

PEMANFAATAN PANAS MATAHARI PADA DINDING LUAR BANGUNAN SEBAGAI SUMBER ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN GENERATOR TERMOELEKTRIK

Rifky¹⁾, Dan Mugisidi²⁾, Wahyu Kuncoro³⁾ & Vazri Muharom⁴⁾

^{1), 2), 3), 4)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik

Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

Jl. Tanah Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Pasar Rebo, Jakarta Timur

Telp. 021-87782739, Fax. 021-840091, Mobile +628569062848

E-mail: wahyukuncoro874@gmail.com

Abstract

This research utilizes solar thermal energy that absorbed by the outer wall of the building which facing north. The heat energy is converted into electrical energy using a thermoelectric generator type TEC 12706. To maintain the cold side area of TEC 12706 heatsinks are circulated with circulating water cooling fluid with a discharge of 1.8 lpm and the temperature is not more than 3°C. The study was conducted with a simulation tool composed of several materials such as glass, aluminum, styrofoam and heatsink. The test is conducted from 06.00 WIB until 18.00 WIB for 3 days. The parameters measured are light intensity, wind speed, water flow, temperature, electric voltage and electric current contained in the test equipment. The research results get a maximum output power of 0.0024 W, thermoelectric efficiency and system efficiency.

Keywords: Thermal Energy, Generator, Thermoelectric, Electric Power, Efficiency

1 PENDAHULUAN

Sebagian besar masyarakat di Indonesia menggunakan energi yang tidak dapat diperbaharui (unrenewable) seperti minyak bumi, gas bumi, dan batubara. Penggunaan energi konvensional tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga berdampak pada pasokan energi yang semakin menipis dan sifatnya yang tidak dapat diperbaharui (Putri, Harjunowibowo, & Fauzi, 2015).

Secara geografis, Indonesia terletak pada garis lintang 6° Utara dan 11° Selatan, dan garis bujur 95° Timur dan 141° Timur memiliki iklim tropis. Fitur yang menonjol di wilayah tersebut adalah suhu harian rata-rata tinggi, kelembaban tinggi dan aliran udara yang relatif lambat (Tech, 2019).

Jika ditinjau letak geografisnya, Indonesia terletak di garis khatulistiwa, sehingga Indonesia mempunyai sumber energi surya yang berlimpah. Dalam suatu penelitian disebutkan bahwa intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² perhari diseluruh wilayah Indonesia. (Khalid, Syukri, & Gapy, 2017).

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu pengembangan energi terbarukan ramah lingkungan, penelitian terbaru pun terus dilakukan. Salah satunya memanfaatkan dinding bangunan dipilih sebagai sumber energi alternatif karena dinding bangunan yang terkena paparan sinar matahari belum dimanfaatkan (Tech, 2019).

Pada penelitian yang memanfaatkan dinding bangunan ini menggunakan thermoelectric. Perangkat thermoelectric (TE) adalah teknologi energi terbarukan yang dapat menghasilkan listrik dari gradien suhu melalui efek Seebeck (Kwan, Wu, & Yao, 2018a). Perangkat TE keduanya dapat dikonversi panas ke listrik dan listrik ke panas dan dua karakteristik ini sering dikenal masing-masing sebagai generator termoelektrik (TEG) dan mode pendingin termoelektrik (TEC) (Kwan, Wu, & Yao, 2018b).

2 DASAR TEORI

2.1 Energi Surya

Radiasi surya merupakan suatu energi per satuan luas yang dikeluarkan oleh matahari. Radiasi surya yang dapat diserap oleh bumi, hanya sekitar 50% dari total besaran konstanta matahari sebesar 1353 W/m². Energi radiasi matahari mempunyai besaran yang tetap (konstan), tetapi hal tersebut dapat berubah seiring dengan revolusi bumi yang mengelilingi matahari. Konstanta matahari tersebut bervariasi antara 1308 W/m² sampai 1398 W/m² (Putra, Rifky, & Fikri, 2019).

2.2 Energi Termal

Energi termal adalah energi panas. Teknologi yang memanfaatkan panas dari energi surya digunakan untuk keperluan pemanasan, pengeringan atau produksi listrik di sektor industri, pertanian, perumahan, dan komersial.

2.3 Termoelektrik

Termoelektrik adalah proses konversi langsung dari suatu perbedaan suhu menjadi tegangan listrik atau sebaliknya. Sebuah perangkat modul termoelektrik menghasilkan tegangan ketika ada perbedaan suhu di setiap sisi. Sebaliknya, bila termoelektrik diberi tegangan listrik, akan menciptakan perbedaan suhu (Khalid et al., 2017).

2.3.1 Jenis Termoelektrik

Perangkat termoelektrik (TE) adalah teknologi energi terbarukan yang dapat menghasilkan listrik dari gradien suhu melalui efek *Seebeck* (sering juga dikenal sebagai generator termoelektrik (TEG)). Perangkat TE juga dapat menghasilkan gradien suhu (karenanya pompa daya panas dari sisi dingin ke sisi panas) jika listrik saat ini diterapkan. Operasi dalam mode seperti ini didasarkan pada efek *Peltier* dan sering dikenal sebagai efek pendingin termoelektrik (TEC) (Kwan, Wu, & Yao, 2018).

2.3.2 Seebeck Effect

Efek *Seebeck* yaitu jika terjadi perbedaan temperatur diantara kedua sambungan, maka akan terjadi arus listrik. Pada prinsip ini disebut dengan termoelektrik generator (pembangkit listrik). Semakin besar beda temperatur (koefisien *Seebeck*) maka beda potensial listrik yang dihasilkan juga semakin besar (Rafika, Mainil, & Aziz, 2017).

Berdasarkan efek *Seebeck*, dimana koefisien *Seebeck* diperoleh menggunakan persamaan (Juwito, 2017) (Putri, Harjunowibowo, & Fauzi, 2015):

$$\alpha = \frac{V}{\Delta T} \quad (1)$$

2.3.3 Peltier Effect

Efek *Peltier* jika dua logam yang berbeda disambungkan pada arus listrik (DC), maka fenomena yang terjadi yaitu perbedaan kalor. Pada prinsip ini yang disebut dengan termoelektrik sebagai pendingin/pemanas. Bahan termoelektrik terbuat dari *bismuth-tellurid*, memiliki koefisien *Seebeck* lebih tinggi (Rafika et al., 2017).

Parameter yang menarik untuk mengevaluasi kinerja perangkat pendingin adalah koefisien kinerja (ϕ), laju pemompaan panas (Q_c) dan perbedaan suhu maksimum (ΔT) yang dihasilkan perangkat. Koefisien kinerja (COP) ϕ didefinisikan sebagai (IntechOpen, 2011):

$$\phi = \frac{Q_c}{P} \quad (2)$$

2.3.4 Thomson Effect

Efek *Thomson* jika ada perbedaan suhu antara dua titik konduktor pembawa arus, panas juga dibebaskan atau diserap tergantung pada arah arus dan material, yaitu selain pemanasan *Peltier* (Wiley, 2011).

2.3.5 Kinerja

TEC umumnya digunakan untuk pendinginan perangkat elektronik, termoelektrik untuk limbah panas pada pemulihan tingkat rendah, seperti pada knalpot mobil dimana TEG bekerja pada suhu menengah (500 K - 800 K) (Maciá-Barber, 2015).

