

## Rancang Bangun Panel Sumber Energi Listrik Berbasis Generator Termoelektrik Pada Galvalum Baja Ringan

### *Design and Construction of Electrical Energy Source Panel Based on Thermoelectric Generators on Mild Steel Galvalume*

Bima Wahyu Maulana<sup>1</sup>, Misto<sup>1\*</sup>, Artoto Arkundato<sup>1</sup>, Tri Mulyono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

<sup>2</sup>Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember

\*E-mail: misto.fmipa@unej.ac.id

### ABSTRACT

A thermoelectric generator (TEG) is a device that converts heat energy into electrical energy. The working principle of this device is based on Seebeck's law, namely this device will produce electrical energy if the cold side and hot side of this device have a temperature difference value of . This device can be used for generator panels whose heat source comes from the sun. The cold side of the TEG is conditioned by utilizing water fluid which is passed over the heatsink. The temperature difference between the hot and cold sides of the TEG generates an electric voltage through the Seebeck effect. The parameters observed in the research on electricity generation using this TEG are voltage, current, electric power, and the temperature difference between the hot and cold sides. The resulting parameter values are as follows; average voltage (0.5495 volts), average electric current strength of 0.04 A, average electric power (0.022 watts), mean temperature difference (16.006 °C). The largest average Seebeck coefficient is 0.0413 V/°C.

**Keywords:** Betel nut husk fiber, Bioplastic, Cellulose, Delignification, Microcellulose.

### PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik, terutama di Indonesia merupakan kebutuhan yang sangat vital dan meningkat setiap tahun. Pembangkitan energi listrik di Indonesia sebagian besar masih menggunakan energi konvensional seperti diesel dan uap (Nusa, 2015). Indonesia di dalam bidang energi alternatif memiliki potensi yang sangat besar dalam sumber energi panas dari matahari. Letak Indonesia yang dilewati garis khatulistiwa. Besar energi matahari yang diterima di Indonesia adalah 4,8 kWh/m<sup>2</sup> (Hidayat, 2005). Energi ini dapat dikembangkan untuk membangkitkan listrik melalui modul generator termoelektrik yang bekerja berdasarkan efek *Seebeck*. Konsep dari efek *Seebeck* adalah jika terjadi perbedaan suhu pada dua keping sambungan material yang berbeda jenis, kedua sambungan tersebut akan menghasilkan beda potensial. Efek ini muncul dari kerapatan muatan pembawa elektron pada logam penghantar dan penghantar lainnya yang keduanya memiliki perbedaan suhu (Wardoyo, 2016).

*Thermoelectric generator* (TEG) adalah sebuah modul yang berguna untuk konversi langsung energi termal menjadi energi listrik yang bekerja berdasarkan efek *Seebeck*. Modul TEG tipe TEC-12706 tersusun dari 16 termokopel yang terdiri dari bahan

semikonduktor *Bismuth Telluride* tipe-p dan tipe-n. *Bismuth Telluride* tipe-p dan tipe-n disusun secara seri dengan konduktor logam dan ditutupi dengan isolator keramik yang terbagi menjadi dua sisi, yaitu sisi panas, dan sisi dingin (Ghani *et al.*, 2016). Efek *Seebeck* yang bekerja pada modul TEG akan mengaktifkan elektron dari bahan yang energi elektronnya lebih rendah ke bahan yang energi elektronnya lebih tinggi. Hal ini akan menimbulkan gaya gerak listrik pada dua sambungan material tersebut (Goldsmid, 2010).

Intensitas matahari akan memancarkan energi panas harian melalui proses radiasi. Energi panas yang sampai di bumi (tanpa mempertimbangkan atmosfer bumi) dinamakan intensitas harian matahari atau intensitas ekstraterrestrial. Matahari ketika menyinari bumi, pancaran radiasinya bersifat relatif, dan mempertimbangkan sudut-sudut untuk menentukan sudut datang sinar matahari. Sudut-sudutnya adalah garis lintang ( $\phi$ ), deklinasi ( $\delta$ ), kemiringan ( $\beta$ ), sudut jam ( $\omega$ ), sudut datang matahari terhadap sumbu vertikal permukaan bumi ( $\theta_z$ ), dan sudut ketinggian matahari ( $\alpha_s$ ). perumusan untuk sudut datang puncak adalah (Duffie & Beckman, 2013).

$$\cos \theta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (1)$$

Intensitas ekstraterrestrial yang mencapai permukaan bumi pada permukaan horizontal

adalah hasil kali antara intensitas ekstraterrestrial dengan  $\theta_z$  persamaannya adalah

$$G_0 = G_{sc}(1 + 0,033 \times \cos(360d/365)) \cos \theta_z \quad (2)$$

Nilai dari  $G_0$  sebanding dengan  $I_0$  atau intensitas ekstraterrestrial matahari dengan satuan watt/m<sup>2</sup>. Intensitas/radiasi matahari yang mencapai permukaan bumi jika ditinjau dari keberadaan atmosfer bumi terbagi menjadi dua yaitu iradiasi difuse ((*diffuse irradiance, I<sub>d</sub>*) tak langsung) dan berkas iradiasi (*beam irradiance, I<sub>b</sub>*), Persamaan untuk radiasi total yang mencapai atmosfer bumi adalah

$$I_T = I_b + I_d \quad (3)$$

$I_T$  adalah radiasi matahari total yang mencapai permukaan bumi setelah melewati atmosfer bumi (Widen & Munkhammar, 2019).

