

Perencanaan Dan Pembuatan Pembangkit Listrik Panas Sinar Matahari menggunakan *thermoelectric Cooler* (TEC) dengan Media Penyimpan Panas Batu Granit

Dedy Hernady dan Mohammad Azis Mahardika

Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknologi Nasional Itenas Bandung

Jl. PHH. Mustafa No.23 Bandung 40124

e-mail : dedyhernady@itenas.ac.id

e-mail : m.aziz.mahardika@itenas.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini akan diteliti proses kebalikan dari suatu thermoelectric cooler (TEC) yang merupakan pompa kalor jika dialiri arus listrik. Jika permukaan thermoelectric cooler (TEC) diberi panas, berapa arus yang dihasilkan dan ingin diketahui berapa energi panas yang harus diberikan untuk menghasilkan arus listrik maksimum. Thermoelectric cooler (TEC) yang digunakan pada penelitian ini adalah TEC 12706 dengan jumlah 5 buah yang dipasang seri dan paralel. Energi panas yang digunakan memanfaatkan panas sinar matahari yang disimpan pada batu granit dengan cara memanaskan batu granit tersebut dengan dua metode. Metode pertama batu granit dan TEC disimpan dalam sebuah kotak acrylic metode kedua batu granit dan TEC disimpan di udara terbuka. Hasil dari penelitian ini di dapat untuk TEC yang di pasang seri dan disimpan dalam kotak acrylic temperatur batu granit 78,3 °C, tegangan 1,2 V, arus 2,08 mA efisiensi 5% dan yang disimpan di udara terbuka temperatur batu granit 58,2 °C, tegangan 0,5 V, arus 0,80 mA efisiensi 4,8% untuk TEC yang di pasang paralel dan disimpan dalam kotak acrylic temperatur batu granit 77,7 °C, tegangan 0,23 V, arus 8,40 mA efisiensi 3,8% dan yang disimpan di udara terbuka temperatur batu granit 55 °C, tegangan 0,04 V, arus 1,71 mA efisiensi 5%.

Kata kunci: thermoelectric cooler, TEC, batu granito, pembangkit listrik tenaga surya., Seminar Nasional, ITENAS

1. Pendahuluan

Saat ini cadangan energi yang bersumber dari minyak bumi dan gas alam semakin lama semakin menipis. Karena hampir semua kehidupan manusia tergantung dari sumber energi berupa minyak bumi ataupun gas baik sebagai sumber energi untuk kendaraan bermotor, tenaga listrik dan lain sebagainya. Dan masalah yang utama dari penggunaan energi tersebut adalah sumber energi dari minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak terbarukan artinya setelah habis maka sumber energi tersebut tidak bisa dihasilkan lagi walaupun bisa membutuhkan waktu ratusan bahkan ribuan tahun lagi.

Untuk mengatasi masalah tersebut sekarang banyak orang melakukan penelitian untuk mencari pengganti energi yang bersumber dari minyak bumi tersebut. Salah satunya adalah penggunaan energi surya atau energi matahari. Di Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa sinar matahari sangat berlimpah karena hampir 14 jam sinar matahari bersinar terus menerus. Bandingkan dengan negara-negara lain di mana sinar matahari sangat minim. Oleh sebab itu penggunaan energi surya atau energi matahari di Indonesia sangat cocok sekali, tinggal dicari cara bagaimana memanfaatkan energi matahari tersebut secara maksimal.

Pemanfaatan energi matahari yang umum digunakan adalah dengan menggunakan sel surya di mana sinar matahari di konversi menjadi energi listrik. Metode lainnya adalah memanfaatkan panas sinar matahari untuk memanaskan air melalui sistem pengumpul energi panas dan dipakai untuk

memanaskan air. Salah satu metode yang memanfaatkan panas sinar matahari adalah menggunakan *Thermoelectric cooler* (dapat dilihat pada Gambar 1) untuk menghasilkan listrik. *Thermoelectric cooler* atau disingkat TEC sebenarnya adalah salah satu komponen elektronika yang menggunakan efek Peltier untuk membuat aliran panas (*heat flux*) pada sambungan (*junction*) antara dua jenis material yang berbeda [6].



Gambar 1. *Thermoelectric cooler* (TEC)

Komponen ini bekerja sebagai pompa panas aktif dalam bentuk padat yang memindahkan panas dari satu sisi ke sisi permukaan lainnya yang berseberangan, dengan konsumsi energi listrik tergantung pada arah aliran arus listrik. Komponen ini dikenal dengan nama *Peltier device*, *Peltier heat pump*, *solid state refrigerator*, atau *thermoelectric cooler* (TEC) [2].

Walaupun namanya adalah "pendingin" (*cooler*) sesuai dengan aplikasi utamanya, TEC dapat juga digunakan sebagai pemanas dengan cara membalik penempatan komponen elektronika ini. Dengan demikian, TEC dapat digunakan sebagai alat pengontrol temperatur (bisa jadi pendingin atau sebaliknya pemanas). Atau TEC dapat juga dipakai sebagai generator pembangkit listrik dengan cara "dibalik", yaitu dengan memberi panas pada sisi permukaannya maka arus listrik akan dihasilkan pada kedua kutubnya.