Kinerja perangkat termoelektrik diukur dengan angka pantas (*figure of merit*) Z , di mana satuannya $1/^\circ\text{C}$ untuk materi (Wiley, 2011) (IntechOpen, 2011):

$$Z = \frac{\alpha^2}{\rho k} \quad (3)$$

Efisiensi adalah kemampuan cara dalam kemampuan usaha konversi (panas) dari matahari sampai ke aluminium lalu diteruskan ke termoelektrik. Efisiensi generator *thermoelectric* (TEG) dimasukkan dalam rumus (Wiley, 2011) :

$$\eta_t = \frac{W}{Q_h} \quad (4)$$

Dapat ditulis ulang menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{V I}{\alpha T_h I - \frac{1}{2} I^2 R + K (T_h - T_c)} \quad (4a)$$

2.4 Daya Listrik

Daya listrik adalah kapasitas energi persatuan waktu. Dalam pengukuran daya listrik pada termoelektrik dengan mempertimbangkan dua elemen TEG, yang dibentuk oleh tipe-n dan tipe-p (juga disebut sebagai kaki atau cabang). Perangkat baris terakhir adalah modul TE dua tahap (Maciá-Barber, 2015).

2.4.1 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Tegangan listrik merupakan ukuran beda potensial yang mampu membangkitkan medan listrik sehingga menyebabkan timbulnya arus listrik dalam sebuah konduktor listrik (Putra et al., 2019).

$$V = I \cdot R \quad (5)$$

2.4.2 Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran bermuatan listrik. Aliran ini berupa aliran elektron atau aliran ion. Aliran ini mengalir melalui media penghantar listrik yang disebut konduktor (Wiley, 2011).

$$I = Q/t \quad (6)$$

2.4.3 Daya Listrik

Daya listrik atau *electrical power* adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkain (Snyder & Ursell, 2003).

$$P = V \times I \quad (7)$$

2.4.4 Efisiensi Sistem Alat Penelitian

Efisiensi didefinisikan untuk daya pembangkitan sebagai keluaran daya listrik yang dibagi oleh daya termal yang dipasok. Listrik daya P berasal dari perbedaan antara tegangan termoelektrik dan penurunan tegangan Hukum Ohm. Kekuatan panas Q adalah jumlah dari istilah panas *Peltier* dan istilah konduksi padat (Wiley, 2011) (Snyder & Ursell, 2003) (IntechOpen, 2011):

$$\eta = \frac{P}{Q} \quad (8)$$

2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas dalam keadaan nyata terbagi menjadi 3 jenis yaitu konduksi, konveksi dan radiasi (Holman, 2010).

2.5.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor melalui zat padat. Perpindahan ini tidak diikuti dengan perpindahan partikel perantara.

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (9)$$

2.5.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas dari suatu tempat ke tempat lain karena adanya perpindahan fluida, proses perpindahan panas melalui perpindahan massa.

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (10)$$

2.5.3 Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik, tanpa memerlukan media perantara.

$$q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (11)$$

Metode yang digunakan untuk menganalisis masalah radiasi adalah kecerdasan efektif untuk memvisualisasikan pertukaran radiasi antara permukaan. Keseimbangan radiasi panas matahari pada permukaan buram tertentu dapat ditulis (Holman, 2010):

$$q = A (\varepsilon E_b - \tau G) \quad (12)$$

Karena tidak mengukur energi yang dipancarkan tetapi mengukur energi yang diteruskan paparan panas matahari. Dapat di tulis ulang dengan persamaan berikut:

$$q = G \tau A \quad (12a)$$

Pada gambar tabel di bawah menyajikan persentase *Absorptivitas*, transmisi, dan reflektifitas.

Table 3.1 Effect of Angle of Incidence of Solar Radiation on the Absorptivity, The Transmissivity and the Reflectivity of the Stills Components

Angle of incidence, θ , deg.	0	30	45	60
Glass cover				
Absorptivity (α) %	5	5	5	5
Transmissivity (τ) %	90	90	89	85
Reflectivity (ρ) %	5	5	6	10
Water in the basin				
Absorptivity %	30	30	30	30
Transmissivity %	68	68	67	64
Reflectivity %	2	2	3	6
Basin bottom (liner)				
Absorptivity %	95	95	95	95
Transmissivity %	0	0	0	0
Reflectivity %	5	5	5	5

Gambar 1. Persentase *Absorptivity*, *Transmissivity* and *Reflectivity*(Belessiotis, Kalogirou, & Delyannis, 2016).

2.6 Dinding Bangunan

Dinding merupakan elemen bangunan yang memiliki fungsi salah satunya sebagai pelindung bangunan dari cuaca luar dan berperan sebagai pengkondisian udara didalam ruang (Widjaja,

Brunner, Mutiatussyadi, Lestari, & Fama, 2015). Konsep dasar dari *Zero Energy Building* (ZEB) adalah konsep yang dapat memenuhi kebutuhannya dari sumber yang murah, bersih, mudah diproduksi, dan terbarukan.

2.6 Pemanfaatan Dinding

Definisi yang lebih tepat menyatakan bahwa *Zero Energy Building* ZEB menghasilkan energi terbarukan di tempat yang cukup untuk memenuhi atau bahkan melebihi konsumsi energi tahunan. Beberapa parameter desain untuk *near Zero Energy Building* nZEB yang digunakan dalam penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut : teknologi energi terbarukan, yaitu penggunaan PV, termasuk (a) rasio area panel dengan area atap dan (b) arah azimuth (orientasi) panel PV; (2) bentuk bangunan (Tech, 2019).

3 METODOLOGI

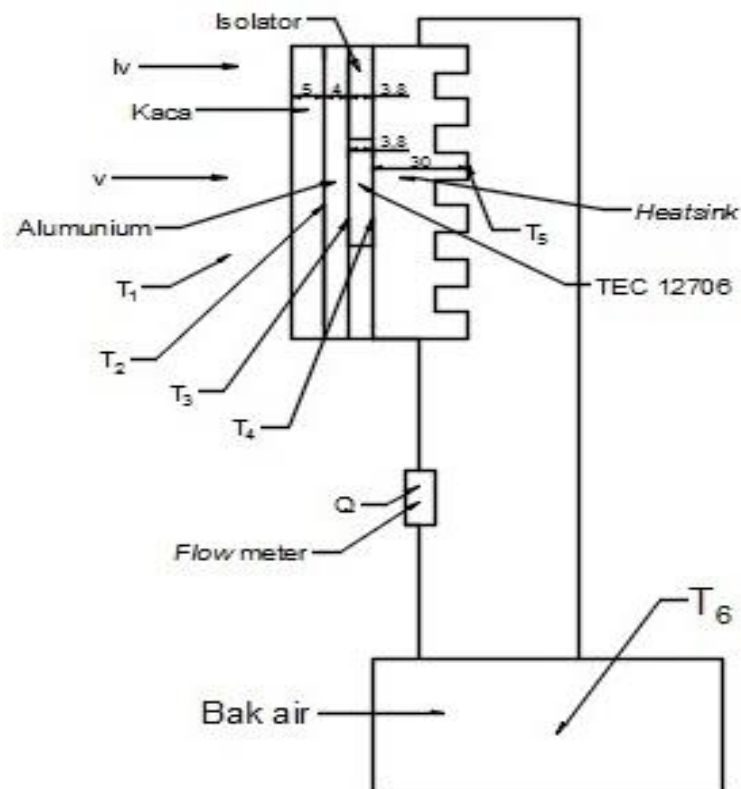
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian konversi energi panas matahari menjadi energi listrik dengan termoelektrik dilakukan:

- Tempat : Lantai 5 di gedung Fakultas TEKNIK UHAMKA
- Waktu : Maret 2019 - September 2019

3.2 Desain Penelitian

Desain penelitian di gambarkan pada gambar berikut.



