

PEMANFAATAN POTENSI SUMBER AIR PANAS DI BLAWAN BONDOWOSO SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK ALTERNATIF BERBASIS TEC (THERMOELECTRIC COOLER)

Jamaluddin Khalily

Supriyadi Prasetyono

Bambang Sri Kaloko

jamaluddinkhalily@gmail.com
Universitas Jember

shabri_prasetyo@yahoo.com
Universitas Jember

bambangsrikaloko@yahoo.com
Universitas Jember

Abstrak

Indonesia menyimpan potensi energi terbarukan yakni geotermal berupa sumber air panas. Salah satu daerah yang berpotensi dalam pemanfaatan air panas untuk dijadikan pembangkit listrik berada di Blawan Bondowoso. Dalam penelitian ini, TEC dialih fungsikan sebagai pembangkit listrik tenaga panas / TEG (*thermoelectric generator*) yang menggunakan efek Seebeck. Digunakan 9 buah TEC berdimensi 4x4cm yang dirangkai secara seri, dengan bahan berupa Bi_2Te_3 (*Bismuth telluride*) sebagai alat bantu pengambilan data. Sumber air panas di Blawan memiliki temperatur pada kisaran 45-49,5 °C. Pengambilan data potensi dilakukan selama 3 hari yakni 21-23 Agustus 2015. Pukul 9:00-15:00 WIB, dengan pencatatan keluaran data potensi setiap selang 30 menit. Tercatat V_{TEG} tertinggi dimiliki hari ke-2 sebesar 4,506 V pada pukul 9:00 WIB dan V_{TEG} terendah dimiliki hari ke-1 sebesar 2,001 V pada pukul 13:30 WIB. Variasi besar arus tercatat pada angka 0,04 A dan 0,03 A, namun rata-rata stabil pada 0,03A. Daya tertinggi yang dicapai pada ketiga hari sebesar 0,48 Watt, dan daya terendah dicapai pada hari pertama sebesar 0,07962 Watt.

Kata Kunci — efek seebeck, TEC, TEG.

Abstract

Indonesia keep renewable energy potential that is geothermal in form hot spring water. A region that has potency in utilization hot spring to be used as electricity generation is Blawan Bondowoso. In this research, TEC moved functions as power stations heat / TEG (*thermoelectric generator*) using seebeck effect. Using 9 of TEC infinite dimensional 4x4cm which have developed in series, by the kinds of Bi_2Te_3 (*Bismuth telluride*) as the data tools. Hot spring in Blawan has temperature at the range 45-49,5 °C. An adoption potential of data is done for 3 days (21-23) on august 2015. At 9:00-15:00 WIB, with recording output data the potential of every hose 30 minutes. It is recorded as the highest V_{TEG} owned second day of 4,506 V at 9:00 WIB and the lowest V_{TEG} owned in the first day of 2,001 V at 13:30 WIB. The variation of the current amount is recorded at approximately 0,04 A and 0,03 A, but the average is levelled off at 0,03 A. The highest power reached at the all days of 0,48 Watt, and the lowest reached at the first day of 0,07962 Watt.

Keywords — seebeck effect, TEC, TEG.

I. PENDAHULUAN

Dewasa kini kebutuhan akan energi listrik di dunia semakin meningkat, termasuk Indonesia juga mengalami hal yang sama. Peningkatan konsumsi listrik tersebut umumnya disebabkan semakin banyaknya perangkat elektronik yang digunakan dalam kehidupan masyarakat sehari-hari, serta konsumsi listrik pada segmen industri yang juga turut meningkat sekitar dua kali dari pertumbuhan jumlah pelanggannya, menunjukkan bahwa Indonesia mulai menjadi tempat yang bagus untuk bertumbuhnya industri skala besar. Sedangkan peningkatan kebutuhan listrik ini belum diimbangi dengan peningkatan kapasitas pembangkit listrik yang ada, sehingga kondisi pemadaman listrik tidak jarang ditemui terjadi di kawasan pemukiman sipil [1].

