuat pembakaran menjadi lebih efisien dan dapat menghemat kebutuhan bahan bakar yang digunakan. Nilai kalor kayu dipengaruhi oleh kadar air. Nilai kalor kayu tertinggi dicapai jika kayu dalam kondisi kering dan semakin menurun dengan semakin tingginya kadar air di dalam kayu, sehingga semakin kering kondisi kayu maka semakin cepat pula dalam proses pembakaran.

3.2. Perpindahan Panas Konduksi

Peristiwa berpindahnya kalor/panas dari suatu tempat ke tempat lain sebagai akibat perbedaan suhu disebut perpindahan kalor. Perpindahan kalor secara konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi dalam suatu

medium atau antara medium berbeda yang saling bersinggungan secara langsung karena adanya perbedaan suhu tanpa disertai perpindahan partikel-partikel dalam medium tersebut. Penelitian ini memanfaatkan perpindahan panas buang secara konduksi yang dihasilkan oleh pembakaran dalam tungku biomassa. Panas yang merambat melalui dinding-dinding pembakaran tungku akan disalurkan ke *heatsink*, dimana *heatsink* tersebut berfungsi untuk menyalurkan panas pada sisi panas termoelektrik [8].

Setelah dilakukan pengujian semakin tinggi nilai ΔT yang diperoleh maka nilai perpindahan kalor juga semakin besar. ΔT terbesar pada saat pengujian menggunakan satu termoelektrik yaitu sebesar $35,2^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan nilai kalor perpindahan panas secara konduksi sebesar $2841,9\text{ W}$, ΔT terbesar pada saat pengujian menggunakan 2 termoelektrik generator dirangkai secara paralel yaitu sebesar $39,8^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan nilai pindah panas konduksi sebesar $3217,6\text{ W}$, dan saat menggunakan 2 buah termoelektrik yang dirangkai secara seri menghasilkan nilai ΔT terbesar yaitu $41,4^{\circ}\text{C}$ yang menghasilkan nilai pindah panas konduksi sebesar $3346,1\text{ W}$. Perbedaan suhu sangat berpengaruh besar dalam menghasilkan nilai perpindahan panas secara konduksi karena semakin besar perbedaan suhu maka semakin cepat kalor panas yang merambat dari suhu yang tinggi ke suhu yang rendah di dalam benda tersebut.

Faktor lain yang juga mempengaruhi besarnya nilai perpindahan panas konduksi adalah panjang benda, luas permukaan benda dan jenis benda. Semakin panjang suatu benda yang dipanaskan maka semakin lambat kalor yang merambat melalui benda tersebut. Sedangkan semakin luas permukaan suatu benda yang dipanaskan maka semakin cepat kalor yang merambat didalam benda tersebut. Jenis benda juga sangat berpengaruh pada nilai perpindahan panas secara konduksi dimana apabila suatu benda bersifat konduktor maka benda

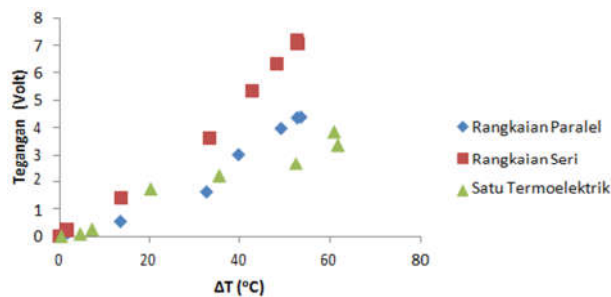
tersebut semakin cepat kalor yang merambat pada benda tersebut [8], [9].

3.3. Kinerja Termoelektrik Generator

Termoelektrik generator merupakan suatu alat yang dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik dengan memanfaatkan konduktivitas atau daya hantar panas dari sebuah lempeng logam. Termoelektrik merupakan alat yang mengkonversi langsung dari perbedaan suhu menjadi energi listrik. Termoelektrik memanfaatkan efek Seebeck, dimana prinsip kerjanya yaitu jika ada dua buah material atau lempeng logam yang bersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka didalam material atau lempeng logam tersebut akan mengalir arus listrik [2].