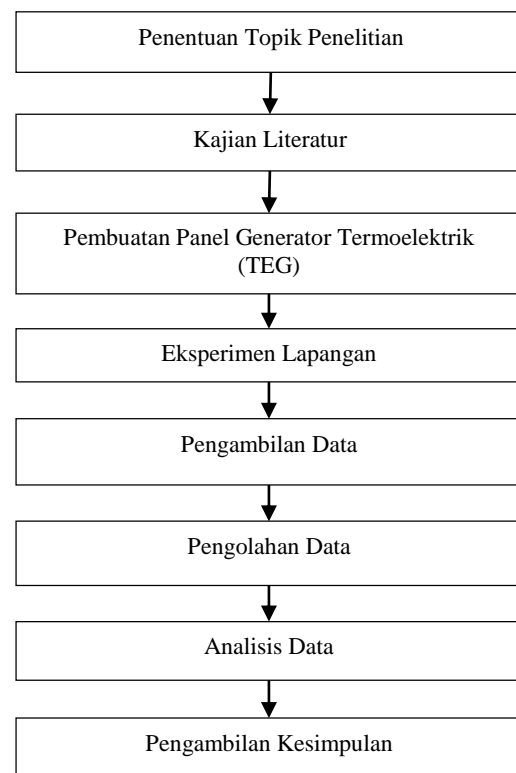
Arus cahaya sendiri adalah banyaknya cahaya yang dipancarkan dari satu sumber cahaya menuju ke segala arah. Satuan dari iluminan adalah lux atau lumen/m<sup>2</sup> (Riandito, 2013). Penerangan cahaya dapat dikonversi menjadi intensitas cahaya dengan membaginya pada besaran efikasi cahaya. Efikasi cahaya adalah perbandingan antara besaran arus cahaya dengan besaran daya yang dipancarkan cahaya. Satuan untuk efikasi cahaya adalah lumen/watt (Treado & Kusuda, 1981). Efikasi cahaya berguna untuk menentukan besar intensitas matahari yang terukur di permukaan bumi.

Pembangkit listrik termoelektrik (juga dikenal sebagai thermoelectricity) menawarkan teknologi yang menjanjikan dalam konversi langsung dari energi panas seadanya, seperti energi limbah-panas, menjadi energi listrik (Jaziri, 2020). Pemanfaatan awal hasil konversi limbah panas ke energi listrik untuk menyalakan perangkat nirkabel. Generator termoelektrik juga telah digunakan untuk menyediakan energi listrik dalam jumlah terbatas di daerah terpencil Swedia Utara, sebagai alternatif untuk penggerak mula karena bahan bakar yang mahal waktu itu (Musleh *et al.*, 2017). Dalam teknologi termoelektrik bertenaga sinar matahari atau limbah panas ini tidak perlu mempertimbangkan biaya input energi termal, dan nilai efisiensi pengkonversian yang rendah (Myers & Jur, 2017). Pada praktiknya, sistem ini dapat digunakan dalam banyak kebutuhan energi, beserta tambahan perangkat yang bersinergi, untuk meningkatkan efisiensi menyeluruh dari sistem konversi energi yang mengkonversi energi limbah panas menjadi energi (Mori *et al.*, 2011).

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah mengetahui hasil beda potensial dan daya listrik yang dihasilkan panel TEG dengan mempertimbangkan sudut datang matahari dan intensitas matahari baik yang terukur dan secara teoritis. Penelitian ini juga dilakukan dengan tiga variasi pendingin (*heatsink, coolant*, dan gabungan keduanya) untuk melihat daya listrik, beda potensial dan beda suhu yang terukur pada panel TEG.

## METODE

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan diagram alir yang sudah direncanakan untuk melakukan penelitian. Diagram alirnya adalah sebagai berikut.