Penelitian tentang *thermoelectric cooler* telah dilakukan sebelumnya antara lain oleh Eakburanawat, J dan Boonyaroonate I, 2006 [3] dengan mengembangkan alat untuk mencharger baterai menggunakan *thermoelectric cooler* (TEC) dan menghasilkan daya 7,99 W. Penelitian berikutnya dilakukan oleh R.Y. Nuwayhid dan R. Hamade, 2005 [9] dengan menggunakan sumber panas tungku api tradisional yang dipakai oleh rakyat Lebanon, pada penelitian ini TEC menghasilkan daya 4,2 Watt. Nandy Putra, dkk, 2009 [8] melakukan penelitian dengan menggunakan 12 modul *thermoelectric generator* (TEG) dengan sumber panas dari panas gas buang kendaraan bermotor. Hasil pengujian menghasilkan daya output maksimum mencapai 8,11 Watt dengan perbedaan temperatur rata-rata 42,82 °C. Penelitian *thermoelectric* lainnya dilakukan oleh Sugiyanto, dkk, 2009 [12] dengan *thermoelectric generator* tipe TEG 127-40A dan TEG 126-40A dan sumber panas menggunakan kompor gas LPG. Dari hasil penelitian didapat untuk TEG 127-40A nilai tegangan dan arus mencapai 2.69 V, 0.12 A dan untuk TEG 126-40A nilai tegangan dan arus mencapai 3.77 V dan 0,39 A. Andrapica G, dkk, 2009 [1] melakukan penelitian menggunakan dua buah tipe modul *thermoelectric*, tipe TEC 12706 dan TEG SP 1848 dengan tegangan input 60 V sebagai sumber energi sisi panas (*heater*). Sisi dingin modul *thermoelectric* menggunakan air bertemperatur 10 °C dengan laju aliran 16,6 liter/menit. Daya maksimum yang dihasilkan *thermoelectric* tipe TEC 12706 pada pengujian 1,2,3 dan 4 buah modul *thermoelectric* adalah sebesar 0,007 W, 0,018 W, 0,061 W, dan 0,105 W. Sedangkan dengan menggunakan modul TEG SP 1848 daya maksimum yang dihasilkan pada pengujian yang sama adalah sebesar 0,125 W, 0,141 W, 0,274 W dan 0,357 W. Penelitian Rafika, H, dkk, 2016 [10] menggunakan *thermoelectric* sebanyak empat buah dengan tipe TEC 12706 dan tipe TEG SP 1848. Sumber panas disimulasikan dengan menggunakan *heater* tegangan 60 volt, sedangkan sisi pendinginan menggunakan fan kecepatan 3,5 m/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *thermoelectric* tipe TEG SP 1848 menghasilkan daya maksimum 0,055 W, arus 0,279 A, sedangkan tipe TEC 12706 menghasilkan daya maksimum 0,109 W arus 0,147 A.

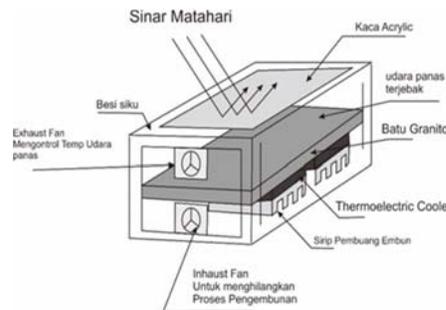
2. Metodologi

Metodologi penelitian yang dilaksanakan dalam proses penelitian ini terdiri dari dua tahap yaitu proses pembuatan alat pengumpul panas sinar matahari dan pengujian serta analisis energi listrik yang dihasilkan.

- a. Bahan yang diperlukan
 1. Alat dan bahan yang digunakan
 2. *Thermoelectric Cooler* (TEC) Type 12706
 3. Batu Granit (disebut juga Batu Granito yang biasa dipakai untuk alat pemanggang makanan)
 4. Kaca *Acrylic*
 5. Besi Siku dan Plat 1 – 2 mm
 6. Thermometer digital

- b. Rancangan awal

Rancangan awal pengumpul panas sinar matahari dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Rancangan Awal Pengumpul Panas Sinar Matahari

- c. Perakitan alat pengujian

Proses pembuatan alat dilaksanakan di Laboratorium Teknik Produksi Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung. Alat pengujian yang direncanakan yang sudah selesai dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini,



Gambar 3. Perakitan Alat

- d. Pengujian dan pengumpulan data

1. Setelah alat pengumpul panas sinar matahari sudah selesai dibuat maka dilakukan tes untuk mengetahui temperatur maksimal yang terjadi pada satu buah batu granit.
2. Pengujian dilakukan dengan dua metode di mana batu granit disimpan dalam kotak *acrylic* tersebut. Kotak *acrylic* dibuat untuk menjebak udara panas yang dipanaskan oleh sinar matahari (efek rumah kaca) dapat dilihat pada Gambar 4.a. Metode kedua batu granit dipanaskan langsung di bawah sinar matahari udara yang mengalir melalui batu granit adalah udara dengan temperatur lingkungan (Gambar 4.b).



(a)



(b)

Gambar 4. Metode penyimpanan batu granit

(a). disimpan dalam kotak acrylic (b). disimpan di ruang terbuka

3. *Thermoelectric cooler* dipasang pada batu permukaan batu granit tersebut untuk mengetahui arus listrik yang dihasilkan.
4. Kemudian dilakukan variasi besar temperatur pada alat pengumpul panas sinar matahari untuk mengetahui arus listrik maksimal yang dihasilkan. Variasi besar temperatur berdasarkan waktu matahari dari pagi sampai sore hari.
5. Dilakukan juga variasi penambahan *thermoelectric coller* yang dipasang secara seri dan paralel untuk menghasilkan arus dan voltase maksimum terbaik.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian di dapat data-data tegangan dan arus listrik yang dihasilkan. Data-data tersebut telah ditabelkan di bawah ini.

