

EVALUASI PERFORMANSI MODUL TERMOELEKTRIK SEBAGAI GENERATOR LISTRIK
PERFORMANCE EVALUATION OF THERMOELECTRIC MODULE AS ELECTRIC GENERATOR

Galih Yoganingwang¹, Ahmad Qurthobi, S.T, M.T.², Tri Ayodha Ajiwiguna, S.T, M.Eng.³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹gyoganingwang@gmail.com ²qurthobi@gmail.com ³tri.ayodha@gmail.com

Abstrak

Termoelektrik generator (TEG) merupakan sebuah perangkat *solid state* yang melakukan konversi energi langsung dari energi panas karena perbedaan suhu menjadi energi listrik berdasarkan Efek Seebeck. Pada penelitian ini akan dirancang sistem pengukuran performansi dari modul termoelektrik generator dengan memanfaatkan nilai tegangan (V), arus (A), dan kapasitas perpindahan kalor (Q_h) pada plat tebal bersifat konduktor yaitu *stainless steel*, untuk mendapatkan nilai performansi dari tiga modul termoelektrik yang akan diuji. Tiga modul termoelektrik yang diuji adalah TEG tipe SP-1848 yang sama dengan fabrikasi yang berbeda. Pada proses pengujian alat terdapat dua parameter yang diuji yaitu berupa nilai efisiensi terhadap suhu sisi panas pada modul termoelektrik generator dan nilai tegangan yang dihasilkan modul termoelektrik generator terhadap perbedaan suhu modul termoelektrik generator. *Set point* pada pengujian modul termoelektrik generator pada bagian sisi panas modul termoelektrik harus dilakukan pengontrol dengan menggunakan *dimmer* pada temperatur 50°C hingga 110°C. Dari hasil pengujian didapatkan TEG-C memiliki nilai performansi yang lebih baik dan tinggi jika dibandingkan dengan modul TEG yang lain yaitu sebesar 0,103% dan menghasilkan nilai tegangan sebesar 0,138 V.

Kata kunci: Termoelektrik Generator, Efisiensi, perbedaan suhu.

Abstract

The thermoelectric generator is solid-state devices that do the conversion direct energy of heat energy due to different temperatures into electrical energy based on the Seebeck effect. In this research will be done this system of measurement of a performance thermoelectric generator module by making use of the value of voltage (V) , a current (A) , the capacity of heat engine displacement (Q_h) in order to get a performance of three thermoelectric modules which will be tested are. Three thermoelectric modules being tested is TEG type SP-1848 equal with different fabrication. In the process of testing, there are two parameters tested in the form of temperature the efficiency of the heat on thermoelectric module generator and the value of produced thermoelectric generator module against a difference in temperature thermoelectric generator module. Set point in testing thermoelectric generator module in part of the side of heat thermoelectric module to do controlled by using dimmer at the temperature 50°C to 110°C. From the testing obtained TEG-C having better performance and high compared with another TEG module amounted to 0.103 % and produce values amounted to 0.138 V.

Keywords: Thermoelectric generator, efficiency, difference of temperature.

1. Pendahuluan

Termoelektrik generator merupakan sebuah perangkat *solid state* yang melakukan konversi energi langsung dari energi panas karena perbedaan suhu menjadi energi listrik berdasarkan Efek Seebeck. Siklus listrik termoelektrik, dengan pembawa (elektron) yang berfungsi seolah-olah sebagai fluida kerja, mengikuti hukum dasar termodinamika yang kedua [1].

Salah satu aplikasi termoelektrik generator terdapat pada mesin otomotif kendaraan hibrida. Substansi energi panas yang tersedia dari gas buang pada mesin otomotif modern tersebut berkisar antara 200°C - 300°C dan temperatur lingkungan berkisar antara 30°C - 35°C. Perbedaan temperatur ini akan menghasilkan energi listrik yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan motor listrik atau disimpan dalam baterai, sehingga konsumsi bahan bakar pada kendaraan tersebut akan jauh lebih irit [2].