Gambar 1. Rancangan Penelitian

### Alat dan Bahan

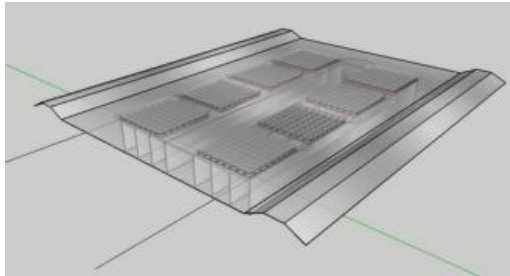
Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Delapan buah modul TEC-12706
2. Satu buah *Heatsink*
3. Satu buah selang tertutup berisi *Coolant*
4. Satu buah multimeter
5. Galvalum 40 cm x 30 cm
6. Satu buah *infrared thermogun*
7. Satu buah luxmeter

### Perancangan Panel TEG

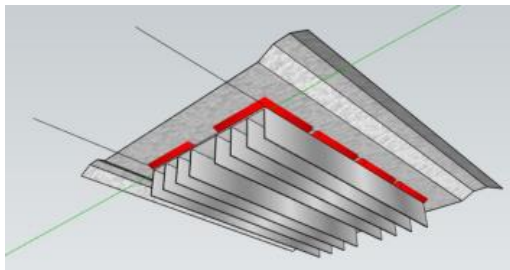
Tahap perancangan dimulai dengan merancang modul TEC-12706 sebanyak delapan buah menjadi rangkaian seri, kemudian panel TEG yang telah

disusun seri dipasangkan sisi panasnya pada galvalum.



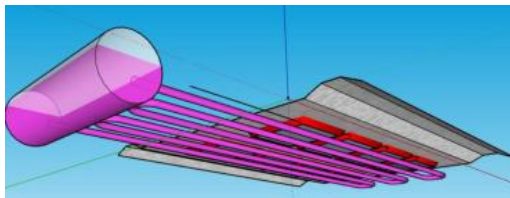
Gambar 2. Susunan Modul TEG

Perancangan selanjutnya adalah memasang panel TEG dengan pendingin. Variasi pertama adalah dengan pendingin *heatsink*.



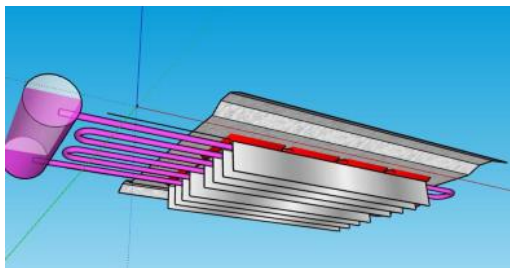
Gambar 3. Panel TEG berpendingin *heatsink*

Variasi yang kedua adalah dengan pendingin *coolant*.



Gambar 4. Panel TEG berpendingin *coolant*

Variasi yang ketiga adalah dengan pendingin gabungan *heatsink* dan *coolant*.



Gambar 5. Panel TEG berpendingin *heatsink* dan *coolant*

**Langkah Pengukuran**

Langkah pengukuran pada panel TEG dalam penelitian ini terbagi menjadi 3 langkah utama.

- Pengukuran panel TEG berpendingin *heatsink* pada jam 10.00 WIB hingga 10.45 WIB

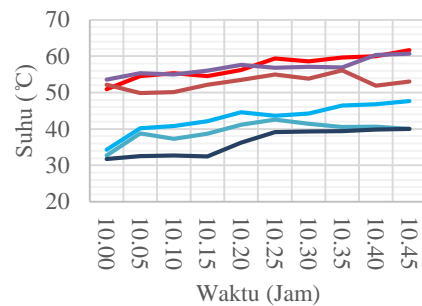
- Pengukuran panel TEG berpendingin gabungan *heatsink* dan *coolant* pada jam 10.50 WIB hingga 11.35 WIB

- Pengukuran panel TEG berpendingin *coolant* pada jam 12.00 WIB hingga 12.45 WIB

Pengukuran dilakukan selama 3 hari pada tanggal 5 Juni 2021, 6 Juni 2021, dan 7 Juni 2021 di Kabupaten Jember. Parameter yang diukur adalah beda potensial, suhu panas pada panel TEG, suhu dingin pada panel TEG, dan arus listrik yang dihasilkan panel TEG.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

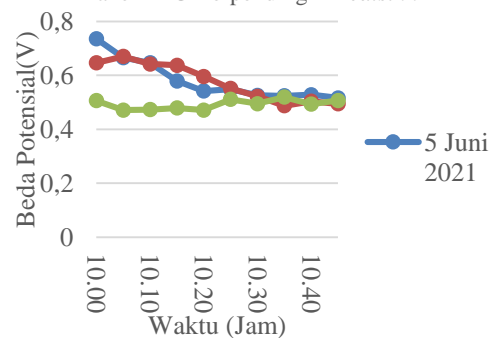
Pengukuran Suhu pada Panel TEG berpendingin *Heatsink*