Gambar 2. Desain alat simulasi penelitian (Dokumentasi pribadi)

Gambar diatas adalah alat simulasi penelitian yang disusun dari material kaca, alumunium, styrofoam, TEC 12706 dan heatsink.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat – alat

1. Data akusisi, untuk akusisi data temperatur pada setiap pengukuran pada alumunium, isolator dan *heatsink*.
2. *Solar Power Meter*, berfungsi untuk mengukur intensitas surya.
3. Kaca sebagai penutup pada alumunium sekaligus menahan suhu agar tidak mudah berpindah.
4. Kabel termokopel berfungsi sebagai pengukur suhu temperatur antara T_{at} dan T_{th} .
5. Anemometer berfungsi sebagai pengukuran kecepatan angin.
6. Multimeter berfungsi sebagai alat ukur tegangan dan arus.
7. Termometer digital berfungsi sebagai alat ukur temperatur.
8. Flow meter berfungsi sebagai alat ukur debit air.
9. Higrometer berfungsi sebagai pengukuran kelembaban udara.
10. Bak air berfungsi sebagai penampung air.

3.3.2 Bahan

1. Alumunium.
2. Isolator (*Styrofoam*).
3. *Heatsink*.

3.3.3 Spesifikasi TEC 12706

Berikut ini adalah spesifikasi dari modul termoelektrik TEC 12706 (Khalid, Syukri, & Gapy, 2017) (Putra et al., 2019):

1. Ukuran sisi 40 mm x 40 mm dengan tebal 3,8 mm.
2. Perbedaan temperatur sisi panas dengan sisi dingin maksimal (ΔT_{maks}) sebesar 66 °C.
3. Arus listrik maksimal yang diperbolehkan (I_{maks}) sebesar 6 Ampere.
4. Tegangan listrik maksimal yang diperbolehkan (V_{maks}) sebesar 14,4 Volt.
5. Material keramik elektrical insulator yang dipergunakan adalah Alumina (Al_2O_3).
6. Temperatur maksimal dalam penggunaannya sebesar 138 °C.
7. *Electrical resistant* adalah 1,98 Ω dan *thermal conductivity* TEC adalah 0,1391 W/m²k (Mainil, Aziz, & Akmal, 2018).

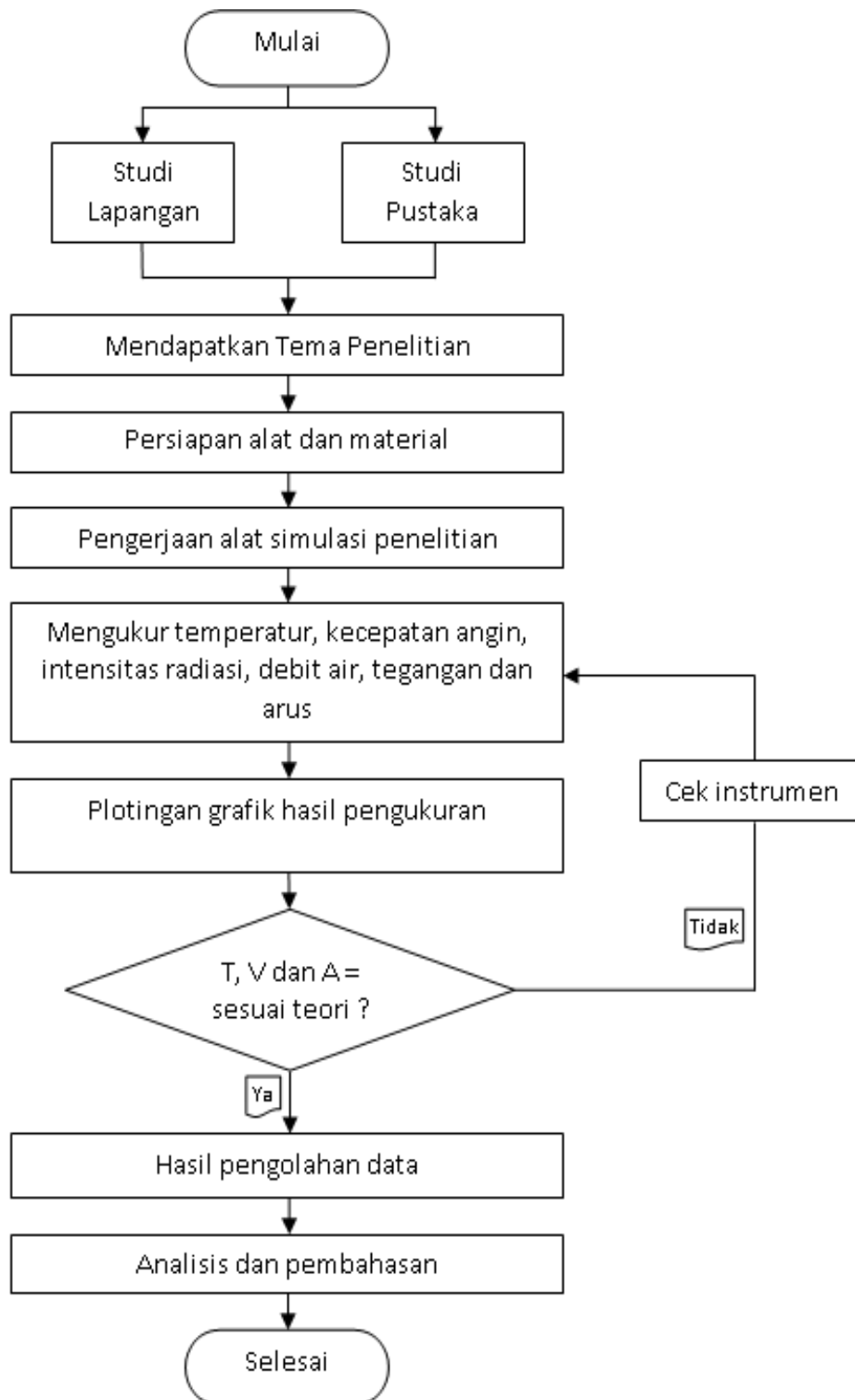
3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat termoelektrik .
2. Menyiapkan alat ukur yang digunakan.
3. Melakukan percobaan terhadap termoelektrik.
4. Membuat rangka dudukan alat penelitian.
5. Melakukan perakitan alat termoelektrik ke rangka dudukan penelitian.
6. Percobaan alat penelitian termoelektrik dari pagi hingga sore hari.
7. Pengecekan alat dan alat ukur sebelum memulai penelitian.
8. Melakukan pengukuran selama 30 menit pada setiap variasi.
 - a. Pengambilan data temperatur secara akusisi setiap 30 menit sekali, mengukur intensitas radiasi dengan solar power meter, dan mengukur suhu lingkungan.
 - b. Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit.
9. Mengumpulkan data.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan tahapan penelitian agar metode penelitian dapat berjalan secara terstruktur.