Pembangkit listrik yang berkapasitas besar saat ini mayoritas menggunakan bantuan bahan bakar fosil untuk proses produksinya. Namun seperti yang diketahui publik, bahwa jumlah cadangan bahan bakar fosil yang tersisa di bumi nantinya akan semakin sedikit bahkan diperkirakan akan habis suatu saat kelak. Wilayah Indonesia yang secara geografis dikelilingi banyak gunung berapi dan lapisan batuan bumi yang bervariasi jenisnya, memiliki potensi geotermal yang banyak tersebar. Selain pemanfaatan geotermal secara langsung untuk pembangkit listrik, panas yang dihasilkan dari dalam bumi juga dapat menciptakan sumber air panas yang merupakan hasil proses pemanasan air dalam tanah secara geotermal akibat terbentuknya celah di dalam lapisan batuan bumi. Panas dan temperatur yang dihasilkan tergantung dari kedalaman sumber geotermal ini [2][3].

Sumber air panas dapat terjadi akibat pemanasan air dalam tanah karena aktivitas vulkanik di suatu gunung berapi yang aktif. Melihat potensi energi panas yang dimiliki oleh sumber air panas yakni sifatnya yang termasuk energi terbarukan, dan keberadaan sumber air panas yang tidak sedikit di Indonesia. Maka, untuk mengatasi kebutuhan suplai energi listrik khususnya di lingkungan sumber air panas yang kebanyakan telah menjadi objek wisata, pemanfaatan terhadap energi panas untuk menghasilkan energi listrik akan memberikan

keuntungan tersendiri sehingga tidak bergantung pada suplai listrik PLN.

Penelitian yang akan dibahas berjudul Pemanfaatan Potensi Sumber Air Panas di Blawan Bondowoso Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berbasis TEC [3][4]. Dalam penelitian ini, TEC dialih fungsikan sebagai pembangkit listrik tenaga panas / *thermoelectric generator* (TEG). Ketika terjadi perbedaan panas yang signifikan di antara kedua sisinya, perbedaan tegangan akan tercipta di antara kedua sisi komponen ini. Penggunaan TEC sebagai pembangkit energi alternatif akan lebih ekonomis dari segi investasi awal dibandingkan dengan pembangkit lain seperti halnya panel surya. Dengan memanfaatkan potensi energi yang dimiliki oleh sumber air panas di daerah Blawan Bondowoso, lebih lanjut dengan mempertimbangkan hasil survei di lapangan, bukan tidak mungkin pembangkit listrik tenaga air panas akan dapat menjadi alternatif energi terbarukan yang baru [5][6].

II. METODE PENELITIAN

M. Tahapan Penelitian

Dalam penelitian yang akan dilakukan terdapat serangkaian tahap yang harus dilewati, demi mencapai tujuan penelitian yang diharapkan. Diantara tahap-tahap dalam penelitian ini secara garis besarnya meliputi:

1. Tahap studi literatur

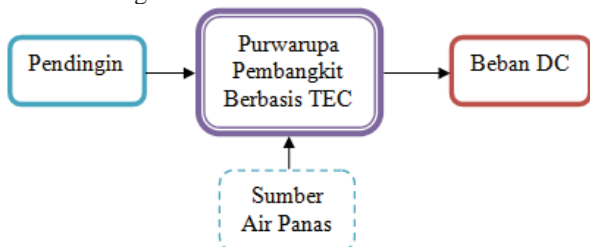
Tahap ini membantu dalam mendapatkan referensi penelitian dengan topik pembahasan yang sama, sebagai acuan untuk penelitian yang hendak dilakukan, serta tolak ukur validitas hasil penelitian yang diperoleh nantinya.

2. Tahap survei kondisi lokasi penelitian

Survei memiliki peran dalam penentuan wilayah cakupan penelitian serta batasan hal-hal yang masuk dalam penelitian. Hasil survei juga dapat menjadi bekal untuk menyiapkan antisipasi kebutuhan penelitian bilamana dimungkinkan terjadi gangguan (*error*) saat dilakukan pengambilan data di lokasi penelitian.