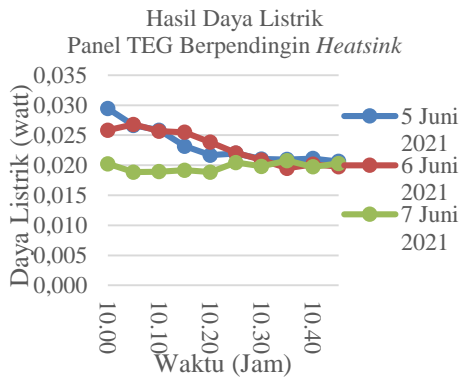
- suhu panas 5 Juni 2021
- suhu panas 6 Juni 2021
- suhu panas 7 Juni 2021
- suhu dingin 5 Juni 2021
- suhu dingin 6 Juni 2021
- suhu dingin 7 Juni 2021

Gambar 6. Hasil grafik pengukuran suhu pada panel TEG berpendingin *heatsink*

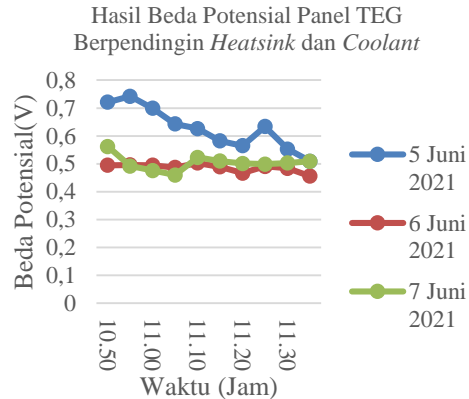
Hasil Beda Potensial Panel TEG Berpendingin *Heatsink*



Gambar 7. Hasil grafik pengukuran beda potensial pada panel TEG berpendingin *heatsink*



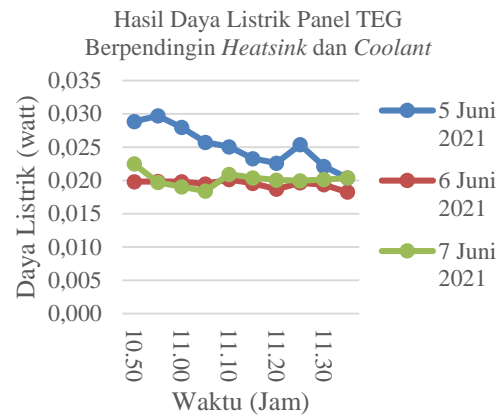
Gambar 8. Hasil grafik pengukuran daya listrik pada panel TEG berpendingin *heatsink*



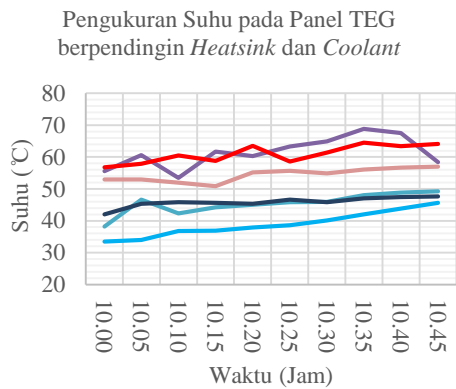
Gambar 10. Hasil grafik pengukuran beda potensial pada panel TEG berpendingin *heatsink* dan *coolant*

Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 adalah pengukuran suhu, potensial dan daya yang dilakukan pada saat pengamatan pada jam 10.00 sampai 10.45, tanggal 5-7 Juni 2021 pada panel TEG berpendingin *heatsink*.

Berdasarkan grafik diatas, beda potensial dan daya listrik yang dihasilkan oleh panel TEG berpendingin *heatsink* mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu dalam jam. Besar suhu panas dan suhu dingin pada panel TEG nilainya semakin naik seiring dengan bertambahnya waktu. Pengukuran dilakukan pada jam yang sama untuk hari yang berbeda.



Gambar 11. Hasil grafik pengukuran daya listrik pada panel TEG berpendingin *heatsink* dan *coolant*



- suhu panas 5 Juni 2021
- suhu panas 6 Juni 2021
- suhu panas 7 Juni 2021
- suhu dingin 5 Juni 2021
- suhu dingin 6 Juni 2021
- suhu dingin 7 Juni 2021

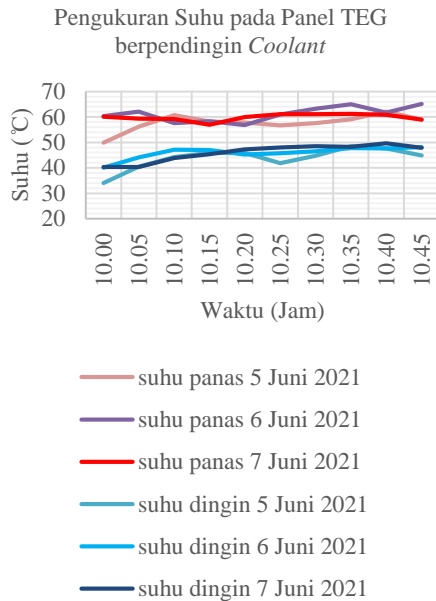
Gambar 9. Hasil grafik pengukuran suhu pada panel TEG berpendingin gabungan *heatsink* dan *coolant*

Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 adalah pengukuran suhu, potensial dan daya yang dilakukan pada saat pengamatan pada jam 10.00 sampai 10.45, tanggal 5-7 Juni 2021 pada panel TEG berpendingin *heatsink* dan *coolant*.