Di pasaran terdapat dua jenis modul termoelektrik, yaitu tipe TEC1-12706 dan TEC1-12710. Kedua modul termoelektrik tersebut dirancang sebagai pendingin, berbeda dengan termoelektrik generator. Sesuai datasheet, ketahanan menerima panas termoelektrik pendingin hanya memiliki suhu maksimal 350°C (bahan semikonduktor *Bismuth Telluride*), sedangkan termoelektrik generator dapat menerima temperatur panas maksimal 1000°C (bahan semikonduktor *Silicon Germanium*) [3].

Pada penelitian ini akan dirancang sistem pengukuran perfromansi dari modul termoelektrik generator. Sistem yang dibuat memanfaatkan peran termoelektrik generator sebagai pembangkit listrik. Untuk mengetahui kalor yang mengalir, termoelektrik generator diuji menggunakan prinsip perbedaan suhu.

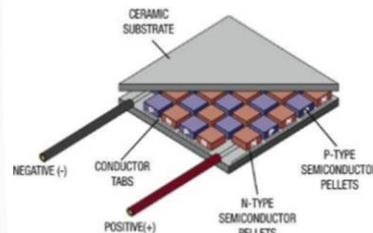
2. Dasar Teori

2.1 Termoelektrik Generator

Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi energi listrik secara langsung (termoelektrik generator) atau sebaliknya, dari listrik menghasilkan dingin (termoelektrik pendingin). Untuk menghasilkan listrik, modul termoelektrik cukup diletakkan sedemikian rupa dalam rangkaian yang menghubungkan sumber panas dan dingin. Prototipe yang dirancang akan menghasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai. [1].

2.1.1 Prinsip Kerja Termoelektrik Generator

Generator termoelektrik diciptakan pertama kali oleh Thomas Johann Seebeck. Thomas menghubungkan tembaga dan besi pada sebuah rangkaian. Di antara kedua logam tersebut lalu diletakkan jarum kompas. Ketika salah satu sisi logam tersebut dipanaskan, jarum kompas ternyata bergerak.[6].

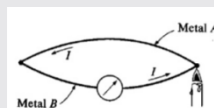


Gambar 2.1 Struktur Pembangkit Daya Termoelektrik [6]

Gambar 2.1 menunjukkan struktur TEG yang konstruksinya terdiri dari pasangan material semikonduktor tipe-n (material dengan kelebihan elektron) dan tipe-p (material dengan kekurangan elektron) yang membentuk termokopel yang memiliki bentuk seperti *sandwich* antar dua wafer keramik tipis. Panas masuk dari satu sisi dan dibuang pada sisi yang lainnya, menghasilkan suatu tegangan yang melewati sambungan termoelektrik.[1].

2.2 Efek Seebeck

Efek seebeck merupakan fenomena yang mengubah perbedaan temperatur menjadi energi listrik. Jika ada dua bahan yang berbeda yang kemudian kedua ujungnya disambungkan satu sama lain maka akan terjadi dua sambungan dalam satu loop. Jika terjadi perbedaan temperatur diantara kedua sambunga ini, maka akan terjadi arus listrik akan terjadi. Prinsip ini lah yang digunakan termoelektrik sebagai generator (pembangkit listrik) [4].



Gambar 2.2 Efek Seebeck [4]

Setiap bahan memiliki koefisien seebeck yang berbeda-beda. Semakin besar koefisien seebeck ini, maka beda potensial yang dihasilkan juga semakin besar. Karena perbedaan temperatur disini dapat diubah menjadi tegangan listrik, maka prinsip ini juga digunakan sebagai sensor temperatur yang dinamakan thermocouple[4]. Secara matematis dapat ditulis:

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T} \tag{2.1}$$

Dimana V adalah tegangan, α adalah koefisien Seebeck (V/m), dan ΔT adalah perbedaan temperatur antara dua sambungan (°K). Jika nilai tegangan (V) dan arus (I) telah didapatkan, maka besar daya TEG dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$P = I \times V \tag{2.2}$$

dimana P adalah daya (Watt), I adalah arus (Ampere), dan V adalah tegangan (Volt). Dan dapat juga ditentukan jika nilai arus (I), tegangan (V), dan banyaknya kalor yang masuk (Q_h), maka diperoleh nilai efisiensi menggunakan persamaan berikut:

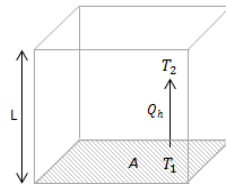
$$\eta\% = \frac{I.V}{Q_h} \times 100\% \tag{2.3}$$

2.3 Proses Perpindahan Kalor

Proses perpindahan kalor pada termoelektrik generator yaitu perpindahan kalor secara konduksi dengan cara panas dari heater mengalir pada *stainless steel* blok yang kemudian akan diserap panasnya oleh termoelektrik generator.

2.3.1. Proses Perpindahan Kalor Konduksi

Proses perpindahan panas secara konduksi terjadi adanya perpindahan energi panas tanpa adanya perpindahan dari molekul. Konduksi juga dapat didefinisikan sebagai perpindahan energi panas dari partikel yang lebih tinggi ke partikel yang lebih rendah akibat interaksi antar partikel [5].



Gambar 2.3 Perpindahan kalor secara konduksi [5]

Persamaan yang digunakan dalam perpindahan kalor secara konduksi ini berdasarkan Hukum Fourier. Dimana pada gambar diatas dapat ditinjau sebuah kubus dengan panjang (L), dan luas permukaan (A) dihitung dengan rumus luas segi empat (sisi x sisi). Temperatur di bagian bawah sebesar T_1 dan di bagian atas sebesar T_2 . Maka didapat:

$$Q_h = \frac{kA}{L} (T_1 - T_2) \tag{2.4}$$

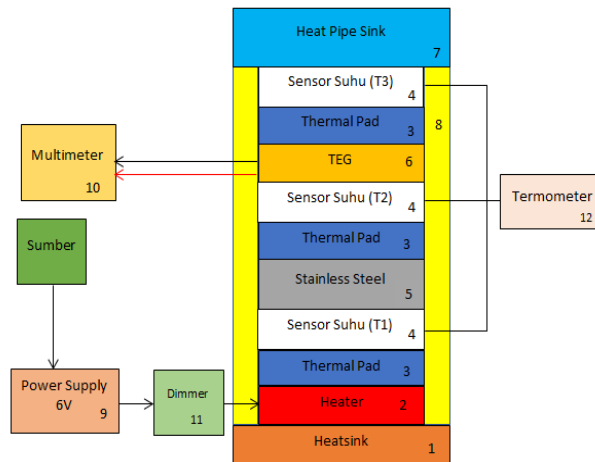
Keterangan:

- Q_h = Kapasitas Perpindahan Kalor (W)
- k = Konduktivitas Termal (W/m.°K)
- A = Luas Permukaan (m^2)
- L = Tebal Penampang Permukaan (m)
- ΔT_{12} = Temperatur Tinggi – Temperatur Rendah (°K)

3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan Alat dan Skema Pengukuran

Adapun perancangan alat dan skema pengukuran berfungsi sebagai penggambaran peneliti dalam proses pengukuran modul termoelektrik generator, dan kemudahan pembaca agar dapat dimengerti. Dapat ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Perancangan dan skema pengukuran alat uji

Penjelasan pada gambar 3.2 sesuai dengan penomoran yang telah di buat pada rancangan alat tersebut, yaitu:

1. *Heatsink* merupakan suatu perangkat yang berfungsi menyebarkan panas dari permukaan panas pada *heater* agar *heater* tidak *overheating* saat diberikan energi listrik pada *power supply*.
2. Pemanas (*heater*) berupa modul termoelektrik TEC1-12706.
3. *Thermal Pad* berfungsi untuk menyerap dan meredam panas.
4. Termokopel berfungsi untuk mengukur temperatur pada setiap titik alat pengukuran. Titik-titik tersebut adalah T1 yang merupakan sisi panas pada *stainless block*, T2 merupakan sisi panas pada modul TEG yg akan di uji, dan T3 merupakan sisi dingin pada TEG.
5. *Stainless Steel Blok* berguna sebagai perantara panas secara konduksi dari pemanas ke modul TEG yang akan diukur.
6. Modul TEG Tipe SP-1848 yang akan diukur. Berikut merupakan gambar ketiga modul TEG (A, B, dan C) yang akan diukur :



Gambar 3.3 Modul TEG (A, B, dan C) tipe SP-1848

Pada gambar 3.3 menjelaskan modul TEG A, B, dan C yang akan dicari nilai performansinya. Pengujian dilakukan secara berurutan yaitu dimulai dengan modul TEG-A hingga modul TEG-C.

7. *Heat Pipe Sink* berbentuk U untuk meningkatkan nilai efisiensi pada modul TEG dengan cara memberikan temperatur lingkungan diatas sisi dingin modul untuk menjaga perbedaan temperatur dengan sisi panasnya.
8. *Insulator* menjaga agar panas tidak terbuang ke lingkungan.
9. *Power Supply* sebagai sumber energi listrik yang kemudian dihubungkan ke *heater*.

- 10. *Multimeter* sebagai pembaca nilai tegangan yang dihasilkan oleh modul TEG.
 - 11. *Dimmer* berfungsi untuk mengatur arus yang diberikan pada power supply agar suhu yang mengalir pada sisi panas TEG bernilai 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C dan 110°C.
 - 12. Termometer sebagai pembaca nilai suhu yang dihubungkan pada alat ukur termokopel.
- Berikut merupakan gambar rancangan alat uji pengukuran yang diambil menggunakan kamera ponsel :



Gambar 3.4 Rancangan Alat Uji Pengukuran (a)tampak depan (b)tampak atas

Pada gambar 3.4 merupakan gambar rancangan alat uji pengukuran di mana semua komponen yang sudah dijelaskan pada skema pengukuran disusun sedemikian rupa agar proses pengujian modul TEG berjalan dengan baik.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Pengujian Performansi Modul Termoelektrik Generator

Pengujian ini dimulai dengan *power supply* DC dihubungkan ke sumber listrik dan *dimmer* yang dimana *ouput* dari *dimmer* tersebut dihubungkan ke *heater* berupa Modul Termoelektrik *Cooler* yang berada di bawah *stainless steel* yang mengalir panas dan menghasilkan adanya perbedaan temperatur (ΔT) pada *stainless steel* tersebut. Kemudian dimasukkan pada persamaan 3.2, dengan mengetahui nilai konduktivitas termal (K), luas permukaan beda temperatur (A), serta tebal dari *stainless steel* (L), maka akan mendapatkan nilai kapasitas perpindahan kalor (Q_h).

Panas yang mengalir dari heater yang telah melewati *stainless steel* diteruskan ke Modul Termoelektrik Generator (TEG) yang akan diuji, panas yang mengalir menghasilkan perbedaan temperatur pada TEG. Perbedaan temperatur TEG ini menghasilkan nilai tegangan (V) dan arus (I) yang kemudian di masukkan pada persamaan 3.1 yang akan didapatnya besar daya yang dihasilkan pada TEG yang diuji (P).

Lalu nilai P dan Q_h yang telah diketahui dimasukkan ke persamaan 3.3 yang akan menghasilkan nilai performansi Modul TEG yg diuji (η). Telah divariasikan panas dari heater dengan nilai temperatur yaitu sebesar 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C, 100°C dan 110°C. dengan menggunakan *dimmer*, maka akan menghasilkan data efisiensi yang beragam dan mendapatkan grafik temperatur panas pada heater terhadap terhadap nilai efisiensi. Percobaan ini diulang sebanyak 3 kali pada TEG yang berbeda.