3. Tahap desain & perencanaan komponen purwarupa pembangkit listrik tenaga air panas yang berbasis *Thermoelectric Cooler* (TEC)

Pada tahap desain dan perencanaan purwarupa ini ditujukan sebagai alat bantu pengambilan data potensi yang disesuaikan dengan kondisi di lokasi penelitian. Sebab dengan menggunakan komponen termoelektrik sebenarnya di lokasi penelitian diharapkan data yang diperoleh lebih akurat sesuai kondisi di lokasi Pembangkit Listrik Tenaga Air Panas atau TEG.



Gambar 1. Blok diagram sistem purwarupa

4. Tahap pembuatan / rancang bangun purwarupa TEG sesuai desain

Berdasarkan desain dan perencanaan yang telah dibuat, maka dalam proses rancang bangun lebih mudah karena sudah memiliki desain dengan ukuran yang jelas sesuai dengan kebutuhan di lokasi penelitian. Sehingga alat bantu ini dapat memudahkan dalam proses pengambilan data potensi.

5. Pengujian perangkat purwarupa pembangkit listrik dalam menghasilkan keluaran

Sebelum dilakukan pengambilan data potensi di lokasi penelitian yakni sumber air panas di Blawan Bondowoso, maka mutlak perlu dilakukan pengujian. Hal ini sebagai bentuk antisipasi dan memastikan alat bantu pengambilan data potensi bekerja dengan benar, sehingga diharapkan data yang diperoleh akurat sesuai yang dikehendaki.

6. Tahap pengambilan data di lokasi penelitian dan analisa potensi

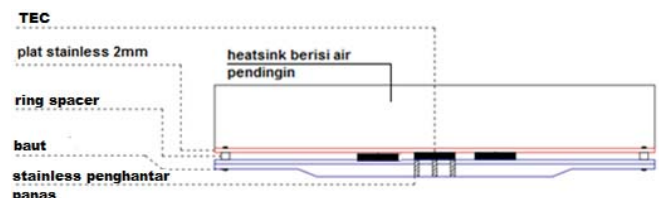
Setelah tahap-tahap bagian sebelumnya dilakukan dan tidak terdapat kendala yang mengganggu kerja alat bantu pengambilan data, maka berikutnya dapat dilakukan pengambilan data potensi di lokasi penelitian sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Data potensi yang telah diambil kemudian diolah dalam aplikasi Ms. Excel, dan selanjutnya dilakukan analisa mengenai kinerja, karakteristik, serta tren potensi energi yang mampu dihasilkan.

B. Desain Alat Bantu Pengambilan Data

Gambar 1 merupakan blok diagram sistem purwarupa TEG sebagai alat bantu untuk pengambilan data potensi, yang didasarkan pada kondisi lokasi penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Desain purwarupa TEG yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3, purwarupa TEG diapungkan diatas bak penampung sumber air panas untuk memaksimalkan pengantran panas ke blok sisi panas modul termoelektrik, dan pada bagian atas terdapat kotak *heatsink* berisikan air sebagai



Gambar 2. (a) Kondisi lingkungan sumber air panas, (b) Bak penampung



Gambar 3. Desain purwarupa TEG sebagai alat bantu pengambilan data dengan sistem pendingin air (*water cooling*)

pendingin yang menempel di permukaan blok sisi dingin modul termoelektrik [7].

Modul termoelektrik yang disusun secara seri demi mencapai target tegangan yang diharapkan, yakni 12V. Modul termoelektrik yang digunakan memiliki wilayah operasi optimal dalam mengkonversi energi seperti dijelaskan oleh *data sheet* pada tabel I [8][9].

C. Pembangunan Data Potensi Pembangkit

Untuk membangun data potensi pembangkit listrik berbasis TEC yang memanfaatkan sumber air panas tentu perlu diketahui besar nilai parameter acuannya. Parameter penting dalam pembangkit listrik berbasis TEC yang memanfaatkan efek seebeck yaitu tegangan, arus, daya keluaran dan efisiensi. Model matematis dari efek seebeck untuk mencari nilai parameter tersebut adalah sebagai berikut [10][11]:

Tegangan keluaran,

$$V = \alpha \Delta T \quad (1)$$

- V = tegangan keluaran (Volt)
- α = koefisien seebeck (V/°C)
- ΔT = beda temperatur antara sisi panas dan dingin (Th-Tc) (°C)