Tabel 1.
Tegangan dan Arus listrik yang dihasilkan 5 buah
TEC (Thermoelectric Cooler) yang dipasang seri disimpan
dalam kotak acrylic

No	Waktu	T _{Lingk} (°C)	T _{TK} (°C)	T _{Batu} (°C)	Tegangan V	Arus A	Kondisi Cuaca
1.	08.00 – 09.00	30,0	39,2	61,6	0,48	1,50	cerah
2.	09.00 – 10.00	30,0	42,0	67,5	0,75	1,80	cerah
3.	10.00 – 11.00	30,0	46,3	70,9	1,11	2,04	cerah
4.	11.00 – 12.00	30,0	47,5	76,7	1,16	2,06	cerah
5.	12.00 – 13.00	31,0	48,1	78,3	1,20	2,08	cerah
6.	13.00 – 14.00	32,0	46,8	71,1	1,08	2,01	cerah
7.	14.00 – 15.00	31,0	38,5	54,9	1,29	1,02	cerah
8.	15.00 – 16.00	31,0	34,4	43,5	0,45	1,26	cerah
9.	16.00 – 17.00	30,0	32,0	36,6	0,42	1,35	cerah

Tabel 2
Tegangan dan Arus listrik yang dihasilkan 5 buah
TEC (Thermoelectric Cooler) yang dipasang seri disimpan
di udara terbuka

No	Waktu	T _{Lingk} (°C)	T _{Batu} (°C)	Tegangan V	Arus A	Kondisi Cuaca
1.	08.00 – 09.00	30,0	46,0	0,14	0,06	Cerah
2.	09.00 – 10.00	30,0	50,6	0,28	0,18	Cerah
3.	10.00 – 11.00	31,0	55,3	0,30	0,70	Cerah
4.	11.00 – 12.00	31,0	57,3	0,41	0,80	Cerah

5.	12.00 – 13.00	31,0	58,2	0,50	0,63	Cerah
6.	13.00 – 14.00	30,0	37,4	0,16	0,11	Cerah
7.	14.00 – 15.00	30,0	37,0	0,12	0,10	Cerah
8.	15.00 – 16.00	29,4	33,7	0,06	0,08	Cerah
9.	16.00 – 17.00	29,0	30,1	0,04	0,03	Cerah

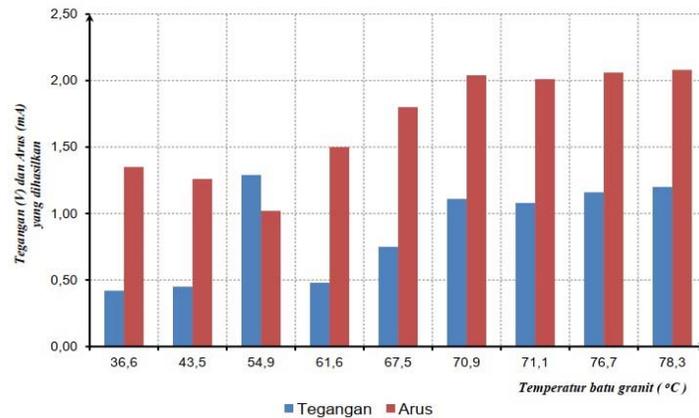
Tabel 3
Tegangan dan Arus listrik yang dihasilkan 5 buah
TEC (Thermoelectric Cooler) yang dipasang paralel disimpan
dalam kotak acrylic

No	Waktu	T _{Lingk} (°C)	T _{RK} (°C)	T _{Batu} (°C)	Tegangan V	Arus A	Kondisi Cuaca
1.	08.00 – 09.00	30,0	42,0	53,3	0,08	4,54	Cerah
2.	09.00 – 10.00	30,0	48,3	67,4	0,15	6,58	Cerah
3.	10.00 – 11.00	31,0	50,1	76,4	0,19	7,50	Cerah
4.	11.00 – 12.00	31,0	50,6	77,7	0,23	8,40	Cerah
5.	12.00 – 13.00	30,0	49,7	69,8	0,20	7,60	Cerah
6.	13.00 – 14.00	30,0	41,1	61,6	0,15	5,20	Cerah
7.	14.00 – 15.00	30,0	36,1	44,1	0,13	5,37	Cerah
8.	15.00 – 16.00	30,0	40,0	40,8	0,06	3,88	Cerah
9.	16.00 – 17.00	29,0	39,4	36,7	0,03	2,13	Cerah

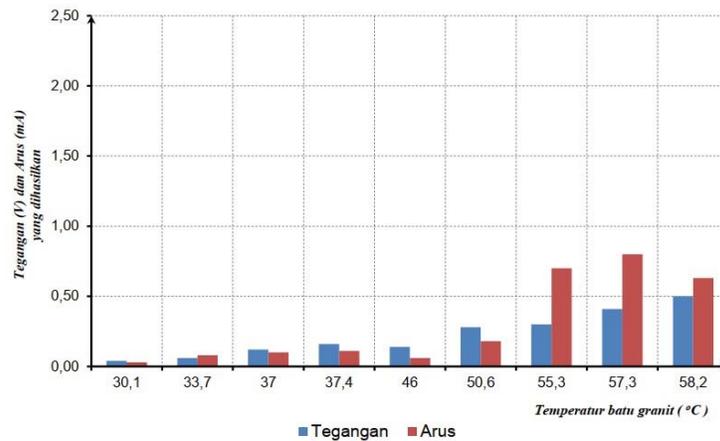
Tabel 4
Tegangan dan Arus listrik yang dihasilkan 5 buah
TEC (Thermoelectric Cooler) yang dipasang paralel disimpan
di udara terbuka