4.1.1 Pengujian Modul TEG-A

Pada pengujian modul TEG-A diperoleh data sesuai tabel berikut:

Tabel 4.1 Data Pengujian modul TEG-A

T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT_{12} (°C)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya(Watt)	Qh(Watt)	η (%)
50	38.9	11.1	0.0292	0.02	0.00058	10.727	0.0054
60	46.3	13.7	0.0483	0.03	0.00144	12.224	0.0098
70	55.8	14.2	0.0652	0.04	0.00261	13.722	0.0142
80	65.4	14.6	0.0831	0.05	0.00415	12.128	0.0431
90	79.1	10.9	0.1082	0.07	0.00757	10.534	0.0719
100	85.2	14.8	0.1195	0.08	0.00956	11.741	0.0835
110	96.6	13.4	0.1371	0.09	0.01233	12.949	0.0952

Pada pengujian ini untuk mendapatkan nilai efisiensi pada modul TEG-A dapat dilakukan dengan memasukkan persamaan 2.3. Persamaan tersebut membutuhkan nilai kapasitas perpindahan kalor (Qh) yaitu dengan menggunakan material bersifat konduktor. Material tersebut adalah *stainless steel* blok dengan konduktivitas termal 15.1 W/m.°C, luas permukaan sebesar 0.0016 m², dan tebal 0.025 m. Besar perbedaan suhu didapatkan dengan suhu sisi panas pada *stainless steel* blok (T1) dikurangi suhu sisi dinginnya (T2). Nilai Qh dapat dihitung sesuai persamaan 2.4. Kemudian untuk mendapatkan nilai daya (P) menggunakan besar tegangan (V) dan arus (I) yang dihasilkan oleh modul TEG yang diuji. Nilai P didapatkan dengan menggunakan persamaan 2.2. Sebagai contoh peneliti menggunakan data di suhu T1=90°C, perhitungannya ada sebagai berikut:

Daya (P) = I . V

$$= 0.07 \text{ A} \cdot 0.1082 \text{ V}$$

$$= 0.757 \text{ Watt}$$

Kapasitas Perpindahan Kalor (Qh) = $\frac{kA}{L} (T_1 - T_2)$

$$= \frac{15.1 \frac{\text{W}}{\text{m}} \cdot \text{C} \cdot 0.0016 \text{ m}^2}{0.025 \text{ m}} (90^\circ\text{C} - 79.1^\circ\text{C})$$

$$= 10.534 \text{ Watt}$$

Setelah didapatkan nilai P dan Qh, kemudian gunakan persamaan 2.3 untuk mengetahui nilai efisiensi pada modul TEG. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

Efisiensi (η%) = $\frac{P}{Q_h} \times 100\%$

$$= \frac{0.757 \text{ Watt}}{10.534 \text{ Watt}} \times 100\%$$

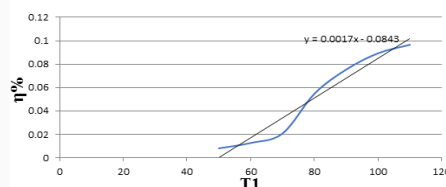
$$= 0.0719 \%$$

Perhitungan tersebut kemudian digunakan kembali pada suhu lainnya. Sehingga didapatkan tabel pengaruh suhu panas pada *stainless steel* (T1) terhadap nilai rata-rata efisiensi berikut ini :

Tabel 4.2 Data T1 terhadap nilai Efisiensi pengukuran TEG-A

T1(°C)	η rata-rata (%)
50	0.0081
60	0.0126
70	0.0207
80	0.0547
90	0.0754
100	0.0893
110	0.0966

