

Pemanfaatan Panas Buang Atap Seng dengan Menggunakan Generator Termoelektrik sebagai Sumber Energi Listrik Terbarukan

Aby Elsa Putra*, Rifky, Agus Fikri

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 +6289660748605
*E-mail: abyelsaputra@gmail.com

Abstract – *This research was conducted to utilize waste heat energy zinc roof for a revamped into a source of electrical energy. Waste heat utilization of zinc using thermoelectric generator type of TEC-12706 to convert thermal energy into electrical energy and the fan with speed 5 m/s to hold a low temperature in a cold area of heatsink. This research was conducted using a test simulation tool made by zinc, aluminum and acrylic. Waste heat utilization of testing zinc roof done starting at 09.00 WIB until 15.00 WIB for 3 days, with some measured parameters required as the intensity of solar radiation (E_s), airspeed (v), current (I), power (W) and temperature (T) some of which are found in the system tools of simulation testing. From the results of testing performed, the value of the highest efficiency i.e. of 0,00888% and the largest electrical power generated in the amount of 0,0042 W. A high intensity of the solar radiation it will affect the temperature of the environment which will also have an effect on the temperature in the cold area of heatsink, then the value of the temperature difference will also be affected. Heat resistance value on the system also affects the value of the waste heat energy can be changed into electrical energy.*

Keyword: *Heat Waste Energy, Thermoelectric Generator, Intensity of Solar Radiastion, Thermal Resistance*

1. Pendahuluan

Pengembangan energi terbarukan di Indonesia untuk menggantikan energi konvensional ditandai dengan banyak pengembangan energi alternatif untuk menggantikan energi konvensional, seperti pembangunan PLTU, PLTS, dan PLTA yang menggantikan pembangkit listrik berasal dari bahan bakar minyak dan batu bara. Namun pada pengaplikasiannya pembuatan pembangkit listrik memerlukan biaya yang cukup besar. Sehingga tidak semua orang dapat membuat pembangkit listrik sendiri. Dengan demikian munculah berbagai inovasi kreatif yang dibuat untuk memaksimalkan berbagai sumber energi yang dapat dirubah atau dikonversi menjadi energi listrik.

Di Indonesia ada suatu permasalahan yang biasanya terdapat pada rumah, yaitu penggunaan seng sebagai atap rumah. Permasalahannya adalah energi panas yang diterima oleh seng dari matahari akan diteruskan ke dalam ruangan di bawahnya. Hal itu menyebabkan mengapa rumah yang menggunakan seng akan terasa lebih panas dibanding dengan rumah yang menggunakan genteng dari tanah liat[1]. Biasanya masyarakat akan mengganggu permasalahan tersebut dengan memasang plafon untuk meredam panas agar tidak masuk keruangan bawah[2].

Atas dasar adanya permasalahan tersebut maka dalam penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan energi panas

yang terdapat dalam ruangan plafon tersebut. Metode yang digunakan adalah dengan cara menyerap panas tersebut ke dalam *heatsink* kemudian merubahnya menjadi energi listrik dengan bantuan generator termoelektrik tipe TEC-12706. Salah satu sisi area dingin menggunakan fan untuk mengalirkan udara dengan kecepatan 5 m/s untuk menurunkan temperatur pada area dingin

2. Dasar Teori

2.1 Radiasi Surya

Radiasi surya merupakan suatu energi per satuan luas yang dikeluarkan oleh matahari. Energi yang dipancarkan tersebut berbentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi yang dapat diserap oleh bumi (radiasi surya global) 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[3]. Penentuan besaran energi radiasi matahari yang diterima oleh permukaan bumi dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$E_s = \sigma \cdot \pi \cdot d_s^2 \cdot T_s^4 \quad (1)$$

Dimana, σ merupakan konstanta Stefan-Boltzmann yang besarnya $5,667 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ [4]. Dalam penyerapan

intensitas radiasi matahari pada suatu material dapat dihitung menggunakan persamaan[5].

$$I_{\text{eff}} = I \cdot \alpha \cdot A = q_{\text{konduksi}} + \text{heatloss} \quad (2)$$