No	Waktu	T _{Lingk} (°C)	T _{Batu} (°C)	Tegangan V	Arus A	Kondisi Cuaca
1.	08.00 – 09.00	30,0	49,1	0,05	1,21	Cerah
2.	09.00 – 10.00	30,0	49,3	0,07	1,95	Cerah
3.	10.00 – 11.00	30,0	49,9	0,08	2,42	Cerah
4.	11.00 – 12.00	31,0	55,0	0,01	4,06	Cerah
5.	12.00 – 13.00	30,0	42,0	0,03	0,67	Cerah
6.	13.00 – 14.00	30,0	42,8	0,04	1,71	Cerah
7.	14.00 – 15.00	28,0	29,5	0,04	1,43	Cerah
8.	15.00 – 16.00	28,0	29,0	0,02	1,14	Cerah
9.	16.00 – 17.00	28,0	28,4	0,01	1,14	Cerah

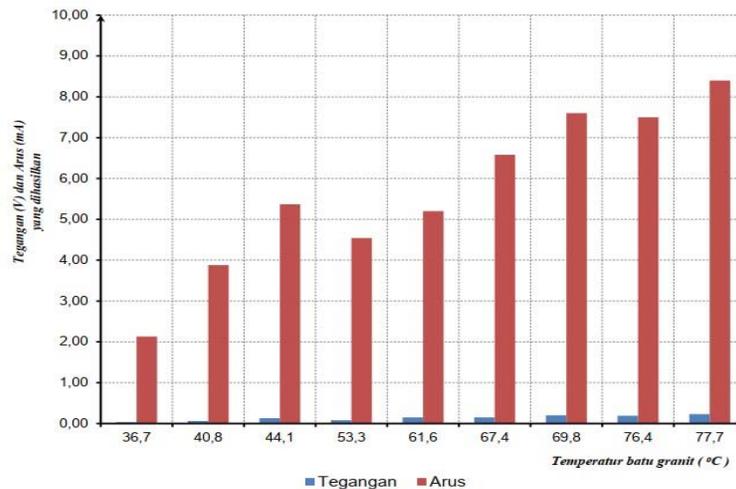
Berdasarkan tabel di atas dapat dibuat grafik untuk mengetahui karakteristik panas yang terjadi pada batu granit dan tegangan yang dihasilkan oleh *thermoelectric cooler* (TEC). Berikut di tampilkan beberapa grafik berdasarkan tabel di atas.



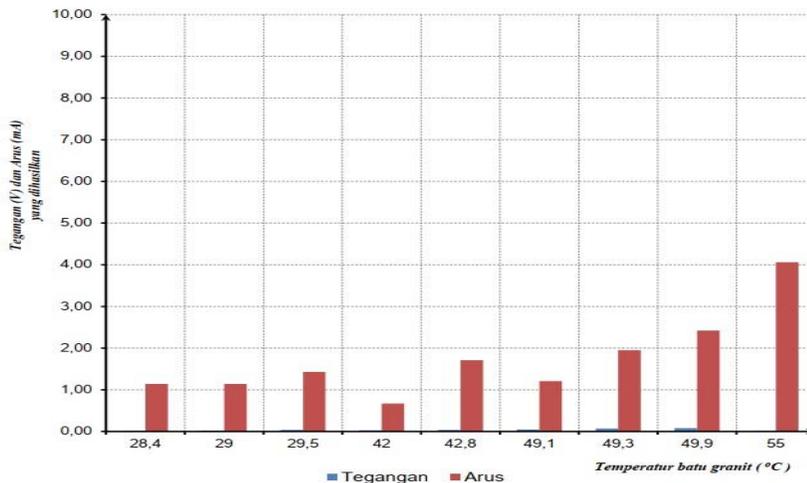
Grafik 1. Grafik Tegangan (V) dan Arus (mA) yang dihasilkan TEC yang dipasang seri dan ditempatkan dalam kotak *acrylic*



Grafik 2. Grafik Tegangan (V) dan Arus (mA) yang dihasilkan TEC yang dipasang seri dan ditempatkan di udara terbuka



Grafik 3. Grafik Tegangan (V) dan Arus (mA) yang dihasilkan TEC yang dipasang paralel dan ditempatkan dalam kotak *acrylic*



Grafik 4. Grafik Tegangan (V) dan Arus (mA) yang dihasilkan TEC yang dipasang paralel dan ditempatkan di udara terbuka

Berdasarkan data-data di atas dapat dilakukan analisis sebagai berikut,

Pada grafik 1 dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur batu granit maka tegangan dan arus yang dihasilkan semakin tinggi. Pada batu granit dan 5 buah *thermoelectric cooler* (TEC) yang dipasang secara seri dan disimpan dalam kotak *acrylic* untuk temperatur batu granit 78,3 °C tegangan yang dihasilkan adalah 1,2 Volt dan arus yang dihasilkan 2,08 mA. Hal yang perlu diketahui bahwa temperatur batu granit yang mencapai 78,3 °C diperoleh pada jam 12.00 – 13.00 yaitu pada saat matahari bersinar dengan terik. Kemudian seiring bertambahnya waktu menuju sore hari temperatur batu granit mengalami penurunan.