Arus keluaran,

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{2R} \quad (2)$$

- I = arus keluaran (A)
- R = tahanan beban (Ohm)



Gambar 4. Susunan TEC

TABEL I
DATA SHEET MODUL TERMOELEKTRIK (TEG) YANG DIGUNAKAN

Tipe Modul	TEC1-12706
Dimensi	4cm x 4cm x 0,35cm
Bahan Termoelektrik	Bi ₂ Te ₃ (Bismuth telluride)
Jumlah Termokopel	127
Konstruksi Solder	138 °C
Suhu Operasi	Dibawah 200-250 °C
Batas Suhu	300 °C
Selisih Suhu Thot-Tcold (ΔT)	100 °C : Keluaran Daya Maks. 2,5W 70 °C : Keluaran Daya Maks. 1,5W
Ekspektasi Umur Pemakaian	200.000 jam
Spesifikasi Berdasarkan Suhu Sisi Panas pada 230 °C dan Suhu Sisi Dingin pada 50 °C	V _{oc} (Open Circuit): 8,6V Tegangan Keluaran Pasangan Beban: 4,2V Arus Keluaran Pasangan Beban: 1,4A Daya Keluaran Pasangan Beban: 5,9W

Daya keluaran,

$$P_o = \frac{(\alpha \Delta T)^2}{4R} = V \cdot I \quad (3)$$

P_o = daya keluaran (Watt)

$$\epsilon = \frac{T_{hot} - T_{cold}}{T_{hot}} \frac{\sqrt{1+ZT} - 1}{\sqrt{1+ZT} + \frac{T_{cold}}{T_{hot}}} \times 100 \quad (4)$$

- ϵ = efisiensi TEG (%)
- T_{hot} = suhu blok sisi panas TEC (°C)
- T_{cold} = suhu blok sisi dingin TEC (°C)
- ZT = koefisien sosok merit (Bi₂Te₃)

Selain dicari nilai beberapa parameter yang telah disebut sebelumnya, dilakukan juga pengkajian pengaruh suhu lingkungan maupun suhu TEC itu sendiri terhadap keluaran energi listrik yang dihasilkan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu lingkungan maupun suhu TEC terhadap optimal kerja dari pembangkit listrik berbasis TEC.

III. HASIL PENELITIAN

A. Hasil Pengambilan Sample Data Potensi di Blawan

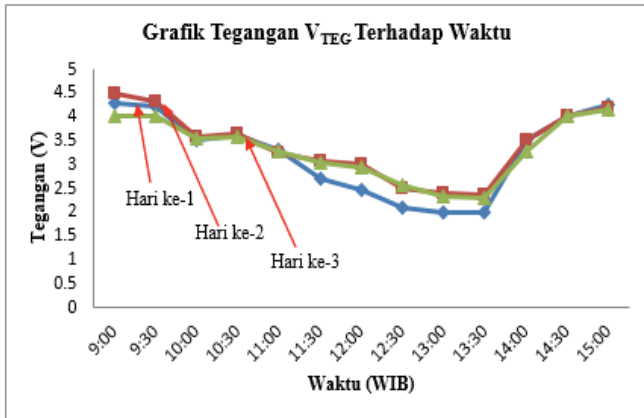
Pengambilan data potensi dilakukan selama 3 hari dari pukul 09:00 s.d. 15:00 WIB. Data potensi yang diperoleh dapat dilihat pada tabel II, III dan IV. Dari hasil data yang didapat setidaknya cukup memberikan gambaran mengenai tren energi yang dihasilkan pada hari-hari lainnya dengan kondisi yang sama.

1) *Karakteristik Tegangan terhadap Waktu*: Berdasarkan data potensi ketiga hari pada tabel II, III dan IV terdapat tren potensi tegangan yang sama. Saat pagi hari menghasilkan tegangan yang cukup besar, lalu menurun seiring waktu beranjak siang meskipun penurunan tidak terjadi secara linier.