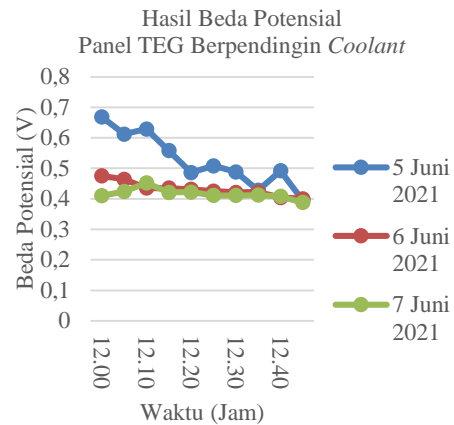
Berdasarkan grafik diatas, beda potensial dan daya listrik yang dihasilkan oleh panel TEG berpendingin gabungan *heatsink* dan *coolant* mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu dalam jam. Besar suhu panas dan suhu dingin pada panel TEG nilainya semakin naik seiring dengan bertambahnya waktu. Pengukuran dilakukan pada jam yang sama dengan hari yang berbeda.

Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14 adalah suhu pengukuran yang dilakukan pada saat pengamatan pada jam 10.00 sampai 10.45, tanggal 5-7 Juni 2021 pada panel TEG berpendingin *coolant*.

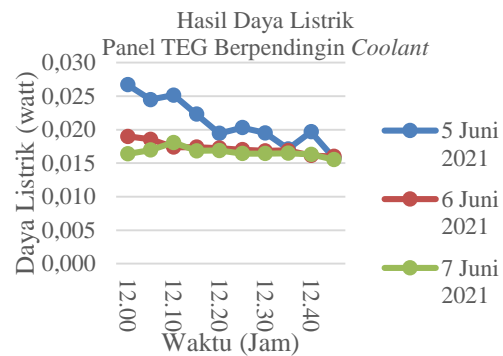
Berdasarkan grafik diatas beda potensial dan daya listrik yang dihasilkan oleh panel TEG berpendingin *coolant* mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu dalam jam. Besar suhu panas dan suhu dingin pada panel TEG nilainya semakin naik seiring dengan bertambahnya waktu. Pengukuran dilakukan pada jam yang sama untuk hari yang berbeda.



Gambar 12. Hasil grafik pengukuran suhu pada panel TEG berpendingin *coolant*



Gambar 13. Hasil grafik pengukuran beda potensial pada panel TEG berpendingin *coolant*



Gambar 14. Hasil grafik pengukuran daya listrik pada panel TEG berpendingin *heatsink*

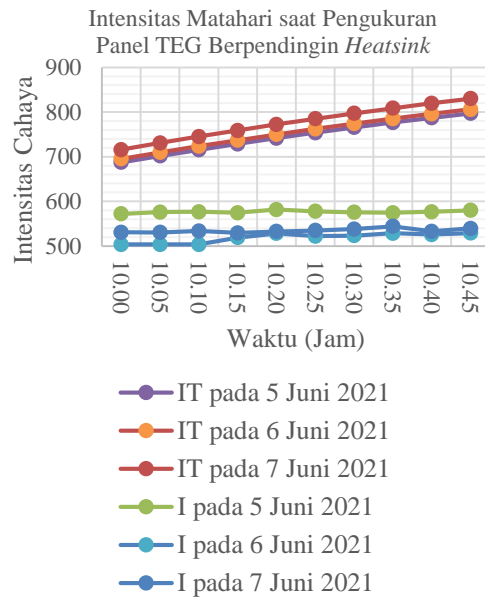
Tabel 1. Rata-Rata Hasil Pengukuran Suhu, Bada Potensial, Daya Listrik dan Arus Listrik pada Panel TEG