Pada grafik 2 pengujian dilakukan dengan cara menempatkan batu granit dan 5 buah TEC di udara terbuka. Fenomena yang terjadi sama dengan fenomena batu granit dan TEC yang disimpan dalam kotak *acrylic* yaitu semakin tinggi temperatur batu granit maka tegangan dan arus yang dihasilkan semakin tinggi. Meskipun tegangan dan arus yang dihasilkan tidak sebesar jika batu granit dan *thermoelectric cooler* (TEC) disimpan dalam kotak *acrylic*. Pada pengujian dengan metoda udara terbuka tegangan maksimum yang dihasilkan yaitu 0,5 Volt pada temperatur batu granit 58,2 OC dan arus maksimum yang dihasilkan sebesar 0,80 mA pada temperatur batu granit 57,3 OC.

Pada grafik 3 pengujian dilakukan dengan cara memasang 5 buah *thermoelectric cooler* (TEC) secara paralel pada batu granit dan batu granit dan TEC tersebut ditempatkan dalam kotak *acrylic* tertutup. Tegangan maksimum yang dihasilkan 0,23 Volt dan arus maksimum yang dihasilkan 8,40 mA pada temperatur batu granit 77,7 °C.

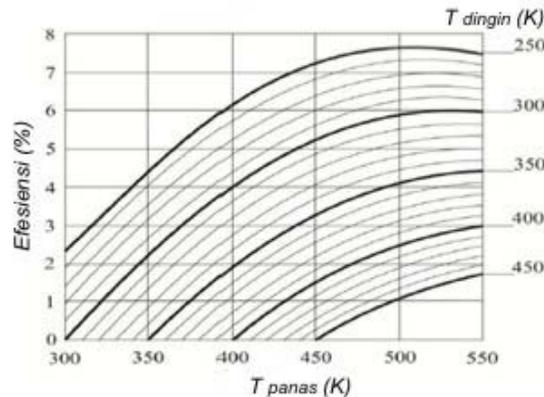
Pada grafik 4 pengujian dilakukan dengan cara memasang 5 buah *thermoelectric cooler* (TEC) secara paralel pada batu granit dan batu granit dan TEC tersebut ditempatkan di udara terbuka. Tegangan maksimum yang dihasilkan 0,04 Volt dan arus maksimum yang dihasilkan 1,71 mA pada temperatur batu granit 42,8 °C.

Dari metode penyimpanan batu granit dan TEC yaitu pertama di simpan di dalam kotak *acrylic* dan kedua disimpan di udara terbuka terdapat perbedaan hasil di mana temperatur batu granit yang disimpan dalam kotak *acrylic* lebih tinggi daripada metode kedua yaitu disimpan di udara terbuka. Temperatur yang lebih tinggi tersebut tentu berpengaruh pada tegangan dan arus yang dihasilkan. Penyebab dari tingginya temperatur pada batu granit yang disimpan dalam kotak *acrylic* adalah adanya efek rumah kaca di mana sinar matahari masuk dan memanaskan udara dalam kotak

acrylic tersebut namun udara tersebut terjebak tidak bisa keluar sehingga temperatur dalam ruang kotak acrylic meningkat,

Prinsip kerja *thermoelectric* adalah menghasilkan gaya gerak listrik dengan cara memanaskan dua buah konduktor yang berbeda disebut Efek Seebeck dan bisa kebalikannya yaitu jika arus listrik dialirkan terjadi penyerapan panas dan pelepasan panas pada sambungan kedua logam tersebut yang disebut Efek Peltier maka untuk menghasilkan tegangan listrik maksimum harus ada perbedaan temperatur yang cukup besar diantara kedua sambungan logam tersebut.

Perhitungan efisiensi Peltier untuk metode penyimpanan batu granit berikut TEC yaitu disimpan dalam kotak *acrylic* tertutup dan disimpan di udara terbuka dapat dihitung berdasarkan grafik hasil penelitian dari J. Richard Buist and Paul G. Lau [2] dapat dilihat pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik efisiensi maksimum Peltier (J. Richard Buist and Paul G. Lau, 1997 [2])

Untuk *thermoelctric cooler* (TEC) yang dipasang secara seri dan disimpan dalam kotak *acrylic*.

Diketahui :

- T panas (T batu granit) maksimum = 78,3 °C (351,3 K)
- T dingin (T ruangan kotak) = 48,1 °C (321,1 K)
- Dari grafik pada gambar 6 di atas diperoleh efisiensi sekitar 5 %

Untuk *thermoelctric cooler* (TEC) yang dipasang secara paralel dan disimpan dalam kotak *acrylic*,

Diketahui :

- T panas (T batu granit) maksimum = 77,7 °C (350,7 K)
- T dingin (T ruangan kotak) = 50,6 °C (323,6 K)
- Dari grafik pada gambar 6 di atas diperoleh efisiensi sekitar 3,8 %

Untuk *thermoelctric cooler* (TEC) yang dipasang secara seri dan disimpan di ruang terbuka,

Diketahui :

T panas (T batu granit) maksimum = 58,2 °C (331,2 K)
T dingin (T lingkungan) = 31,0 °C (304 K)

Dari grafik pada gambar 6 diatas diperoleh efisiensi sekitar 4,8 %

Untuk *thermoelctric cooler* (TEC) yang dipasang secara paralel dan disimpan di ruang terbuka