2.2 Karakteristik Bahan

1. Seng

Tabel 1 Sifat-sifat Seng (Zn)

Sifat pada 20°C			
ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg.°C)	k (W/m.°C)	a (m ² /s) x 10 ⁵
7,144	0,3843	112,2	4,106

Sumber: Heat tranfer tenth edition (J.P Holman, 2010)

2. Aluminium

Tabel 2 Sifat-sifat Seng (Zn)

Sifat pada 20°C			
ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg.°C)	k (W/m.°C)	a (m ² /s) x 10 ⁵
2,707	0,896	204	8,418

Sumber: Heat tranfer tenth edition (J.P Holman, 2010)

2.3 Generator Termoelektrik

Termoelektrik adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi langsung dari suatu perbedaan temperatur menjadi tegangan listrik atau sebaliknya[6]–[8]. Elemen termoelektrik terdiri dari semikonduktor tipe N dan tipe P yang bagian atas dan bawah dilapisi dengan konduktor tembaga sebagai penghubung satu sama lain antara tipe N dan tipe P[9]. Dalam penelitian ini modul termoelektrik yang digunakan adalah modul termoelektrik TEC1 12706. Modul termoelektrik jenis termoelektrik *cooler* dengan 127 pasang semikonduktor. Berikut ini adalah spesifikasi dari modul termoelektrik TEC1 12706[6]:

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 (Imaks) sebesar 6 Ampere.
4. Tegangan listrik maksimal yang diperbolehkan (Vmaks) sebesar 14,4 Volt.
5. Material keramik *electrical insulator* yang dipergunakan adalah Alumina (Al₂O₃).
6. Temperatur maksimal dalam penggunaannya sebesar 138 °C.

2.4 Heatsink

Heatsink adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan nilai gradien termal. Dalam penggunaannya, heatsink berfungsi untuk mengalirkan energi panas atau dingin yang dibutuhkan oleh generator termoelektrik untuk menghasilkan energi listrik. Heatsink terbuat dari logam aluminium. Heatsink memiliki sirip sirip yang berfungsi untuk memperbesar laju perpindahan energi yang dibutuhkan[10], [11].

2.5 Perpindahan Panas

Perpindahan panas atau heat transfer adalah ilmu untuk mempetakan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Perpindahan panas dalam keadaan nyata terbagi menjadi 3 jenis yaitu konduksi, konveksi dan radiasi[12].

1. Konduksi

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

$$q = -K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad (3)$$

2. Konveksi

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

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (4)$$

3. Radiasi

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

$$q = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (5)$$

2.6 Listrik

Listrik dapat diartikan sebagai suatu daya yang muncul akibat terjadinya suatu gesekan atau dikarenakan sebab lain seperti proses kimia[13], [14].

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[13].

$$V = I \cdot R \quad (6)$$

2. Arus Listrik

Arus listrik adalah aliran bermuatan listrik. Aliran ini berupa aliran electron atau aliran ion. Aliran ini mengalir melalui media penghantar listrik yang disebut konduktor[13].

$$I = \frac{Q}{t} \quad (7)$$

3. Daya Listrik

Daya listrik atau electrical power adalah jumlah energi yang diserap atau dihasilkan dalam sebuah sirkuit/rangkain[13].

$$P = V \times I \quad (8)$$

3. Metodologi Penelitian

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA Lt. 5 Jl. Tanah

Merdeka No. 6, Kp. Rambutan, Ps. Rebo, Jakarta Timur mulai bulan Maret sampai dengan September 2018.