TABEL II
HASIL PENGAMBILAN DATA POTENSI DI SUMBER AIR PANAS BLAWAN (HARI KE-1, 21 AGUSTUS 2015)

Waktu (WIB)	V _{TEG} (Volt)	V _{curv} (Volt)	I _{curv} (A)	T _{cold} (°C)	T _{hot} (°C)	T _{hot water} (°C)	T _{cold water} (°C)	T _{air} (°C)	P _{TEG} (watt)
09:00	4,307	12	0,04	24,6	41,0	49,3	19,4	23,3	0,48
09:30	4,211	12	0,04	25,5	40,2	49,3	25,3	25,6	0,48
10:00	3,498	12	0,04	31,2	39,3	49,3	30,8	26,9	0,48
10:30	3,627	12	0,03	32,7	39,3	49,3	32,5	29,2	0,36
11:00	3,310	12	0,04	35,3	37,2	49,3	31,4	29,3	0,48
11:30	2,711	3,661	0,04	35,7	39,9	49,4	35,8	30,1	0,14644
12:00	2,469	3,279	0,03	36,0	40,0	49,4	35,9	30,7	0,09837
12:30	2,106	2,734	0,03	36,1	40,2	49,5	36,0	30,8	0,08202
13:00	2,008	2,696	0,03	36,3	40,3	49,5	36,0	31,1	0,08088
13:30	2,001	2,654	0,03	36,3	40,4	49,5	36,1	31,1	0,07962
14:00	3,509	12	0,03	35,9	39,2	49,4	35,7	29,4	0,36
14:30	4,019	12	0,04	31,5	39,1	49,3	24,1	24,8	0,48
15:00	4,260	12	0,04	30,7	38,9	49,3	23,3	24,0	0,48

Puncak penurunan tegangan (V_{TEG}) terjadi antara pukul 13:00 s.d. 13:30 WIB. Penurunan tersebut merupakan dampak dari meningkatnya suhu lingkungan yang memberi pengaruh pada sistem pendingin di sisi dingin TEC. Namun TEG tidak terus-menerus mengalami penurunan produksi V_{TEG} . Tercatat pada ketiga hari tersebut mengalami tren kenaikan produksi V_{TEG} mulai pukul 14:00 s.d. 15:00 WIB. Adapun besar nilai data dari ketiga hari tersebut tidak terpaut jauh, grafik pada Gambar 5 dapat menunjukkan selisihnya secara visual.



Gambar 5. Grafik tegangan V_{TEG} terhadap waktu

TABEL III
HASIL PENGAMBILAN DATA POTENSI DI SUMBER AIR PANAS
BLAWAN (HARI KE-2, 22 AGUSTUS 2015)

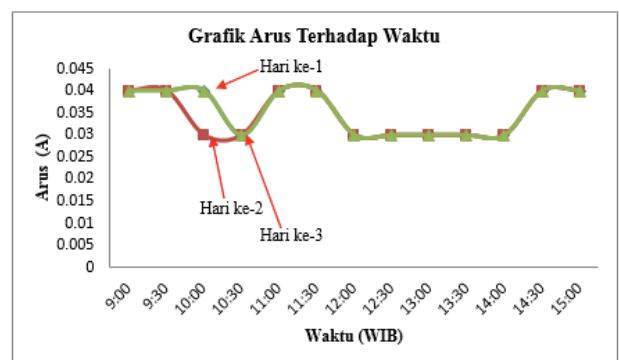
Waktu (WIB)	V_{TEG} (Volt)	V_{conv} (Volt)	I_{sum} (A)	T_{cold} (°C)	T_{hot} (°C)	$T_{hot\ water}$ (°C)	$T_{cold\ water}$ (°C)	T_{amb} (°C)	P _{TEG} (Watt)
09:00	4,506	12	0,04	24,5	37,5	49,2	18,4	22,9	0,48
09:30	4,310	12	0,04	26,9	37,5	49,3	25,5	25,9	0,48
10:00	3,580	12	0,03	30,2	37,3	49,2	30,9	27,6	0,36
10:30	3,662	12	0,03	32,8	38,3	49,3	32,5	28,8	0,36
11:00	3,240	12	0,04	35,5	38,5	49,3	31,5	30,0	0,48
11:30	3,080	12	0,04	34,5	40,3	49,5	36,1	30,2	0,48
12:00	2,994	12	0,03	34,9	40,3	49,5	36,3	30,6	0,36
12:30	2,506	3,321	0,03	35,0	40,4	49,5	36,3	30,7	0,09963
13:00	2,398	3,180	0,03	35,4	40,5	49,5	36,3	30,9	0,0954
13:30	2,381	3,163	0,03	35,4	40,6	49,5	36,4	30,9	0,09489
14:00	3,510	12	0,03	35,6	39,1	49,4	35,4	28,5	0,36
14:30	4,014	12	0,04	31,3	39,0	49,3	23,8	24,4	0,48
15:00	4,178	12	0,04	29,1	38,9	49,3	22,6	23,8	0,48