Diketahui :

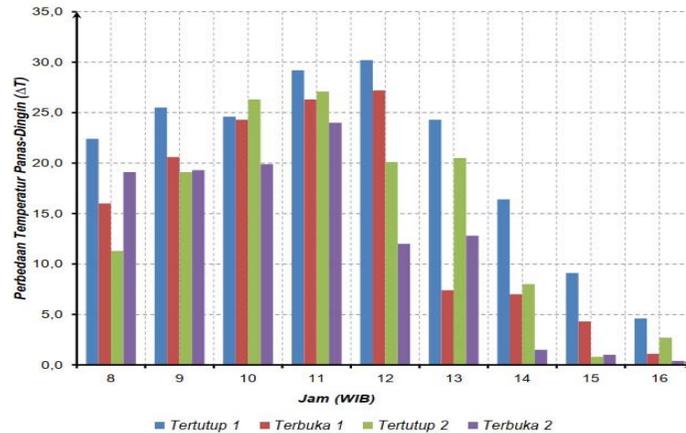
T panas (T batu granit) maksimum = 55,0 °C (328 K)
T dingin (T lingkungan) = 31,0 °C (304 K)

Dari grafik pada gambar 6 di atas diperoleh efisiensi sekitar 5 %

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa nilai efisiensi tidak terpengaruh oleh tegangan dan arus yang dihasilkan melainkan oleh perbedaan temperatur pada kedua sisi *thermoelectric cooler*

(TEC) tersebut. Perbandingan perbedaan temperatur (ΔT) kedua sisi *thermoelectric cooler* (TEC) yang disimpan dalam kotak dengan yang disimpan dalam udara terbuka telah di buat grafik seperti yang terlihat pada grafik 5.

Dari grafik dapat terlihat bahwa untuk *thermoelectric cooler* (TEC) yang disimpan dalam kotak *acrylic* ternyata perbedaan atau selisih temperatur panas dan temperatur dingin (ΔT) ternyata lebih tinggi dari pada *thermoelectric cooler* yang disimpan di ruang terbuka. Hal ini tentu saja ikut mempengaruhi nilai efisiensi pembangkitan tegangan dan arus listrik oleh *thermoelectric cooler* (TEC) tersebut.



Grafik 5. Perbedaan temperatur panas dan temperatur dingin (ΔT)
Pada kedua sisi *thermoelectric cooler* (TEC)

Besarnya arus yang dihasilkan pada perhitungan di atas adalah perhitungan untuk 5 buah *thermoelectric cooler* yang dirangkai secara seri dan paralel. Berdasarkan hukum fisika bahwa sumber tegangan listrik yang dipasang seri akan menghasilkan tegangan listrik dikalikan dengan jumlah sumber tegangan listrik yang dipakai sedangkan arusnya tetap. Sedangkan untuk sumber listrik yang dipasang paralel tegangannya tetap tetapi arusnya dikalikan dengan jumlah sumber arus listrik tersebut (Zuhail, 1991) [13], (Fitzgerald. A.E, 1992) [5].

Banyaknya kalor yang diserap oleh *thermoelectric cooler* dapat dihitung sebagai berikut

$$E = \frac{I \times V}{Q_{hot}} \quad (1)$$

Banyaknya kalor yang masuk (Q_{hot}) dapat di tentukan yaitu :

$$Q_{hot} = \frac{I \times V}{E} \quad (2)$$

- a. Untuk *thermoelectric cooler* (TEC) yang dipasang secara seri dan disimpan dalam kotak acrylic

Diketahui

$$V = 1,20 \text{ Volt}$$

$$I = 0,00208 \text{ Ampere}$$

$$E = 5 \%$$

Maka kalor yang diserap adalah

$$Q_{hot} = \frac{0,00208 \times 1,2}{0,05}$$

$$= 0,04992 \text{ Watt (49,92 mW)}$$

- b. Untuk *thermoelectric cooler* (TEC) yang dipasang secara seri dan disimpan di ruang terbuka

Diketahui

$$V = 0,50 \text{ Volt}$$

$$I = 0,00080 \text{ Ampere}$$

$$E = 4,8 \%$$

Maka kalor yang diserap adalah

$$Q_{hot} = \frac{0,00080 \times 0,5}{0,048}$$

$$= 0,00833 \text{ Watt (8,33 mW)}$$

- c. Untuk *thermoelectric cooler* (TEC) yang dipasang secara paralel dan disimpan dalam kotak *acrylic*

Diketahui

$$V = 0,23 \text{ Volt}$$

$$I = 0,00804 \text{ Ampere}$$

$$E = 3,8 \%$$

Maka kalor yang diserap adalah

$$Q_{hot} = \frac{0,00804 \times 0,23}{0,038}$$

$$= 0,04866 \text{ Watt (48,66 mW)}$$

- d. Untuk *thermoelectric cooler* (TEC) yang dipasang secara paralel dan disimpan di ruang terbuka

Diketahui

$$V = 0,04 \text{ Volt}$$

$$I = 0,00171 \text{ Ampere}$$

$$E = 5 \%$$

Maka kalor yang diserap adalah

$$Q_{hot} = \frac{0,00171 \times 0,04}{0,05}$$

$$= 0,00137 \text{ Watt (1,37 mW)}$$

Panas yang diserap oleh batu granit merupakan panas radiasi dan dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut (JP. Holman, 1990) [7].