3.2 Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental. Parameter yang digunakan adalah parameter kontrol dan parameter yang diberi perlakuan (treatment). Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat simulasi pengujian seperti pada gambar berikut:



Gambar 1 Alat simulasi pengujian

3.3 Alat dan Bahan yang digunakan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Termometer digital
- b. Solar power meter
- c. Multimeter digital
- d. Generator termoelektrik
- e. Fan ukuran 12 cm x 12 cm
- f. Anemometer

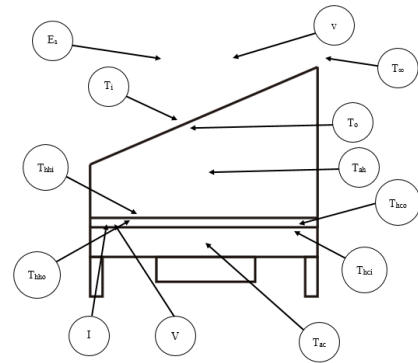
2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah;

- a. Heat sink (300 mm x 120 mm) 18 buah
- b. Acrylic (1200 mm x 2440 mm)
- c. Styrofoam (600 mm x 400 mm) 3 buah
- d. Atap seng (90 cm x 36 cm) 1 buah
- e. Lembaran busa (460 mm x 370 mm)

3.4 Metode pengambilan dan pengumpulan data

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode pengujian percobaan yang dilakukan selama 3 hari. Percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu dengan melakukan percobaan pengambilan data selama 3 hari, dengan hasil akhir mengambil nilai rata-rata daya yang dihasilkan perharinya. Beberapa data yang dicari dalam penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 2 Skema pengambilan data

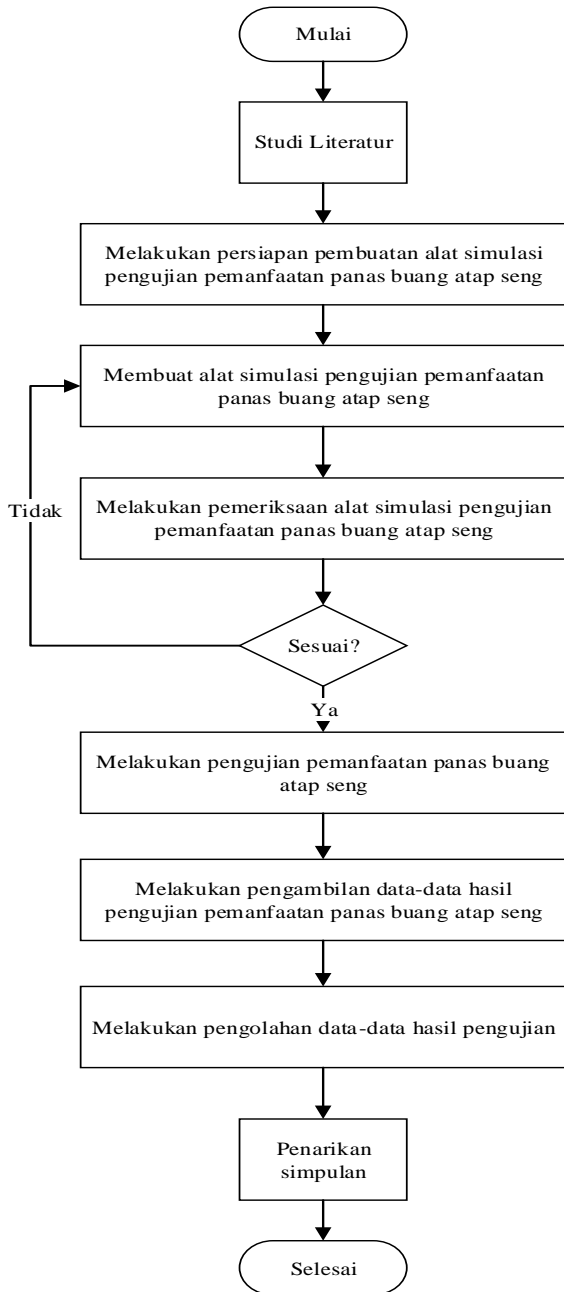
Keterangan:

- t = waktu pengujian
- T_i = temperatur masuk ($^{\circ}\text{C}$)
- T_o = temperatur keluar ($^{\circ}\text{C}$)
- E_s = intensitas radiasi matahari (W/m^2)
- T_{∞} = temperatur lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{ah} = temperatur area bawah atap seng ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{hhi} = temperatur *heatsink* sisi panas masuk ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{hho} = temperatur *heatsink* sisi panas keluar ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{hci} = temperatur *heatsink* sisi dingin masuk ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{hco} = temperatur *heatsink* sisi dingin keluar ($^{\circ}\text{C}$)
- T_{ac} = temperatur area sisi dingin ($^{\circ}\text{C}$)
- V = tegangan (V)
- I = arus (A)
- v = kecepatan angin (m/s)

Proses yang terjadi dalam alat simulasi pengujian dimulai saat intensitas radiasi matahari diserap oleh atap seng. Selanjutnya, energi panas yang diterima oleh atap seng akan ditransmisikan ke area bawah atap seng dan meningkatkan temperatur ruang tersebut. Temperatur pada ruangan tersebut akan diserap oleh *heatsink* dan ditransmisikan kembali ke sisi bawah *heatsink* yang bersentuhan langsung dengan salah satu sisi dari generator termoelektrik yang menyerap energi panas. Disisi lain generator termoelektrik, energi dingin yang diserap berasal dari *heatsink* yang di jaga temperaturnya menggunakan fan dengan kecepatan 5 m/s. Perbedaan temperatur dari kedua sisi generator termoelektrik akan menghasilkan energi listrik berupa tegangan dan arus listrik.

3.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir dalam penelitian ini dibuat untuk mengetahui setiap kegiatan yang dilakukan pada awal hingga akhir penelitian, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 yaitu:



Gambar 3 Diagram alir penelitian

4. Temuan dan Pembahasan

4.1 Temuan

Dalam pengujian ini didapatkan hasil pengolahan data selama tiga hari yang mencakup nilai perbedaan temperatur (ΔT), daya listrik (P), intensitas radiasi matahari yang diserap oleh seng (I_{eff}) dan efisiensi (η) sebagai berikut:

1. Pengolahan data hari pertama

Tabel 3 Pengolahan data hari pertama

No.	ΔT (°C)	I_{eff} (Watt)	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi/ η (%)
1	-0,2	0	0	0
2	-0,6	132,924	0	0
3	-0,4	163,719	0	0
4	0	164,348	0	0
5	0,3	157,906	0,0008	0,00051
6	0,8	168,747	0,0025	0,00148
7	1,4	160,420	0,0037	0,00231
8	1,4	172,989	0,0036	0,00208
9	1,1	166,861	0,0028	0,00168
10	1,8	47,2931	0,0042	0,00888
11	1,2	88,4586	0,0028	0,00317
12	1	141,722	0,0025	0,00176
13	1,1	145,964	0,0025	0,00171
14	1,1	51,6925	0,0029	0,00561
15	0,9	81,7024	0,0025	0,00306
16	1,1	107,627	0,0029	0,00269
17	0,7	101,657	0,0016	0,00157
18	0,9	99,1427	0,0021	0,00212
19	1	61,2768	0,0026	0,00424
20	1	109,670	0,0025	0,00228
21	0,8	51,5354	0,0018	0,00349
22	0,8	102,442	0,0015	0,00146
23	0,8	34,5664	0,002	0,00579
24	0,7	49,4928	0,0017	0,00343
25	0,3	129,153	0,0005	0,00039

2. Pengolahan data hari kedua

Tabel 4 Pengolahan data hari kedua

No.	ΔT (°C)	I_{eff} (Watt)	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi/ η (%)
1	0	0	0	0
2	-1,9	182,259	0	0
3	-0,9	182,259	0	0
4	0	172,989	0	0
5	0,3	188,701	0,0005	0,00026
6	0,3	190,901	0,0006	0,00031
7	0,4	186,187	0,0007	0,00038
8	0,3	186,973	0,0005	0,00027
9	0,7	184,616	0,001	0,00054
10	0,6	191,686	0,0011	0,00057
11	0,5	185,402	0,0008	0,00043
12	1,1	190,901	0,0017	0,00089
13	0,7	195,3	0,0014	0,00072
14	0,7	180,06	0,0012	0,00067
15	0,7	176,289	0,0012	0,00068
16	0,7	173,932	0,0013	0,00075
17	1,3	174,246	0,0023	0,00132
18	1,2	190,901	0,0024	0,00126
19	1,3	178,645	0,0025	0,00139
20	0,8	180,688	0,0015	0,00083
21	1	172,046	0,0019	0,00110
22	1	173,618	0,002	0,00115
23	1,1	168,276	0,0022	0,00131
24	0,8	167,333	0,0018	0,00108
25	1	158,848	0,0021	0,00132