TEG yang digunakan dalam penelitian ini yaitu TEG SP1848 dengan jumlah 2 buah dan dipasang secara seri untuk menaikkan nilai arus. Dalam pengambilan data keluaran termoelektrik dihubungkan dengan beban lampu LED yang terhubung dengan resistor sebesar 180 Ohm .

Termoelektrik memiliki dua sisi yaitu sisi panas dan sisi dingin, pada penelitian ini sisi panas termoelektrik akan memanfaatkan panas buang konduksi dari tungku biomassa, sedangkan untuk pendinginan sisi dingin termoelektrik menggunakan kipas DC 12 volt yang terhubung dengan power supply. Perbedaan panas pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik tersebut akan menghasilkan energi listrik DC. Besarnya energi listrik yang dihasilkan tergantung pada beda temperatur pada sisi dingin dan sisi panas termoelektrik. Semakin besar nilai perbedaan suhu pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik maka energi listrik yang dihasilkan semakin besar. Hubungan perbedaan suhu (ΔT) dengan nilai tegangan pada setiap perlakuan ditunjukkan pada Gambar 3.

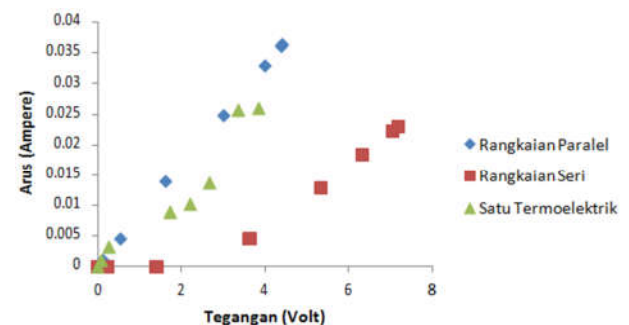


Gambar 3. Hubungan Perbedaan Suhu dan Nilai Tegangan

Berdasarkan grafik hubungan perbedaan suhu dengan nilai tegangan dapat dilihat bahwa perbedaan suhu dengan nilai tegangan yang dihasilkan oleh sistem termoelektrik generator berbanding lurus. Semakin besar nilai perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik maka nilai tegangan yang dihasilkan oleh termoelektrik generator juga semakin besar, namun dalam sebuah termoelektrik memiliki nilai *threshold* dimana apabila nilai *threshold* sudah tercapai maka tegangan keluaran akan menurun dan dalam pengujian nilai *threshold* belum tercapai sehingga nilai tegangan terus meningkat.

Dari data percobaan menggunakan satu buah termoelektrik diketahui bahwa nilai ΔT yaitu $60,9^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan nilai tegangan terbesar yaitu 3,85 volt, dan untuk ΔT terkecil yaitu $0,4^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan tegangan sebesar 0 volt. Dari data percobaan menggunakan dua buah termoelektrik yang dirangkai secara paralel diketahui bahwa nilai ΔT yaitu $53,5^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan nilai tegangan terbesar yaitu 4,38 volt, dan untuk ΔT terkecil yaitu $0,4^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan tegangan sebesar 0 volt. Dari data percobaan menggunakan dua buah termoelektrik yang dirangkai secara seri diketahui bahwa nilai ΔT yaitu $52,7^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan nilai tegangan terbesar yaitu 7,19 volt. Dan untuk ΔT terkecil yaitu 0°C dan menghasilkan tegangan sebesar 0 volt. Keluaran nilai tegangan terbesar yaitu saat dua buah termoelektrik dirangkai secara seri dan didapatkan tegangan keluaran maksimal yaitu sebesar 7,19 volt. Berdasarkan data