Kalor yang diserap persatuan waktu

$$Q = e \cdot \sigma \cdot A (T_2^4 - T_1^4) \quad (3)$$

- a. Untuk kondisi batu granit dan *thermoelectric cooler* (TEC) disimpan dalam kotak *acrylic*
Dimana

$$e = \text{emisivitas benda (untuk batu granit } 0,85)$$

(Nurul Ihsan Fawzi, 2014) [4].

$$\sigma = \text{konstanta Stefan-Boltzman } 5,67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{K}^4)$$

$$A = \text{Luas area batu granit}$$

$$= 0,8 \text{ m} \times 0,15 \text{ m}$$

$$= 0,12 \text{ m}^2$$

$$T_2 = 78,3 \text{ }^\circ\text{C (351,3 K)}$$

$$T_1 = 48,1 \text{ }^\circ\text{C (321,1 K)}$$

Jadi kalor yang diserap

$$Q = 0,85 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 0,12 \times ((351,3)^4 - (321,1)^4)$$

$$= 26,60 \text{ Watt}$$

- b. Untuk kondisi batu granit dan *thermoelectric cooler* (TEC) disimpan di ruang terbuka

$$T_2 = 58,2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (} 331,2 \text{ K)}$$

$$T_1 = 31,0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (} 304 \text{ K)}$$

Jadi kalor yang diserap

$$Q = 0,85 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 0,12 \times ((331,2)^4 - (304)^4) \\ = 20,36 \text{ Watt}$$

Kalor yang dipancarkan batu granit diterima oleh *thermoelectric cooler* (TEC) sesuai dengan luas area *thermoelectric cooler* (TEC) tersebut

$$R = Q \times A \quad (4)$$

- a. Untuk kondisi batu granit dan *thermoelectric cooler* (TEC) disimpan dalam ruang *acrylic* Diketahui

$$Q = 26,60 \text{ Watt}$$

$$A = \text{Luas area TEC (untuk satu TEC ukuran } 4 \times 4 \text{ cm)} \\ = 16 \text{ cm}^2 \text{ (} 0,0016 \text{ m}^2)$$

Jadi energi yang dipancarkan

$$R = 26,60 \times 0,0016 \\ = 0,04256 \text{ Watt (} 42,56 \text{ mW)}$$

- b. Untuk kondisi batu granit dan *thermoelectric cooler* (TEC) disimpan di ruang terbuka

$$Q = 20,36 \text{ Watt}$$

Jadi energi yang dipancarkan

$$R = 20,36 \times 0,0016 \\ = 0,03257 \text{ Watt (} 32,57 \text{ mW)}$$

Berdasarkan uraian di atas dapat diketahui bahwa energi yang hilang atau tidak terserap sepenuhnya terjadi pada kondisi di mana *thermoelectric cooler* (TEC) disimpan di udara terbuka. Hal ini dipengaruhi oleh hembusan angin yang ikut menurunkan permukaan batu granit dan TEC nya.

4. Kesimpulan dan Saran

- Pembangkit listrik menggunakan *thermoelectric cooler* (TEC) dipengaruhi oleh perbedaan temperatur panas dan temperatur dingin (ΔT) pada kedua permukaan sisinya.
- Semakin tinggi harga ΔT maka tegangan yang dihasilkan akan semakin tinggi atau efisiensinya juga semakin tinggi,
- Penempatan *thermoelectric cooler* (TEC) lebih baik di pasang pada sebuah kotak tembus pandang untuk menjebak udara panas yang dipanaskan oleh sinar matahari (efek rumah kaca).
- Penempatan *thermoelectric cooler* (TEC) di udara terbuka nilai efisiensinya lebih kecil karena ada beberapa faktor yang mempengaruhinya terutama hembusan angin yang menurunkan harga ΔT nya.
- Perbedaan temperatur panas-dingin (ΔT) pada alat yang dipakai pada pengujian ini adalah
 - Untuk penempatan TEC dan batu granit di dalam kotak *acrylic*
 - Pengujian 1 = $30,2 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - Pengujian 2 = $27,2 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - Untuk penempatan TEC dan batu granit di ruang terbuka
 - Pengujian 1 = $27,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
 - Pengujian 2 = $24,0 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Tegangan maksimum yang dihasilkan (dipasang seri) adalah 1,2 Volt kondisi di mana TEC dan batu granit disimpan dalam kotak *acrylic*. Untuk penempatan TEC dan batu granit disimpan di udara terbuka tegangan maksimum yang dihasilkan adalah 0,5 Volt.