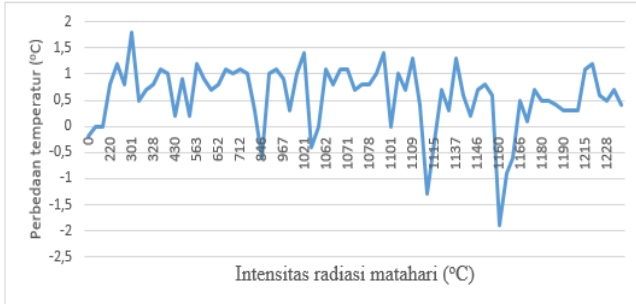
3. Pengolahan data hari ketiga

Tabel 5 Pengolahan data hari ketiga

No.	ΔT (°C)	I_{eff} (Watt)	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi/ η (%)
1	0	0	0	0
2	-1,3	174,717	0	0
3	-0,6	182,573	0	0
4	-0,3	175,189	0	0
5	0,1	184,145	0,0002	0,00011
6	0,2	179,274	0,0004	0,00022
7	0,6	178,645	0,001	0,00056
8	0,5	192,943	0,0009	0,00047
9	0,6	181,788	0,001	0,00055
10	0,4	197,657	0,0006	0,00030
11	0,8	169,375	0,0015	0,00088
12	1,1	167,49	0,0023	0,00137
13	1,2	38,6515	0,0028	0,00724
14	0,8	38,8086	0,0021	0,00541
15	0,5	48,393	0,0014	0,00289
16	0,2	67,5616	0,0002	0,00029
17	0,2	84,6877	0,0003	0,00035
18	0,5	183,202	0,0007	0,00038
19	0,5	185,716	0,0008	0,00043
20	0,3	176,76	0,0005	0,00028
21	0,4	174,403	0,0005	0,00028
22	0,7	168,276	0,0018	0,00106
23	0,9	151,935	0,0016	0,00105
24	1,1	111,869	0,0022	0,00196
25	1	128,053	0,0016	0,00124

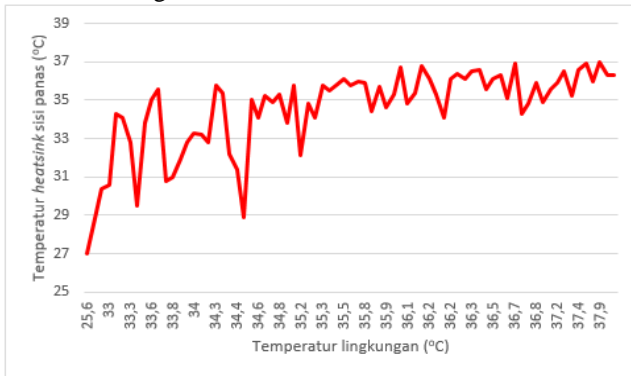
Dari hasil pengolahan data di atas, didapatkan beberapa grafik untuk menggambarkan proses terjadinya pemanfaatan panas buang atap seng, yaitu:

1. Grafik perbandingan antara perbedaan temperatur dengan intensitas radiasi matahari selama tiga hari

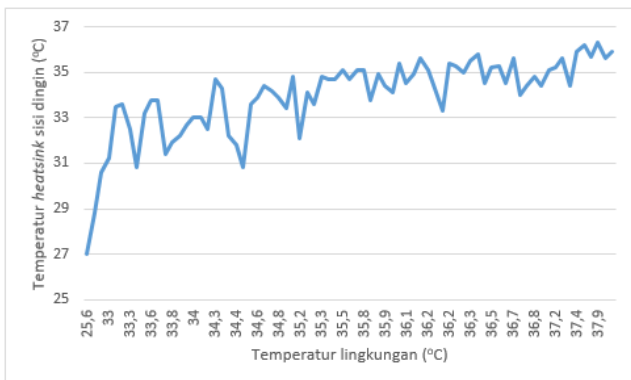


Grafik 1 Grafik perbandingan perbedaan temperatur dengan intensitas radiasi matahari tiga hari