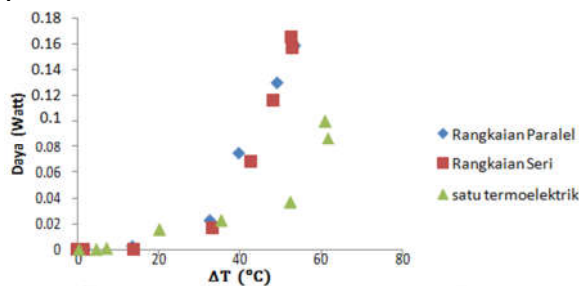
dapat diketahui bahwa perbedaan suhu antara sisi panas dan sisi dingin termoelektrik sangat berpengaruh besar dalam menentukan keluaran nilai tegangan yang dihasilkan oleh termoelektrik generator. Apabila sisi panas dan sisi dingin memiliki suhu yang hampir sama akan mengakibatkan kecilnya nilai tegangan yang dihasilkan oleh termoelektrik. Sedangkan apabila sisi panas termoelektrik suhunya lebih rendah dari suhu sisi dingin termoelektrik maka tegangan akan bernilai minus atau dapat dikatakan tidak menghasilkan tegangan.



Gambar 4. Hubungan Nilai Tegangan dan Nilai Arus

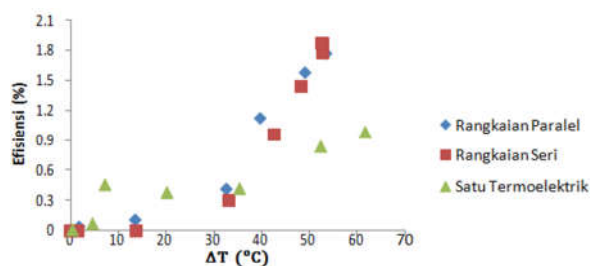
Berdasarkan grafik hubungan nilai tegangan dan nilai arus dapat diketahui bahwa arus bernilai 0 pada saat tegangan bernilai 0 pada saat menggunakan 1 buah termoelektrik, 2 buah termoelektrik dirangkai secara paralel, maupun menggunakan 2 buah termoelektrik dirangkai secara seri. Pada pengujian menggunakan satu buah termoelektrik, keluaran tegangan 3,85 volt menghasilkan nilai arus terbesar yaitu 0,026 A. Pada pengujian menggunakan dua buah termoelektrik yang dirangkai secara paralel, keluaran tegangan 4,38 volt menghasilkan nilai arus terbesar yaitu 0,036 A. Pada pengujian menggunakan dua buah termoelektrik yang dirangkai secara seri, keluaran tegangan 7,19 volt menghasilkan nilai arus terbesar yaitu 0,023 A. Dari grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai keluaran tegangan terbesar yaitu saat dua buah termoelektrik dirangkai secara seri, dan untuk nilai arus terbesar yaitu pada saat dua buah termoelektrik dirangkai secara paralel. Dari pengujian dapat diketahui bahwa rangkaian

termoelektrik sangat berpengaruh terhadap keluaran nilai tegangan dan arus yang dihasilkan, apabila ingin mendapatkan keluaran tegangan yang besar maka termoelektrik dirangkai secara seri, sedangkan apabila ingin mendapatkan nilai arus yang besar maka termoelektrik dirangkai secara paralel.



Gambar 5. Hubungan Perbedaan Suhu dengan Nilai Daya

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, nilai daya terbesar diperoleh saat menggunakan 2 buah termoelektrik yang dirangkai secara seri dimana ΔT saat pengujian sebesar $52,7^{\circ}\text{C}$ dan didapatkan nilai daya terbesar yaitu $0,165$ watt. Nilai daya sangat dipengaruhi oleh nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh termoelektrik generator. Semakin besar nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh termoelektrik generator maka semakin besar pula daya yang dihasilkan oleh termoelektrik generator. Faktor lain yang mempengaruhi besarnya nilai daya yaitu ΔT dari sisi panas dan sisi dingin termoelektrik karena semakin besar ΔT yang diperoleh akan berpengaruh juga pada semakin besarnya nilai tegangan. Apabila nilai tegangan semakin besar maka nilai daya juga akan semakin besar.