Gambar 3 Diagram alir penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Temuan Hasil Penelitian

Setelah melakukan percobaan selama tiga hari maka didapatkan data berikut: kecepatan angin (m/s), intensitas radiasi panas (w/m^2), debit air (lpm), kelembaban udara, temperatur lingkungan, temperatur aluminium, temperatur Al-TEC, temperatur TEC-*heatsink*, temperatur *heatsink*, temperatur air (bak), temperatur air masuk, temperatur air keluar, tegangan (volt), arus (ampere). Data-data yang telah terkumpul, dimasukkan ke dalam tabel data.

Pada hari pertama, kedua dan ketiga diperoleh data yang disajikan sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil pengukuran hari pertama

No.	Pukul	v[m/s]	I _w [w/m ²]	Q _w [L/PM]	Kelembaban Udara		T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	T ₃ [°C]	T ₄ [°C]	T ₅ [°C]	T ₆ [°C]	T ₇ [°C]	T ₈ [°C]	T ₉ [°C]	V	A	ΔT	P (W)
					Dry bulb	Wet bulb													
1	06.00	0	94	1,8	25,0	23,0	27,1	28	35,7	36,3	36,6	29,4	27,8	28,9	29,6	0,00	0,00	-1,4	0,0000
2	06.30	0	250	1,8	27,0	23,5	28,2	29,4	37	36,6	36	28,9	27,1	28,1	28,8	0,01	0,01	0,5	0,0001
3	07.00	0,4	535	1,8	30,0	25,0	31,7	29,1	36,1	34,8	34	27,2	25,1	26,2	26,8	0,04	0,01	1,9	0,0004
4	07.30	0	626	1,8	32,5	26,0	33,3	30,3	30,3	28,8	27,9	27,7	25,5	26,5	27,3	0,05	0,01	2,6	0,0005
5	08.00	0	820	1,8	34,5	27,0	35,3	31,8	31,5	30	28,8	28,5	26,2	27,3	28	0,06	0,01	3,3	0,0006
6	08.30	1,2	880	1,8	30,5	27,0	36,3	33,2	32,8	31	29,9	29,5	27,1	28,1	28,8	0,08	0,02	3,7	0,0016
7	09.00	0	915	1,8	38,5	28,5	40,5	35	34,1	32,2	31	30,4	27,7	28,8	29,5	0,08	0,02	4,6	0,0016
8	09.30	0,8	860	1,8	38,0	28,0	38,5	34,5	34,8	32,8	31,4	29	26,3	27,4	28,1	0,10	0,02	5,5	0,0020
9	10.00	4,2	912	1,8	36,0	26,5	38,1	34,8	35,2	32,9	31,5	29,2	26,6	27,7	28,4	0,11	0,02	5,6	0,0022
10	10.30	2,1	960	1,8	39,0	28,0	40,6	35,8	36,2	33,8	32,4	30,3	27,7	28,7	29,5	0,10	0,02	5,5	0,0020
11	11.00	1,3	580	1,8	37,5	27,0	37,8	35,5	36,3	33,8	32,4	29,4	26,8	27,8	28,6	0,12	0,02	6,1	0,0024
12	11.30	1,5	940	1,8	37,5	27,0	39	34,6	35,2	32,7	31,3	29,5	27	27,8	28,7	0,10	0,02	5,1	0,0020
13	12.00	2,3	460	1,8	36,0	26,5	38,7	34,3	35,1	32,4	31	29,4	26,9	27,9	28,6	0,10	0,02	4,9	0,0020
14	12.30	3,9	1054	1,8	38,5	26,5	39,5	34,1	34,7	32,1	30,7	29,8	26,3	27,3	28	0,11	0,02	4,3	0,0022
15	13.00	0,4	1099	1,8	37,5	26,5	39,7	35,2	35,5	32,9	31,5	29,9	27,3	28,3	29,1	0,10	0,02	5,3	0,0020
16	13.30	4,1	565	1,8	36,5	26,5	38,5	34,1	34,6	31,7	30,3	28,6	26	27,2	27,8	0,11	0,02	5,5	0,0022
17	14.00	3,4	980	1,8	35,5	24,0	37,3	33,5	34,1	31,2	29,9	28,5	26	26,8	27,5	0,10	0,02	5,0	0,0020
18	14.30	5,1	793	1,8	34,0	22,5	36,1	33,5	34,5	32,1	30,9	29,6	27,2	28,2	28,9	0,08	0,02	3,9	0,0016
19	15.00	6,7	633	1,8	33,0	21,5	35,1	33,2	34,5	32,1	31	30	27,7	28,8	29,4	0,06	0,01	3,2	0,0006
20	15.30	5,1	743	1,8	33,0	22,5	35	32	33,2	31	30	28,7	26,3	27,3	28	0,07	0,01	3,3	0,0007
21	16.00	2,7	654	1,8	32,0	22,0	33	31,1	32,9	30,8	28,9	28,6	26,3	27,3	28	0,05	0,01	2,5	0,0005
22	16.30	5,9	541	1,8	31,5	22,5	33,3	31,2	33,1	31,4	30,5	29,2	27,1	28,1	28,8	0,04	0,01	2,0	0,0004
23	17.00	0,7	93	1,8	30,5	22,0	32,8	31	37	35,8	35	29,8	27,8	28,8	29,4	0,02	0,01	1,2	0,0002
24	17.30	0,07	6	1,8	29,5	22,0	31,3	29,4	35,5	34,1	33,3	28,1	26,1	27	27,7	0,02	0,01	1,3	0,0002
25	18.00	0	0	1,8	29,5	22,0	31,2	29	35,3	34,5	33,8	28,3	26,4	27,3	28	0,00	0,00	0,7	0,0000