7. Tegangan maksimum yang dihasilkan (dipasang paralel) adalah 0,23 volt kondisi di mana TEC dan batu granit disimpan dalam kotak *acrylic*. Untuk penempatan TEC dan batu granit disimpan di udara terbuka tegangan maksimum yang dihasilkan adalah 0,04 Volt.
8. Arus maksimum yang dihasilkan (TEC dipasang seri) adalah 2,08 mA kondisi di mana TEC dan batu granit disimpan dalam kotak *acrylic*. Untuk penempatan TEC dan batu granit disimpan di udara terbuka arus maksimum yang dihasilkan adalah 0,80 mA.
9. Arus maksimum yang dihasilkan (TEC dipasang paralel) adalah 8,4 mA kondisi di mana TEC dan batu granit disimpan dalam kotak *acrylic*. Untuk penempatan TEC dan batu granit disimpan di udara terbuka arus maksimum yang dihasilkan adalah 1,71 mA.
10. Pemanasan yang terbaik dilakukan pada jam 11.00 – 13.00 (tergantung kondisi cuaca).
11. Jumlah kalor yang diserap dari sinar matahari oleh batu granit
 - a. Untuk batu granit yang disimpan dalam kotak *acrylic* adalah 42,56 mW.
 - b. Untuk batu granit yang disimpan dalam kotak terbuka 32,57 mW.
12. Jumlah kalor yang dipancarkan oleh batu granit dan diterima oleh *thermoelectric cooler* (TEC),
 - a. Untuk batu granit dan TEC yang dipasang seri dan disimpan dalam kotak *acrylic* adalah 49,92 mW.
 - b. Untuk batu granit dan TEC yang dipasang seri dan disimpan dalam ruang terbuka 8,33 mW.
13. Jumlah kalor yang dipancarkan oleh batu granit dan diterima oleh *thermoelectric cooler* (TEC),
 - a. Untuk batu granit dan TEC yang dipasang paralel dan disimpan dalam kotak *acrylic* adalah 48,66 mW.
 - b. Untuk batu granit dan TEC yang dipasang paralel dan disimpan dalam ruang terbuka 1,37 mW.
14. Penambahan kalor pada kondisi batu granit dan TEC disimpan dalam kotak *acrylic* adalah pemanasan akibat efek rumah kaca pada kotak tersebut.
15. Efisiensi pembangkit listrik dengan *thermoelectric cooler* (TEC) yang dipasang seri adalah,
 - a. Untuk batu granit dan TEC yang disimpan dalam kotak *acrylic* adalah 5%.
 - b. Untuk batu granit dan TEC yang disimpan dalam kotak terbuka 4,8%.
16. Efisiensi pembangkit listrik dengan *thermoelectric cooler* (TEC) yang dipasang paralel adalah
 - a. Untuk batu granit dan TEC yang disimpan dalam kotak *acrylic* adalah 3,8 %.
 - b. Untuk batu granit dan TEC yang disimpan dalam kotak terbuka 5 %.

Saran

Perlu adanya penelitian lagi mengenai bahan kotak yang dipakai dengan mengganti materialnya dengan kaca dan perlu penelitian lagi mengenai material polymer pada *thermoelectric cooler* (TEC) mengenai sifat-sifat perpindahan panasnya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (LP2M) Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung yang telah membiayai penelitian ini dalam skema Penelitian Dosen Pemula Itenas (PDPI) tahun anggaran 2018.

Notasi

T_{Lingk}	Temperatur lingkungan	[K]
T_{RK}	Temperatur dalam kotak <i>acrylic</i>	[K]
T_{Batu}	Temperatur batu granit	[K]
Q	Energi yang diserap	[Watt]
R	Energi yang dipancarkan	[Watt]

Daftar Pustaka

- [1]. Andrapica, G. (2015). *Pengujian Thermoelectric Generator Sebagai Pembangkit Listrik Dengan Sisi Dingin Menggunakan Air Bertemperatur 10 °C*. Jurnal Sains dan Teknologi 14 (2); Hal. 45-50
- [2]. Buist, R.J, Lau, P.G., (1997). *Thermoelectric Power Generator Design and Selection from TE Cooling Module Specifications*. Proceedings of the XVI International Conference on Thermoelectrics, Dresden, Germany.
- [3]. Eakburanawat, J, Boonyaroonate. I. (2006). *Development of a thermoelectric battery-charger with microcontroller-based maximum power point tracking technique*. Applied Energy 83, Elsevier ; page 687–704
- [4]. Fawzi, NI. (2014). *Pemetaan Emisivitas Permukaan Menggunakan Indeks Vegetasi*. Majalah Ilmiah Globè Volume 16 No. 2; Hal. 133-139
- [5]. Fitzgerald. A.E. (1992). *Mesin –mesin Listrik*, Erlangga, Edisi keempat, Jakarta.
- [6]. Goldsmid, H. Julian. (2016). *Introduction to Thermoelectricity*. Springer –Verlag Volume 121, Berlin Heidelberg
- [7]. J.P. Holman. (1990). *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta.
- [8]. Putra, N. (2009). *Potensi Pembangkit Daya Termoelektrik Untuk Kendaraan Hibrid*. Jurnal Makara, Teknologi, Vol. 13, No. 2; Hal. 53-58.
- [9]. R.Y. Nuwayhid, R. Hamade. *Design and testing of a locally made loop-type thermosyphonic heat sink for stove-top thermoelectric generators*. Renewable Energy 30 (2005), Elsevier; page 1101–1116
- [10]. Rafika, H. (2016). *Kaji Eksperimental Eembangkit Listrik Berbasis Thermoelectric Generator (TEG) Dengan Pendinginan Menggunakan Udara*. Jurnal Sains dan Teknologi 15 (1); Hal. 7-11.
- [11]. Sugiyanto, dkk. (2014). *Pemanfaatan Panas Pada Kompor Gas LPG Untuk Pembangkitan Energi Listrik Menggunakan Generator Termoelektrik*. Jurnal Teknologi, Volume 7 Nomor 2; Hal. 100-105
- [12]. Sugiyanto, dkk. (2015). *Rancang Bangun Konstruksi TEG (Thermoelectric Generator) Pada Knalpot Sepeda Motor Untuk Pembangkitan Listrik Mandiri*. Forum Teknik Vol. 36 No.1;
- [13]. Zuhail. (1991). *Dasar Tenaga Listrik*. ITB, Bandung.