2. Grafik perbandingan temperatur heatsink sisi panas dan sisi dingin dengan temperatur lingkungan selama tiga hari

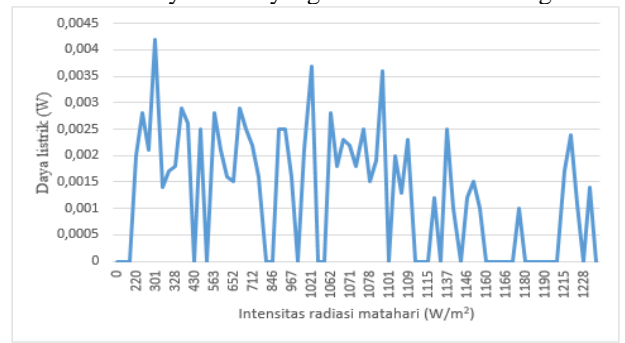


Grafik 2 Grafik perbandingan temperatur heatsink sisi panas dengan temperatur lingkungan



Grafik 3 Grafik perbandingan temperatur heatsink sisi dingin dengan temperatur lingkungan

3. Grafik daya listrik yang dihasilkan selama tiga hari



Grafik 4 Grafik daya listrik yang dihasilkan selama tiga hari

4.2 Pembahasan

Pada gambar 4 yang menggambarkan grafik terkait perbandingan antara intensitas radiasi matahari dengan perbedaan temperatur terdapat sebuah fenomena yang sama yang terjadi. Fenomena tersebut adalah dimana pada intensitas radiasi matahari yang sama namun menghasilkan nilai perbedaan temperatur yang bervariasi. Dari hasil pengamatan dan pengambilan data intensitas radiasi berubah ubah setiap waktunya sebagai akibat dari adanya hambatan intensitas radiasi matahari yang diterima bumi seperti faktor kondisi atmosfer (cuaca, awan dan kecepatan angin), maka dalam pengambilan data setiap 15 menit sekali akan dihasilkan nilai perbedaan temperatur yang bervariasi sebagai akibat dari pengaruh hambatan intensitas radiasi matahari yang pengaruhnya juga berbanding lurus dengan temperatur permukaan bumi. Hal itu juga mempengaruhi oleh nilai resistansi termal atau hambatan panas yang terdapat dalam alat pemanfaatan panas buang atap seng. Hambatan panas tersebut terjadi pada proses perpindahan panas secara konveksi, konduksi dan radiasi pada masing-masing materialnya. Hal ini diperkuat oleh teori perpindahan panas terkait nilai hambatan panas tersebut, hambatan panas untuk dua jenis perpindahan panas adalah sebagai berikut:

$$R_{th,Cond} = \frac{\Delta x}{K.A} \text{ dan } R_{th,Con} = \frac{1}{h.A}$$

Semakin besar nilai hambatan panas maka akan semakin kecil nilai perpindahan panas dari suatu sistem atau material.

Fenomena kedua yang terjadi yaitu pada gambar 5 dan Gambar 6 yang menjelaskan korelasi grafik terkait perbandingan antara beberapa temperatur seperti T_{hbo} dan T_{hco} dengan T_{∞} . Fenomena yang terjadi adalah dimana semakin besar nilai temperatur lingkungan yang dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari maka nilai perbedaan temperatur tidak akan berubah bahkan semakin mengecil. Hal ini dikarenakan pada sisi dingin menggunakan fan dengan kecepatan udara yang dihasilkan sebesar 5 m/s yang sumber udaranya berasal

dari lingkungan, semakin tinggi intensitas radiasi matahari maka temperatur lingkungan akan meningkat dan menimbulkan efek meningkatkannya juga temperatur pada sisi dingin. Hal ini dapat dibuktikan dengan menggunakan rumus perpindahan panas secara konveksi yaitu:

$$q = h \cdot A \cdot (T_w - T_\infty)$$

Kedua fenomena tersebut yang menyebabkan daya listrik dan efisiensi pemanfaatan panas buat atap seng sangat kecil.