Tabel 2 Hasil pengukuran hari kedua

No.	Pukul	v[m/s]	I _w [w/m ²]	Q _w [L/PM]	Kelembaban Udara		T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	T ₃ [°C]	T ₄ [°C]	T ₅ [°C]	T ₆ [°C]	T ₇ [°C]	T ₈ [°C]	T ₉ [°C]	V	A	ΔT	P (W)
					Dry bulb	Wet bulb													
1	06.00	0	98	1,8	25,0	23,0	27	27,9	35,6	36,2	36,5	29,3	27,7	28,8	29,5	0,00	0,00	-1,4	0,0000
2	06.30	0	243	1,8	27,0	23,5	28,8	29,5	37,1	36,6	36,1	29	27,2	28,2	28,9	0,01	0,01	0,5	0,0001
3	07.00	0	563	1,8	30,0	25,0	31,8	29,2	36,2	34,9	34,1	27,3	25,2	26,3	26,9	0,04	0,01	1,9	0,0004
4	07.30	0	691	1,8	32,5	26,5	33,5	30,5	30,5	29	28	27,9	25,8	26,7	27,5	0,05	0,01	2,6	0,0005
5	08.00	0	898	1,8	34,5	27,0	35,8	31,5	31,5	30,2	29	28,8	26,2	27,6	28,4	0,06	0,01	2,7	0,0006
6	08.30	0	1060	1,8	33,0	25,5	36,4	33,3	33,6	37,2	36,5	29,1	26,8	27,8	28,5	0,07	0,02	4,2	0,0014
7	09.00	0	1071	1,8	36,5	26,5	38,5	34,4	39,4	37,6	36,5	30,4	27,9	29	29,7	0,08	0,02	4,0	0,0016
8	09.30	0	1164	1,8	37,0	27,0	39,7	35,1	39,7	37,5	36,4	30,7	27,9	29	29,9	0,09	0,02	4,4	0,0018
9	10.00	2,6	1148	1,8	39,5	28,0	40,1	34,4	38,9	36,6	35,3	29,1	26,4	27,4	28,3	0,11	0,02	5,3	0,0022
10	10.30	0	1198	1,8	38,0	27,0	39,7	34,5	39	36,7	35,5	29,3	26,7	27,8	28,5	0,11	0,02	5,2	0,0022
11	11.00	0,7	1171	1,8	41,0	28,0	42,4	35,6	39,8	37,2	35,8	30,5	27,8	28,7	29,6	0,10	0,02	5,1	0,0020
12	11.30	0,7	1196	1,8	39,5	27,5	41,2	34,9	39	36,7	35,4	29,3	26,4	27,5	28,3	0,11	0,02	5,6	0,0022
13	12.00	1,2	1053	1,8	40,5	27,5	40,9	35,6	39,7	36,8	35,5	29,6	27	28	28,7	0,11	0,02	6,0	0,0022
14	12.30	4,4	1073	1,8	39,5	28,0	40,6	35	39,6	37,1	36,1	30,3	27,9	28,6	29,7	0,09	0,02	4,7	0,0018
15	13.00	3,7	954	1,8	26,5	26,5	39,5	35,4	39,7	37,1	35,9	29,9	27,5	28,3	29,2	0,10	0,02	5,5	0,0020
16	13.30	1,1	1052	1,8	36,5	26,5	38,6	34,8	39	36,7	35,4	29,7	27,2	28,3	28,9	0,10	0,02	5,1	0,0020
17	14.00	4,4	971	1,8	36,0	26,5	37,7	34,5	39,1	37,1	35,8	29,8	27,1	28,2	29	0,10	0,02	4,7	0,0020
18	14.30	2,2	965	1,8	34,5	26,5	37	33,4	38	36,3	35	29,1	26,6	27,5	28,4	0,09	0,02	4,3	0,0018
19	15.00	1,2	865	1,8	33,5	26,0	35,6	33,5	38,3	36,5	35,5	29,9	27,6	28,7	29,4	0,07	0,02	3,6	0,0014
20	15.30	0,3	808	1,8	33,0	26,0	34,6	32,9	37,8	36,1	35	29,3	26,9	28,1	29,7	0,07	0,02	3,9	0,0014
21	16.00	3,1	605	1,8	33,0	25,5	34,6	32,4	37,7	36,5	35,5	29,5	27,4	28,5	29,1	0,05	0,01	2,9	0,0005
22	16.30	0,3	384	1,8	31,5	25,0	32,7	30,9	36,1	34,8	33,7	28,1	25,8	26,8	27,6	0,05	0,01	2,8	0,0005
23	17.00	0	78	1,8	30,0	24,0	31,7	29,6	35,4	34,5	33,5	27,9	25,7	26,7	27,4	0,03	0,01	1,7	0,0003
24	17.30	0	20	1,8	29,0	24,0	31,1	29,3	35,4	34,6	33,8	28,4	26,4	27,4	28	0,02	0,01	0,9	0,0002
25	18.00	0	0	1,8	28,5	24,5	30,2	29,4	34,6	34	33,2	28,8	27	28,1	28,6	0,01	0,01	0,6	0,0001

Tabel 3 Hasil pengukuran hari ketiga

No.	Pukul	v[m/s]	Iv[w/m²]	Qw[LPM]	Kelembaban Udara		T ₁ [°C]	T ₂ [°C]	T ₃ [°C]	T ₄ [°C]	T ₅ [°C]	T ₆ [°C]	T ₇ [°C]	T ₈ [°C]	V	A	ΔT	P (W)
					Dry bulb	Wet bulb												
1	06.00	0	78	1,8	25,0	23,0	31,5	29,8	35,2	35,3	29,7	27,4	28,6	28,8	0,00	0,00	-0,1	0,0000
2	06.30	0	235	1,8	27,0	23,5	31,6	30	35,3	35	29,4	27,3	28,7	28,9	0,00	0,00	0,3	0,0000
3	07.00	1,2	590	1,8	30,5	24,5	31,7	30,1	35,4	34,8	29,2	27,2	28,8	29	0,01	0,01	0,6	0,0001
4	07.30	0	685	1,8	32,5	25,5	33,1	30,1	34,7	32,4	27,2	25	26,1	26,8	0,06	0,01	2,3	0,0006
5	08.00	0,9	850	1,8	34,0	26,5	34,5	30,9	35,4	32,7	27,5	25,2	26,2	26,9	0,07	0,02	2,7	0,0014
6	08.30	0	952	1,8	34,5	26,5	35,8	32,1	37,6	34,7	28,2	25,9	27	27,7	0,08	0,02	2,9	0,0016
7	09.00	0	1035	1,8	37,0	27,5	37,8	33	38,1	35,1	28,5	26	27,1	27,8	0,09	0,02	3,0	0,0018
8	09.30	0	1032	1,8	38,5	28,0	39,7	34	39,3	36	29,5	26,9	28	28,7	0,09	0,02	3,3	0,0018
9	10.00	0	1135	1,8	39,0	28,5	40,2	35,5	40,4	36,7	30,3	27,8	28,6	29,6	0,10	0,02	3,7	0,0020
10	10.30	1,8	835	1,8	36,0	36,5	37,1	35,1	39,8	35,7	29,3	26,6	27,8	28,4	0,11	0,02	4,1	0,0022
11	11.00	3,1	360	1,8	37,5	27,0	36,4	35,2	40	36,2	29,6	27	28,1	28,8	0,11	0,02	3,8	0,0022
12	11.30	0	1150	1,8	40,0	28,0	40,5	36	40,7	37,1	30,7	27,9	28,7	29,8	0,11	0,02	3,6	0,0022
13	12.00	0	1035	1,8	40,5	28,5	41,9	35,2	39,9	35,8	29,5	26,8	28,1	28,7	0,11	0,02	4,1	0,0022
14	12.30	2,3	441	1,8	37,5	26,5	37,6	35,6	40,4	36,2	30,1	27,6	28,6	29,4	0,10	0,02	4,2	0,0020
15	13.00	0,4	681	1,8	36,5	26,0	37,4	33,7	38,7	35,1	28,9	26,4	27,6	28,2	0,09	0,02	3,6	0,0018
16	13.30	4,1	751	1,8	35,0	26,0	36,4	33,7	39	35,9	29,8	27,3	28,4	29	0,08	0,02	3,1	0,0016
17	14.00	0,7	985	1,8	35,0	26,5	37	33,6	38,7	34,9	29,1	26,6	27,9	28,4	0,09	0,02	3,8	0,0018
18	14.30	2,6	1072	1,8	34,0	26,0	36,6	33,7	39	37	29,8	27,5	28,6	29,3	0,08	0,02	2,0	0,0016
19	15.00	1,9	977	1,8	34,0	26,5	36,6	32,6	37,8	34,7	28,7	26	27,3	27,9	0,07	0,02	3,1	0,0014
20	15.30	5,5	890	1,8	33,0	25,5	34,2	31,8	37,2	34	28,6	26,1	27,3	27,8	0,07	0,02	3,2	0,0014
21	16.00	3,6	716	1,8	32,5	25,5	34,4	32	37,7	34,9	29,2	26,8	27,9	28,6	0,06	0,01	2,8	0,0006
22	16.30	2,6	270	1,8	31,0	24,5	32,9	31,2	37	34	28,4	25,9	26,9	27,8	0,05	0,01	3,0	0,0005
23	17.00	2,3	220	1,8	30,5	24,0	32,4	29,7	35,8	33,1	27,7	25,5	26,5	27,2	0,04	0,01	2,7	0,0004
24	17.30	0	37	1,8	30,0	23,5	31,6	29,4	35,9	33,8	28,2	26,2	27	27,9	0,03	0,01	2,1	0,0003
25	18.00	0	0	1,8	29,5	23,0	31,1	29,3	36,1	34,4	28,7	26,7	27,6	28,3	0,00	0,00	1,7	0,0000