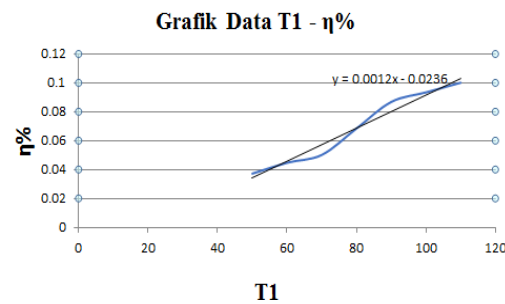
Dilihat dari tabel 4.2 maka didapatkan grafik dan analisis nilai T1 terhadap nilai efisiensi Modul TEG-A sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Suhu Sisi Panas TEG-A Terhadap Efisiensi

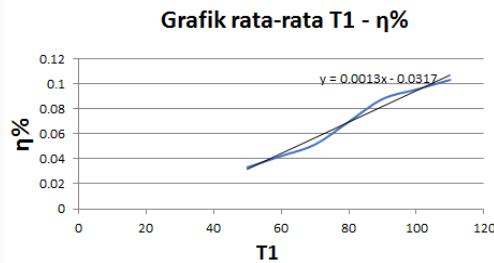
Dari gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai efisiensi pada modul TEG-A di temperatur 50°C-70°C mengalami kenaikan nilai efisiensi yang stabil yaitu 0.0054% - 0.025%. Namun di temperatur 90°C - 100°C, nilai efisiensi mengalami lonjakan kenaikan yang cukup besar yaitu 0.072% - 0.091% . Lalu di temperature 100°C-110°C mengalami kenaikan efisiensi yang kurang stabil yaitu 0.091% - 0.097%.

Untuk TEG-B dan TEG-C dilakukan cara yang sama untuk mencari nilai performansi pada modul masing masing. Berikut adalah grafik dan analisis pada masing-masing modul:



Gambar 4.2 Grafik Suhu Sisi Panas TEG-B Terhadap Efisiensi

Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai efisiensi pada modul TEG-B di temperature 50°C jauh lebih besar dibandingkan TEG-A yaitu 0.0229 % . Lalu naik secara signifikan di temperatur 70°C-90°C yaitu sebesar 0.0458 % - 0.0899 % . Namun di temperatur 110°C mengalami kenaikan efisiensi yang kurang signifikan yaitu 0.0986 % - 0.1012 % .

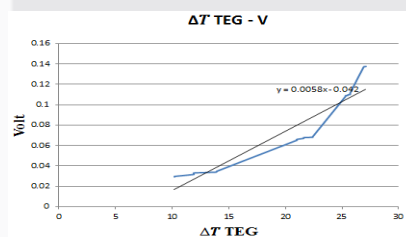


Gambar 4.3 Grafik Suhu Panas TEG-C Terhadap Efisiensi

Pada gambar 4.3 menunjukkan TEG-C nilai efisiensi di temperatur 50°C hingga 70 °C mengalami kenaikan efisiensi yang stabil yaitu 0.0288 % - 0.0561 % . Terjadi lonjakan kenaikan efisiensi pada temperature 90°C - 100°C yaitu 0.0763 % - 0.0967 % . Selama kenaikan temperature hingga 110°C , efisiensi naik namun mengalami kenaikan yang kurang signifikan. Modul TEG-C memiliki nilai efisiensi terbesar jika dibandingkan modul TEG lainnya yaitu mencapai 0.01031 % .