Gambar 7 menunjukkan daya listrik yang dihasilkan dari proses pemanfaatan panas buang atap seng. Daya listrik yang dihasilkan mengacu pada perbedaan temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Semakin besar nilai perbedaan temperatur yang dihasilkan antara area panas dan dingin, maka akan semakin besar daya listrik yang dapat dihasilkan.

5. Simpulan dan Saran

5.1 Simpulan

1. Energi panas buang atap seng terbukti dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi listrik terbarukan.
2. Daya listrik dari hasil pemanfaatan energi panas buang yang dihasilkan selama 3 hari dari hasil penelitian rata rata adalah 0,0042 Watt. Efisiensi tertinggi yang didapatkan dari hasil pemanfaatan adalah 0,00888 %.

5.2 Saran

1. Dalam proses pemanfaatan panas buang pada alat simulasi yang menyebabkan nilai daya listrik dan efisiensi yang rendah adalah hambatan panas. Dengan kata lain, dalam penelitian selanjutnya diusahakan agar nilai hambatan panas dibuat seminimum mungkin.

2. Diperlukan pengganti heatsink sebagai media penyerap panas, dengan tujuan agar panas yang diserap lebih tinggi.
3. Untuk menghasilkan daya listrik yang besar, diperlukan nilai ΔT yang besar. Oleh karena itu dibutuhkan media pendingin pada sisi generator termoelektrik sisi dingin dengan variabel lain.

Kepustakaan

- [1] "Hotspot bukan berarti firespot, bisa jadi panas dari atap seng," *Detik.com*, Oct-2015.
- [2] "Inilah cara meredam panas atap seng dengan sederhana," *Pesonarumah.com*, 2018.
- [3] A. Pudjanarsa and D. Nursuhud, *Mesin Konversi Energi*, Edisi 3. Yogyakarta: ANDI, 2013.
- [4] W. A. Nandar, *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta: PT Pradya Paramita, 1995.
- [5] C. Elango, N. Gunasekaran, and K. Sampathkumar, "Thermal models of solar still — A comprehensive review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 47, pp. 856–911, 2015.
- [6] M. Khalid, M. Syukri, and M. Gapy, "Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik," vol. 1, no. 3, pp. 57–62, 2016.
- [7] A. Trisasmita and C. Rangkuti, "Potensi pemanfaatan sumber panas pada combustion chamber," pp. 7–14, 2017.
- [8] M. Latif, N. Hayati, and U. G. S. Dinata, "Potensi Energi Listrik Pada Gas Buang Sepeda Motor," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 11, no. 5, p. 163, 2015.
- [9] D. Patil and R. R. Arakerimath, "A Review of Thermoelectric Generator for Waste Heat Recovery from Engine Exhaust," vol. 1, no. 8, pp. 1–9, 2013.
- [10] A. Jacks, D. Balaji, and D. Gowrishankar, "Waste heat energy harvesting using thermo electric generator," vol. 3, no. 7, pp. 1–4, 2013.
- [11] M. G. Jadhav and J. S. Sidhu, "Design and Fabrication of Silencer Waste Heat Power Generation System Using Thermo-Electric Generator," vol. 7, no. 1, pp. 1–14, 2017.
- [12] J. Holman, "Heat Transfer," *Mc Graw Hill*, 2010.
- [13] B. Mismail, *Rangkaian Listrik*, Jilid Pert. Bandung: ITB Bandung, 1995.
- [14] M. W. Zemansky and F. W. Sears, *Fisika untuk Universitas 2 Listrik dan Magnet*. Bandung: Binacipta, 1986.