Gambar 6. Hubungan Perbedaan Suhu dengan Nilai Efisiensi Termoelektrik

Besarnya efisiensi termoelektrik sangat dipengaruhi oleh suhu sisi panas termoelektrik, tegangan, dan arus yang dihasilkan. Apabila keluaran nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh termoelektrik generator membutuhkan suhu sisi panas yang relatif rendah maka nilai efisiensi termoelektrik semakin besar. Sedangkan apabila keluaran nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh termoelektrik generator membutuhkan suhu sisi panas yang relatif besar akan menyebabkan nilai efisiensi dari termoelektrik generator semakin kecil. Semakin besar nilai tegangan dan arus yang dihasilkan maka nilai efisiensi dari termoelektrik generator juga semakin besar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa perbedaan suhu pada sisi panas dan sisi dingin (ΔT) termoelektrik sangat berpengaruh pada besar tegangan yang dihasilkan. Perbedaan suhu pada sisi panas dan sisi dingin (ΔT) termoelektrik mempunyai threshold, yang apabila nilai *threshold* sudah tercapai tegangan keluaran termoelektrik akan menurun. Pada pengujian tungku biomassa dengan bahan bakar kayu sengon 300 gr dan dirangkai secara seri dapat menghasilkan suhu *hot plate* $153,1^{\circ}\text{C}$ dan suhu *cooling plate* $106,4^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = 52,7^{\circ}\text{C}$) sehingga menghasilkan tegangan maksimal sebesar 7,19 volt. Pengujian menggunakan rangkaian seri menghasilkan daya paling maksimal dimana didapatkan nilai arus sebesar 0,023 A yang terhubung dengan beban resistor 180 Ohm sehingga didapatkan daya paling maksimal yaitu sebesar 0,165 watt.

5. Saran

Penelitian selanjutnya perlu dilakukan kontrol suhu pada sisi panas dan sisi dingin termoelektrik sehingga nilai perbedaan suhu pada sisi dingin dan sisi panas termoelektrik dapat diketahui kemudian hasilnya bisa dibandingkan dengan *data sheet* pada tipe termoelektrik yang digunakan.

6. Daftar Pustaka

- [1] Kementerian ESDM RI - Site. <https://www.esdm.go.id/> (accessed Sep. 01, 2020).
- [2] Pratama, A. P. and M. T. Ir. Sartono Putro, "Studi Eksperimental Termoelektrik Generator Tipe SP 1848 27145 SA dan TEC1-12706 Dengan Variasi Seri Dan Paralel Pada Supra X 125 Cc," S1, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2018.
- [3] Rachmanita, R. E., Ganisa, D.S., Meilana S. "Pengaruh Sudut Kemiringan Ruang Masak dan Penggunaan Lensa Fresnel terhadap Performa Kompor Surya Tipe Kotak," *JTT J. Teknol. Terpadu*, vol. 8, no. 1, pp. 35-42, 2020.
- [4] Klara, S. and Sutrisno, "Pemanfaatan Gas Buang Mesin Diesel sebagai Energi Listrik," *J. Ris. Teknol. Kelaut.*, vol. 14, no. 1, pp.56-63, 2016.
- [5] Muntini, M. S. and R. E Rachmanita, "Comparison of Electrical Power for Thermoelectric Oxide Module," *J. Mat. Sci. App. Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 238-242, 2017.
- [6] Noor, "Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Tegangan, Arus, Faktor Daya, dan Daya Aktif pada Beban Listrik di Minimarket," *J. Teknik Elektro*, vol. 2, no.3, pp.23-31, 2020.
- [7] Rachmanita, R. E. and H. Ahmadi, "Aplikasi Interdigital Capacitor Sensor (IDCS) dalam pengukuran permitivitas relatif Crude Oil," *J. Pendidik. Fis. Dan Keilmuan JPPFK*, vol. 5, no. 2, 2019.
- [8] Nurdinawati, V. "Studi Termoelektrik Generator Tipe TEG SP1848 27145 SA," *Elektrokrisna*, vol. 6, no. 1, pp. 31-38, 2017.
- [9] Ryanuargo, S. Anwar, and S. P. Sari, "Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 10, no. 4, 2013.
- [10] Budiprasojo, A. and R. E. Rachmanita, "Active Passive Thermoelectric System Helmet for Personal Comfort," in *The Second International Conference on Food and Agriculture*, 2019, pp. 79-86.
- [11] Sulistiyanto, "Pemodelan Sistem Pendingin Termoelektrik pada Modul Superluminance LED," *Jurnal EECCIS*, vol. 2, no. 5, pp.34-40, 2020.