4.2 Data Hasil Pengukuran Pengaruh Perbedaan Suhu TEG Terhadap Nilai Tegangan yang Dihasilkan

Sesuai dengan teori efek seebeck di mana perbedaan suhu pada sisi panas dan dingin pada modul TEG dapat dikonversi menjadi energi listrik, maka peneliti dapat mengukur pengaruh perbedaan suhu TEG terhadap besar tegangan yang dihasilkan modul yang diuji. Peneliti menganalisis dengan menggunakan gambar grafik sebagai berikut:



Gambar 4.4 Grafik Perbedaan Suhu TEG terhadap tegangan yang dihasilkan

Dari gambar 4.4 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai perbedaan suhu pada modul TEG maka tegangan yang dihasilkan juga semakin besar.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil-hasil yang dicapai dari analisis maupun hasil dari pengambilan data maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk mengukur kapasitas kalor yang mengalir pada modul TEG yaitu dengan melihat nilai suhu pada termometer, suhu sisi panas *stainless steel* blok (T1) dan suhu sisi dingin *stainless steel* blok (T2). Kemudian dengan telah mengetahui sebelumnya nilai konduktivas termal *stainless steel* blok ($k=15,1\text{W/m}\cdot\text{C}$), luas permukaan pada sisi perpindahan kalor *stainless steel* blok ($A=0,0016\text{m}^2$), dan tebal *stainless steel* blok ($L=0,025\text{m}$) maka didapatkan nilai kapasitas kalor ($Q_h = \frac{kA}{L} (T_1 - T_2)$) sesuai dengan persamaan 2.4.
2. Untuk mengukur daya yang dihasilkan modul TEG yaitu jika nilai tegangan dan arus telah terbaca pada multimeter, kedua nilai tersebut lalu dimasukkan pada rumus $P=I.V$ sesuai dengan persamaan 2.2.
3. Semakin besar efisiensi yang dihasilkan. Contoh yaitu pada modul TEG-B kenaikan suhu sisi panas modul TEG-B sebesar 50°C - 110°C mengalami kenaikan nilai efisiensi sebesar $0,036\%$ - $0,097\%$.
4. Semakin besar nilai perbedaan suhu pada modul TEG maka nilai tegangan yang dihasilkan semakin besar. Contoh yaitu pada modul TEG-B kenaikan nilai perbedaan suhu pada modul TEG-B sebesar 10°C - 27°C menghasilkan nilai tegangan sebesar $0,052\text{ V} - 0,138\text{ V}$.

5.2 Saran

Dari penelitian ini akan diberikan beberapa saran untuk pengembangan inovasi selanjutnya dimasa yang akan datang. Dengan merujuk hasil penelitian ini penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Mengambil data dengan nilai suhu sisi panas yang lebih tinggi untuk mendapatkan nilai efisiensi yang lebih besar , mengingat kembali sesuai *datasheet* modul TEG dapat mencapai suhu maksimal 1000°C .
2. Mengubah *heater* yang digunakan pada penelitian, karena *heater* mempengaruhi nilai efisiensi yang dihasilkan.
3. Memperhitungkan suhu ruangan saat pengambilan data karena sangat berpengaruh pada laju perpindahan panas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Min, D.M. Roe, Handbook of thermoelectrics, Peltier devices as generator, CRC Press LLC, Florida, 1994, p.479
- [2] Nandy Putra, Raldi Artono Koestoer, M. Adhitya, Ardian Roekettino, dan Bayu Trianto ,Potensi Pembangkit Daya Termoeletrik Untuk Kendaraan Hibrid, Depok, 2009, p.53-58
- [3] Kisman M. Mahmud, Sri Anastasia Yudistirani, Anwar Ilmar Ramadhan, Model Thermoelectric Generator (TEG) Small Modular As Micro Electricity Plant At Indonesia, 2016, vol.5
- [4] http://id.swewe.net/word_show.htm/?36843_1&Efek_Seebeck. Diakses pada tanggal 10 Desember 2018.
- [5] Frank P. Incropera, David P. Dewitt, Theodore L. Bergman, dan Adrienne S. Levine. (2007). Fundamentals of Heat and Mass Transfer Sixth Edition. United States of America: Jhon Wiley & Sons
- [6] N. Sulistiyanto, 2014, Thermoelectric Cooling System Modeling at Super Luminance LED Module, Jurnal of EECCIS Vol. 8, No. 1, pp. 67-72