4.2 Pembahasan

Dalam pembahasan ini dilakukan terlebih dahulu pengolahan data. Data yang diolah berasal dari data mentah yang dimasukkan dalam perhitungan.

Uraian data hari pertama yang diolah adalah besaran daya listrik (*watt*) yang diperoleh dari perkalian antara tegangan dan kuat arus hasil pengukuran:

Tabel 4 Perhitungan daya hari pertama

No.	q	ΔT ₁	V	A	P
1	0,00000	-0,9	0	0	0
2	0,00499	1,0	0,01	0,01	0,0001
3	0,00970	2,1	0,04	0,01	0,0004
4	0,00955	2,4	0,05	0,01	0,0005
5	0,01065	2,7	0,06	0,01	0,0006
6	0,02173	2,9	0,08	0,02	0,0016
7	0,02151	3,1	0,08	0,02	0,0016
8	0,02480	3,4	0,1	0,02	0,002
9	0,02568	3,7	0,11	0,02	0,0022
10	0,02394	3,8	0,1	0,02	0,002
11	0,02736	3,9	0,12	0,02	0,0024
12	0,02308	3,9	0,1	0,02	0,002
13	0,02242	4,1	0,1	0,02	0,002

Tabel 4 Perhitungan daya hari pertama (lanjutan)

No.	q	ΔT_1	V	A	P
14	0,02425	4,0	0,11	0,02	0,0022
15	0,02291	4,0	0,1	0,02	0,002
16	0,02328	4,3	0,11	0,02	0,0022
17	0,02168	4,2	0,1	0,02	0,002
18	0,01994	3,6	0,08	0,02	0,0016
19	0,01068	3,5	0,06	0,01	0,0006
20	0,01161	3,2	0,07	0,01	0,0007
21	0,00957	4,0	0,05	0,01	0,0005
22	0,00861	2,6	0,04	0,01	0,0004
23	0,00638	2,0	0,02	0,01	0,0002
24	0,00619	2,2	0,02	0,01	0,0002
25	0,00209	1,5	0	0	0

Tabel 5 Perhitungan daya hari kedua

No.	q	ΔT_1	V	A	P
1	0,00000	-1,4	0	0	0
2	0,00500	0,5	0,01	0,01	0,0001
3	0,00972	1,9	0,04	0,01	0,0004
4	0,00948	2,6	0,05	0,01	0,0005
5	0,01094	2,7	0,06	0,01	0,0006
6	0,02180	4,2	0,07	0,02	0,0014
7	0,02537	4	0,08	0,02	0,0016
8	0,02585	4,4	0,09	0,02	0,0018
9	0,02838	5,3	0,11	0,02	0,0022
10	0,02898	5,2	0,11	0,02	0,0022
11	0,02506	5,1	0,1	0,02	0,002
12	0,02844	5,6	0,11	0,02	0,0022
13	0,02624	6	0,11	0,02	0,0022
14	0,02483	4,7	0,09	0,02	0,0018
15	0,02578	5,5	0,1	0,02	0,002
16	0,02627	5,1	0,1	0,02	0,002
17	0,02789	4,7	0,1	0,02	0,002
18	0,02657	4,3	0,09	0,02	0,0018
19	0,02265	3,6	0,07	0,02	0,0014
20	0,02240	3,6	0,07	0,02	0,0014
21	0,01153	2,9	0,05	0,01	0,0005
22	0,01076	2,8	0,05	0,01	0,0005
23	0,00813	1,7	0,03	0,01	0,0003
24	0,00655	0,9	0,02	0,01	0,0002
25	0,00432	0,6	0,01	0,01	0,0001

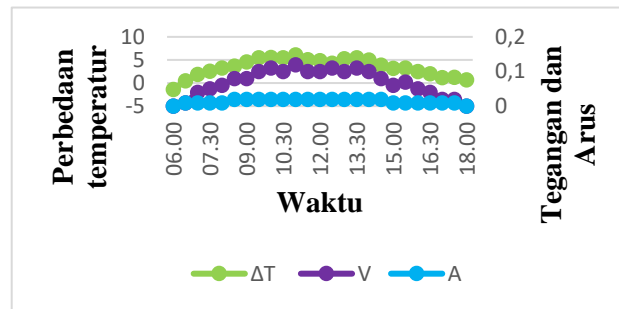
Tabel 6 Perhitungan daya hari ketiga

No.	q	ΔT_1	V	A	P
1	0,00000	-0,1	0	0	0
2	0,00042	0,3	0	0	0
3	0,00663	0,6	0,01	0,01	0,0001
4	0,01215	2,3	0,06	0,01	0,0006
5	0,02171	2,7	0,07	0,02	0,0014
6	0,02438	2,9	0,08	0,02	0,0016
7	0,02663	3,0	0,09	0,02	0,0018

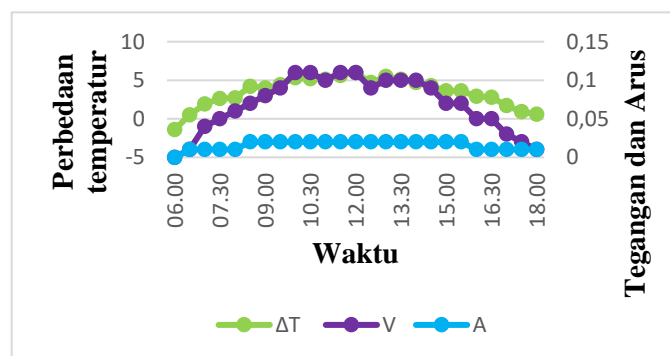
Tabel 6 Perhitungan daya hari ketiga (lanjutan)