Pendingin Panel TEG	Parameter	Tanggal Pengukuran			Rata-rata Total
		5 Juni 2021	6 Juni 2021	7 Juni 2021	
<i>Heatsink</i>	Suhu Panas	57,07 °C	56,93 °C	52,77 °C	55,59 °C
	Suhu Dingin	43,07 °C	39,38 °C	36,31 °C	43,07 °C
	Selisih Suhu	14 °C	17,55 °C	16,46 °C	16,003 °C
<i>Heatsink dan Coolant</i>	Beda Potensial	0,5812 V	0,5749 V	0,4925 V	0,5495 V
	Arus Listrik	0,04 A	0,04 A	0,04 A	0,04 A
	Daya Listrik	0,023 W	0,023 W	0,020 W	0,022 W
<i>Coolant</i>	Suhu Panas	61,46 °C	60,95 °C	54,45 °C	58,953 °C
	Suhu Dingin	45,4 °C	38,92 °C	45,84 °C	43,387 °C
	Selisih Suhu	16,06 °C	22,03 °C	8,61 °C	15,57 °C
<i>Coolant</i>	Beda Potensial	0,6274 V	0,4863 V	0,5035 V	0,5391 V
	Arus Listrik	0,04 A	0,04 A	0,04 A	0,04 A
	Daya Listrik	0,025 W	0,019 W	0,020 W	0,0216 W
<i>Coolant</i>	Suhu Panas	57,72 °C	61,12 °C	59,87 °C	59,97 °C
	Suhu Dingin	43,81 °C	45,94 °C	45,94 °C	45,23 °C
	Selisih Suhu	13,91 °C	15,18 °C	13,93 °C	14,74 °C
<i>Coolant</i>	Beda Potensial	0,5263 V	0,4312 V	0,4159 V	0,4578 V
	Arus Listrik	0,04 A	0,04 A	0,04 A	0,04 A
	Daya Listrik	0,021 W	0,021 W	0,017 W	0,0183 W

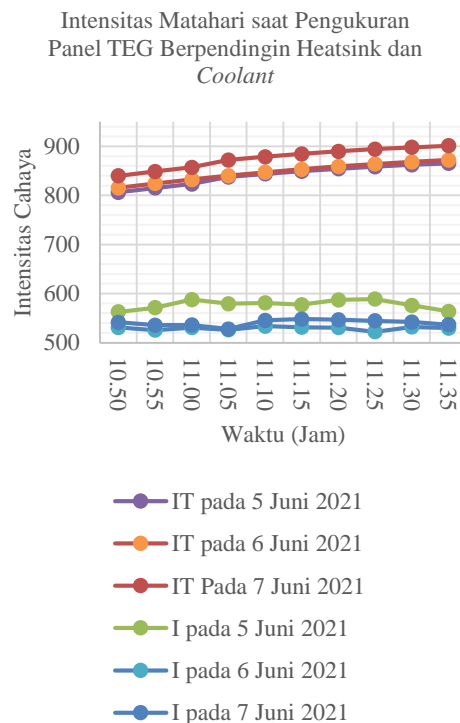
Berdasarkan tabel diatas, didapatkan kesimpulan bahwa panel TEG berpendingin *heatsink* menghasilkan beda potensial dan daya listrik rata-rata total tertinggi daripada panel TEG berpendingin gabungan *heatsink* dan *coolant*, maupun panel TEG berpendingin *coolant*. Besar arus listrik untuk semua panel TEG dengan tiga variasi pendingin memiliki nilai yang sama, yaitu 0,04 Ampere. Hal ini terjadi karena delapan buah modul TEG disusun secara seri, sehingga besar dari arus nilainya sama. Selisih suhu rata-rata total tertinggi yang terukur pada panel TEG berpendingin *heatsink* memiliki nilai yang lebih besar daripada panel TEG berpendingin gabungan *heatsink* dan *coolant*, maupun panel TEG berpendingin *coolant*.

Hasil ini masih lebih kecil dibanding dengan penelitian yang dilakukan oleh (Khalid *et al.*, 2016). Hasil pengujian pada modul Termoelektrik yang disusun dengan heat sink dan aluminium menghasilkan data berupa tegangan akibat perbedaan suhu heatsink dan pada plat aluminium. Tegangan yang dihasilkan adalah 0 volt hingga 1,4 volt. Penelitian ini dilakukan selama 60 menit dan melakukan pengukuran setiap 10 menit. Perbedaan suhu naik secara drastis pada menit ke 0 hingga ke 10. Kenaikan perbedaan suhu ini juga berbanding lurus dengan kenaikan nilai tegangan dan waktu. Modul termoelektrik yang dipasang adalah empat modul dan disusun secara seri (Khalid *et al.*, 2016). Hal ini terjadi karena saat penelitian ini dilakukan, suhu dingin pada panel TEG juga mengalami kenaikan sehingga selisih suhu cenderung mengalami penurunan dan beda potensial yang dihasilkan oleh panel TEG juga mengalami penurunan.