No.	q	ΔT_1	V	A	P
8	0,02563	3,3	0,09	0,02	0,0018
9	0,02658	3,7	0,1	0,02	0,002
10	0,02666	4,1	0,11	0,02	0,0022
11	0,02804	3,8	0,11	0,02	0,0022
12	0,02948	3,6	0,11	0,02	0,0022
13	0,02671	4,1	0,11	0,02	0,0022
14	0,02468	4,2	0,1	0,02	0,002
15	0,02396	3,6	0,09	0,02	0,0018
16	0,02404	3,1	0,08	0,02	0,0016
17	0,02322	3,8	0,09	0,02	0,0018
18	0,03358	2,0	0,08	0,02	0,0016
19	0,02098	3,1	0,07	0,02	0,0014
20	0,02033	3,2	0,07	0,02	0,0014
21	0,01187	2,8	0,06	0,01	0,0006
22	0,01024	3,0	0,05	0,01	0,0005
23	0,00896	2,7	0,04	0,01	0,0004
24	0,00795	2,1	0,03	0,01	0,0003
25	0,00236	0,6	0	0	0

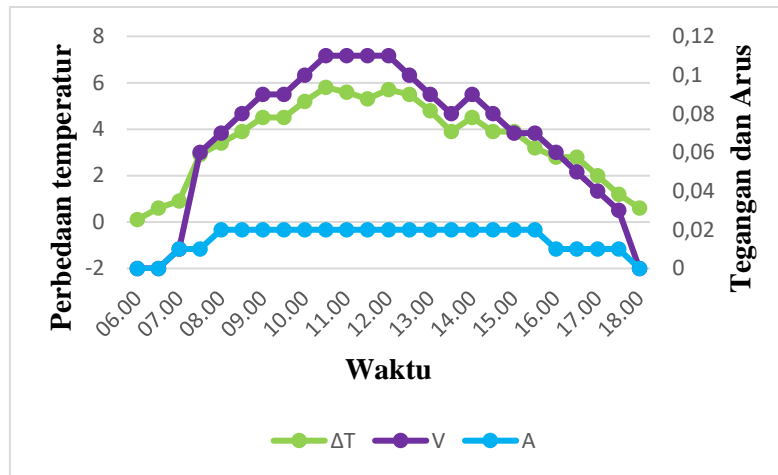
4.2.1 Pengaruh waktu pengambilan data terhadap perbedaan temperatur, tegangan dan arus

**Gambar 4 Grafik ΔT , V dan I hari ke 1**

Gambar 4 menunjukkan tegangan dan arus tertinggi 0,12 V dan 0,02 A. Panas temperatur rendah di pagi hari dengan perbedaan temperatur, tegangan dan arus nol, lalu temperatur mulai naik menuju siang hari diikuti kenaikan perbedaan temperatur, tegangan dan arus. Temperatur mulai turun pada sore hari diikuti penurunan perbedaan temperatur, tegangan dan arus. Perbedaan temperatur mempengaruhi juga dipengaruhi oleh radiasi matahari, dimana radiasi memberikan panas kepada aluminium dari pagi hingga sore hari. Hal ini diperlihatkan pada **Gambar 4**.

**Gambar 5 Grafik ΔT , V dan I hari ke 2**

Gambar 5 menunjukkan tegangan dan arus tertinggi 0,11 V dan 0,02 A. Panas temperatur rendah di pagi hari dengan perbedaan temperatur, tegangan dan arus nol, lalu temperatur mulai naik menuju siang hari diikuti kenaikan perbedaan temperatur, tegangan dan arus. Temperatur mulai turun pada sore hari diikuti penurunan perbedaan temperatur, tegangan dan arus. Perbedaan temperatur mempengaruhi juga dipengaruhi oleh radiasi matahari, dimana radiasi memberikan panas kepada aluminium dari pagi hingga sore hari. Hal ini diperlihatkan pada **Gambar 5**.

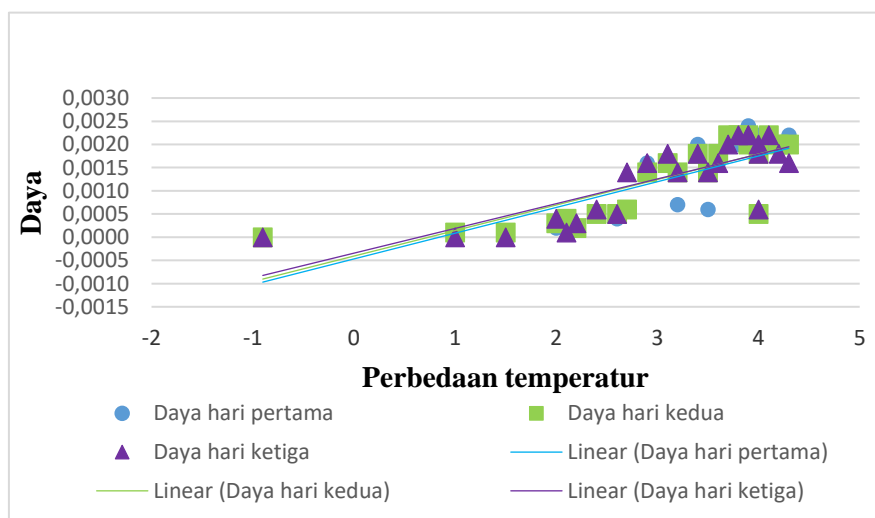


Gambar 6 Grafik ΔT, V dan I hari ke 3

Gambar 6 menunjukkan tegangan dan arus tertinggi 0,11 V dan 0,02 A. Panas temperatur rendah di pagi hari dengan perbedaan temperatur, tegangan dan arus nol, lalu temperatur mulai naik menuju siang hari diikuti kenaikan perbedaan temperatur, tegangan dan arus. Temperatur mulai turun pada sore hari diikuti penurunan perbedaan temperatur, tegangan dan arus. Perbedaan temperatur mempengaruhi juga dipengaruhi oleh radiasi matahari, dimana radiasi memberikan panas kepada aluminium dari pagi hingga sore hari. Hal ini diperlihatkan pada **Gambar 6**.

4.2.2 Pengaruh perbedaan temperatur terhadap daya

Daya listrik yang dihasilkan termoelektrik didapatkan dari hasil perkalian tegangan dan arus. Menurut *Seebeck* pada persamaan (1), bahwa tegangan dipengaruhi oleh perbandingan temperatur, oleh karena itu korelasi temperatur, perbedaan temperatur dan daya dijelaskan pada grafik berikut:



Gambar 7 Grafik perbedaan temperatur dan daya selama 3 hari.

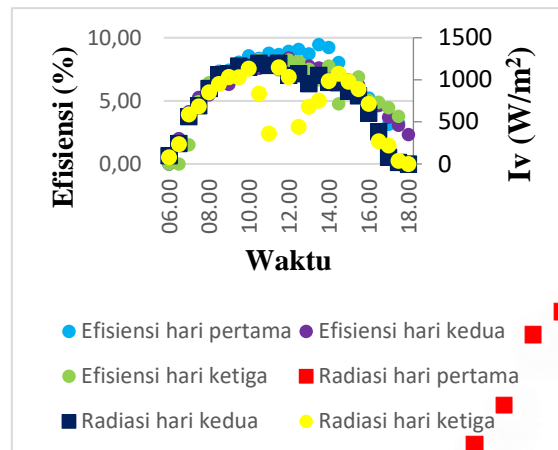
Gambar 7 penelitian selama 3 hari menunjukkan bahwa semakin besar perbedaan temperatur, maka akan semakin tinggi juga daya yang dihasilkan, karena ada beda potensial tegangan listrik yang disebabkan oleh perbedaan temperatur yang dipengaruhi efek *Seebeck*.

4.2.3 Efisiensi Termoelektrik

Efisiensi termoelektrik ini dilakukan untuk mengetahui ketepatan cara dalam menghitung panas yang diterima termoelektrik sehingga menjadi listrik. Data yang diolah berasal dari data sebelumnya yang dimasukkan dalam tabel.

Uraian data hari ke 1 yang telah diolah menjadi efisiensi termoelektrik (%) yaitu diperoleh dari persamaan (4a).

Efisiensi termoelektrik dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 6 Grafik waktu dan efisiensi termoelektrik selama 3 hari.

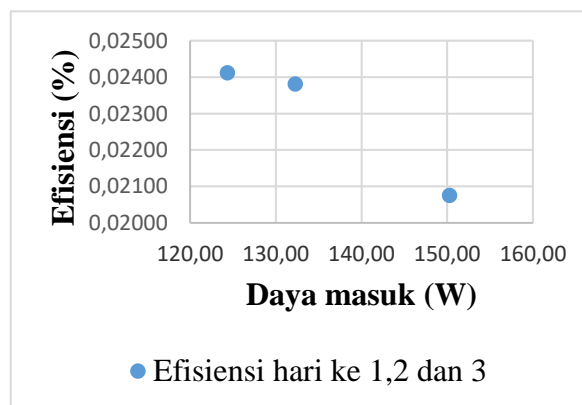
Gambar 6 menunjukkan bahwa efisiensi termoelektrik adalah daya yang dihasilkan oleh TEC 12706 dibagi dengan daya yang masuk pada sisi panas TEC 12706. Efisiensi termoelektrik dipengaruhi oleh radiasi matahari walaupun tidak secara langsung, dikarenakan panas yang masih terserap di alumunium. Hal ini menyebabkan temperatur pada alumunium tidak langsung turun meskipun radiasi matahari turun.

4.2.4 Efisiensi Sistem Alat Penelitian

Efisiensi sistem alat penelitian ini dilakukan untuk mengetahui ketepatan cara dalam menghitung panas yang diterima alumunium sehingga menjadi listrik. Data yang diolah berasal dari data sebelumnya yang dimasukkan dalam tabel.

Uraian data hari pertama yang telah diolah menjadi efisiensi sistem alat penelitian (%) diperoleh dari data sebelumnya dan dimasukkan dalam persamaan (8).

Efisiensi sistem alat penelitian dapat dilihat pada grafik berikut:



Gambar 7 Grafik efisiensi sistem alat penelitian.

Gambar 7 menunjukkan bahwa efisiensi sistem adalah daya yang dihasilkan oleh TEC 12706 dibagi dengan daya yang masuk setelah kaca. Efisiensi sistem tertinggi terjadi pada hari pertama. Karena panas yang diperoleh dari matahari sebagian akan terbuang dan sebagian akan masuk ke aluminium, meskipun outputnya naik, jumlah panas yang terbuang ke lingkungan juga naik. Oleh karena itu, kenaikan input tidak sebanding dengan output. Sehingga efisiensi menjadi turun.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian yang telah dihasilkan dari pemanfaatan panas dinding luar bangunan menjadi energi listrik adalah:

1. Daya tertinggi yang dihasilkan 0,0024 W.
2. Efisiensi termoelektrik tertinggi yaitu 9,45 %.
3. Efisiensi sistem alat penelitian tertinggi yaitu 0,42867 %

Pada penelitian selanjutnya diharapkan mempertimbangkan arah mata angin, untuk mengetahui daya dari arah mata angin yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Belessiotis, V., Kalogirou, S., & Delyannis, E. (2016). *Thermal Solar Desalination Methods and Systems*. 375. Retrieved from www.elsevier.com/permissions.
- Holman, J. . (2010). *Heat Transfer tenth edition* (10th ed.; J. . Holman, ed.). Retrieved from www.mhhe.com
- IntechOpen. (2011). *Heat Analysis and Thermodynamic Effects* (17th ed.; D. A. Ahsan, ed.). Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/heat-analysis-and-thermodynamic-effects/principlesof-%0Adirect-thermoelectric-conversion>
- Juwito, A. F. (2017). Heat Energi Harvesting Untuk Sumber listrik DC Skala Kecil. *Jurnal Integrasi*, 9(1), 92. <https://doi.org/10.30871/ji.v9i1.271>
- Khalid, M., Syukri, M., & Gapy, M. (2017). Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik. *Karya Ilmiah Mahasiswa Teknik Elektro*, 1(3), 57–62.
- Kwan, T. H., Wu, X., & Yao, Q. (2018). Bidirectional operation of the thermoelectric device for active temperature control of fuel cells. *Applied Energy*, 222(April), 410–422. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.016>
- Maciá-Barber, E. (2015). Thermoelectric materials: Advances and applications. In *Thermoelectric Materials: Advances and Applications*. <https://doi.org/10.4032/9789814463539>
- Mainil, A. K., Aziz, A., & Akmal, M. (2018). Portable Thermoelectric Cooler Box Performance with Variation of Input Power and Cooling Load. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 7(2), 85–92. <https://doi.org/10.13170/aijst.7.2.8722>
- Putra, A. E., Rifky, R., & Fikri, A. (2019). Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan. *Prosiding Seminar Nasional Teknoka*, 3(2502), 38. <https://doi.org/10.22236/teknoka.v3i0.2911>
- Putri, D. E., Harjunowibowo, D., & Fauzi, A. (2015). Harvesting Energy Panas Matahari Menggunakan Thermoelectric Dan Photovoltaic. *Fisika Dan Pendidikan Fisika*, 6(1), 63–68.
- Rafika, H., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2017). Kaji Eksperimental Pembangkit Listrik Berbasis Thermoelectric Generator (Teg) Dengan Pendinginan Menggunakan Udara. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 15(1), 7–11. Retrieved from <https://ejournal.unri.ac.id/index.php/JST/article/view/3990/3874>
- Snyder, G. J., & Ursell, T. S. (2003). Thermoelectric efficiency and compatibility. *Physical Review Letters*, 91(14), 148301/1-148301/4. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.91.148301>
- Tech, I. . (2019). *Cost Optimum Design Of A Tropical Near Zero Energy House (nZEH)*. 10(2), 376–385. <https://doi.org/https://doi.org/10.14716/ijtech.v10i2.1781>
- Widjaja, I. P., Brunner, T., Mutiatussyadi, N., Lestari, P., & Fama, E. F. (2015). Foam Concrete Sebagai Alternatif Material Dinding Terkait Perencanaan Kenyamanan Termal Pada Rumah Hunian. *Online Institut Teknologi Nasional*, 3(3), 1–14.
- Wiley, J. (2011). *Heat Sinks , Thermoelectrics , Heat Pipes , Compact Heat Exchangers , and Solar Cells* (I. JOHN WILEY & SONS, ed.). Retrieved from www.wiley.com.%0ALibrary