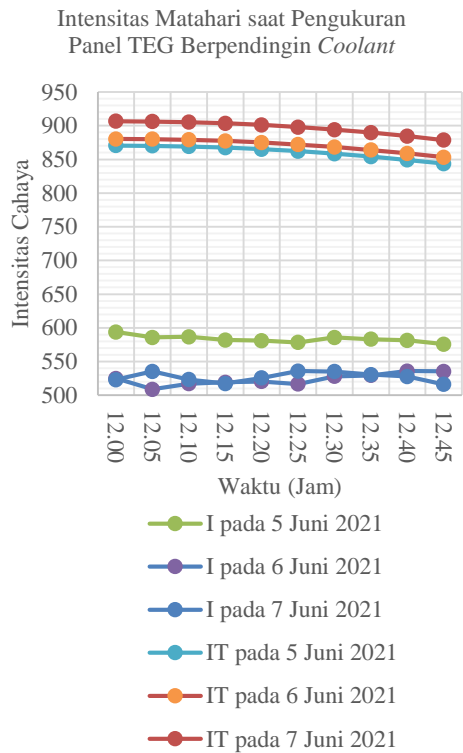
Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya waktu hingga 10.45 WIB, besar intensitas total yang dihitung nilainya semakin naik. Besar intensitas yang terukur seiring bertambahnya waktu hingga 10.45 nilainya semakin naik juga, tetapi naik secara fluktuatif. Berdasarkan grafik, besar intensitas terukur terbesar, terukur saat pengukuran tanggal 5 Juni 2021, yang nilainya lebih besar daripada pengukuran tanggal 6 Juni 2021 dan 7 Juni 2021 dengan jam yang sama. Intensitas perhitungan terbesar, berdasarkan grafik, dihitung pada tanggal 7 Juni 2021 yang nilainya lebih besar daripada pengukuran tanggal 5 Juni 2021 dan 6 Juni 2021 dengan jam yang sama.



Gambar 15. Hasil grafik intensitas matahari terukur dan intensitas matahari perhitungan pada panel TEG berpendingin *heatsink*



Gambar 16. Hasil grafik intensitas matahari terukur dan intensitas matahari perhitungan pada panel TEG berpendingin *heatsink* dan *coolant*



Gambar 17. Hasil grafik intensitas matahari terukur dan intensitas matahari perhitungan pada panel TEG berpendingin coolant

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya waktu hingga 11.35 WIB, besar intensitas total yang terhitung nilainya semakin naik. Besar intensitas yang terukur seiring bertambahnya waktu hingga 11.35 nilainya semakin naik juga, tetapi naik secara fluktuatif. Berdasarkan grafik, besar intensitas terukur terbesar, terukur saat pengukuran tanggal 5 Juni 2021, yang nilainya lebih besar daripada pengukuran tanggal 6 Juni 2021 dan 7 Juni 2021 dengan jam yang sama. Intensitas perhitungan terbesar, berdasarkan grafik, terhitung pada tanggal 7 Juni 2021 yang nilainya lebih besar daripada pengukuran tanggal 5 Juni 2021 dan 6 Juni 2021 dengan jam yang sama.

Berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya waktu hingga 12.45 WIB, besar intensitas total yang terhitung nilainya semakin turun. Besar intensitas yang terukur seiring bertambahnya waktu hingga 12.45 nilainya semakin naik juga, tetapi naik secara fluktuatif. Berdasarkan grafik, besar intensitas terukur terbesar, terukur saat pengukuran tanggal 5 Juni 2021, yang nilainya lebih besar daripada pengukuran tanggal 6 Juni 2021 dan 7 Juni 2021 dengan jam yang sama. Intensitas perhitungan terbesar, berdasarkan grafik, terhitung pada tanggal 7 Juni 2021 yang nilainya lebih besar daripada pengukuran tanggal 5 Juni 2021 dan 6 Juni 2021 dengan jam yang sama.

Tabel 2. Rata-Rata Hasil Perhitungan Tingkat Kejernihan Atmosfer

Pendingin	Rata-Rata Pengukuran Tingkat Kejernihan Atmosfer			Rata-Rata Total
	5 Juni 2021	6 Juni 2021	7 Juni 2021	
Heatsink	0,775	0,689	0,690	0,718
Heatsink dan Coolant	0,687	0,625	0,617	0,643
Coolant	0,678	0,601	0,588	0,622
Rata-Rata Harian	0,713	0,638	0,632	

Tabel 3. Rata-Rata Hasil Pengukuran Koefisien Seebeck

Pendingin	Rata-Rata Pengukuran Koefisien Seebeck (VK <sup>-1</sup> )Setiap Hari			Rata-Rata Total
	5 Juni 2021	6 Juni 2021	7 Juni 2021	
Heatsink	0,042	0,033	0,031	0,0353
Heatsink dan Coolant	0,041	0,022	0,061	0,0413
Coolant	0,038	0,030	0,031	0,0330

Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa tingkat kejernihan atmosfer tertinggi terukur pada saat pengukuran panel TEG berpendingin heatsink, yaitu terukur sebesar 0,718. Hal tersebut membuktikan bahwa, saat

pengukuran panel TEG berpendingin heatsink (10.00 WIB - 10.45 WIB), intensitas matahari yang terserap di atmosfer adalah sebesar 71,8 %. Berdasarkan rata-rata pengukuran harian, didapatkan kesimpulan bahwa pada tanggal 5

Juni 2021, tingkat kejernihan atmosfer cukup tinggi dibandingkan pada tanggal 6 Juni 2021, dan 7 Juni 2021. Hasil pengukurannya adalah 0,713, atau sebesar 71,3 % intensitas matahari total yang terserap di permukaan bumi.

Berdasarkan tabel diatas didapatkan data rata-rata total pengukuran koefisien *Seebeck* pada panel TEG. Berdasarkan hasil rata-rata total, didapatkan data bahwa koefisien *Seebeck* terbesar ditunjukkan pada panel TEG dengan pendingin gabungan *heatsink* dan *coolant*.

Sedangkan hasil penelitian TEG dengan menggunakan *heatsink* dan *coolant* oleh [Chen, Wh, 2015) menghasilkan koefisien *Seebeck*  $1.887 \times 10^{-4}$  and  $1.835 \times 10^{-4}$  V K<sup>-1</sup> [Chen WH. 2015].

### KESIMPULAN

Pengukuran pada beda suhu, beda potensial dan daya listrik terbaik ditunjukkan pada pengukuran panel TEG berpendingin *heatsink*. Hal ini sebanding dengan hasil pengukuran antara perbandingan intensitas cahaya terukur dan intensitas cahaya yang terhitung secara teoritis, dimana tingkat kejernihan atmosfer tertinggi didapatkan pada saat pengukuran panel TEG dengan pendingin *heatsink*. Pengukuran beda potensial tertinggi didapatkan saat pengukuran panel TEG dengan pendingin gabungan *heatsink* dan *coolant*. Arus listrik yang terukur untuk panel TEG dengan semua jenis pendingin nilainya sama, yaitu 0,04 Ampere yang terjadi karena disusunnya delapan panel TEG secara seri.

### DAFTAR PUSTAKA

- Duffie JA & Beckman WA. 2013. *Thermal Processes of Solar Engineering*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Chen WH. 2015. Evaluation of Power Generation From Thermoelectric Cooler at Normal and Low-Temperatur Cooling Conditions. *Energy for Sustainable Development*. **25**(1): 8-16
- Ghani MU, Ahmad SA & Munir U. 2016. Future Impact of Thermoelectric Devices for Deriving Electricity by Waste Heat Recovery from IC Engine Exhaust. *NFC-IEFR Journal of Engineering and Scientific Research*. **4**(1): 84-90.
- Goldsmid HJ. 2010. *Introduction to Thermoelectricity*. New York: Springer.
- April. *Angewandte Chemie International Edition*. **6**(11), 951-952.
- Hidayat AS. 2005. Konsumsi BBM dan Peluang Pengembangan Energi Alternatif. *INOVASI*. **5**(17): 11-57.
- Khalid M, Syukri M & Gapy M. 2016. Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil dengan Menggunakan Termoelektrik. **1**(3): 57-62.
- Myers & Jur. 2017. Effects of Thermal Energy Harvesting on The Human - Clothing - Environment Microsystem, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, **254**(2017)
- Musleh *et al.* 2017. Thermoelectric Generator Experimental Performance Testing for Wireless Sensor Network Application in Smart Building. *Matec Web of Conferences*, **120**(2017)
- Jaziri N, Boughamoura A, Muller J, Mezghani B, Tounsi F & Ismail M. 2020. A Comprehensive Review of Thermoelectric Generator: Technology And Common Application. *Energy Reports*, **6**(7): 264-287.
- Nusa T, Sompie SRUA & Rumbayan EM. 2015. Sistem Monitoring Konsumsi Energi Listrik Secara Real Time Berbasis Mikrokontroler. *Teknik Elektro dan Komputer*. **4**(5): 19-26.
- Riandito AR. 2013. *Efisiensi Energi Pada Ruang Perpustakaan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Melalui Optimasi Pencahayaan Alami dan Buatan*. Yogyakarta: Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Treado S & Kusuda T. 1981. *Solar Radiation and Illumination*. Washington DC: National Bureau of Standard. 1151.
- Wardoyo. 2016. Studi Karakteristik Pembangkit Listrik Termoelektrik Melalui Pemanfaatan Panas Knalpot Sepeda Motor Sport 150 cc. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*. **3**(2): 70-75.
- Widen J & Munkhammar J. 2019. *Solar Radiation Theory*. Uppsala: Uppsala University.