2) *Karakteristik Arus terhadap Waktu:* Variasi besar arus yang tercatat ada pada angka 0,04A dan 0,03A, namun rata-rata stabil pada 0,03A. Pengukuran arus yang dihasilkan oleh TEG ini dalam kondisi terhubung dengan beban atau umumnya disebut I_{sc} (arus short circuit). Perubahan besar arus dapat dikatakan tidak begitu signifikan, hal ini ditunjukkan pada Gambar 6. Karakteristik demikian merupakan akibat dari setiap keping modul termoelektrik atau TEC yang semuanya disusun secara seri.

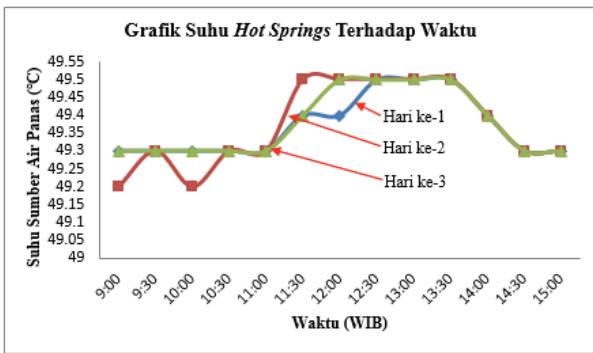
3) *Karakteristik Suhu Hot Spring terhadap Waktu:* Grafik pada Gambar 7 menjelaskan saat pagi pukul 9:00 WIB tercatat pada semua hari suhu air panas mencapai 49,3 °C kecuali hari ke-2 hanya 49,2 °C.

TABEL IV
HASIL PENGAMBILAN DATA POTENSI DI SUMBER AIR PANAS
BLAWAN (HARI KE-3, 23 AGUSTUS 2015)

Waktu (WIB)	V_{TEG} (Volt)	V_{conv} (Volt)	I_{sum} (A)	T_{cold} (°C)	T_{hot} (°C)	$T_{hot\ water}$ (°C)	$T_{cold\ water}$ (°C)	T_{amb} (°C)	P _{TEG} (Watt)
09:00	4,014	12	0,04	24,8	42,2	49,3	19,8	23,6	0,48
09:30	4,009	12	0,04	24,9	42,0	49,3	25,0	26,2	0,48
10:00	3,533	12	0,04	31,0	39,1	49,3	30,8	28,0	0,48
10:30	3,592	12	0,03	32,7	39,2	49,3	32,6	28,8	0,36
11:00	3,277	12	0,04	35,6	38,3	49,3	32,0	29,5	0,48
11:30	3,035	12	0,04	35,4	40,2	49,4	36,0	30,1	0,48
12:00	2,951	12	0,03	35,8	40,3	49,5	36,2	30,5	0,36
12:30	2,579	3,379	0,03	35,9	40,3	49,5	36,2	30,7	0,10137
13:00	2,314	3,067	0,03	36,0	40,5	49,5	36,4	31,3	0,09201
13:30	2,309	3,045	0,03	36,0	40,6	49,5	36,4	31,3	0,09135
14:00	3,291	12	0,03	35,8	39,3	49,4	35,6	29,7	0,36
14:30	4,007	12	0,04	31,1	39,3	49,3	24,3	25,0	0,48
15:00	4,166	12	0,04	29,0	38,9	49,3	23,7	24,4	0,48



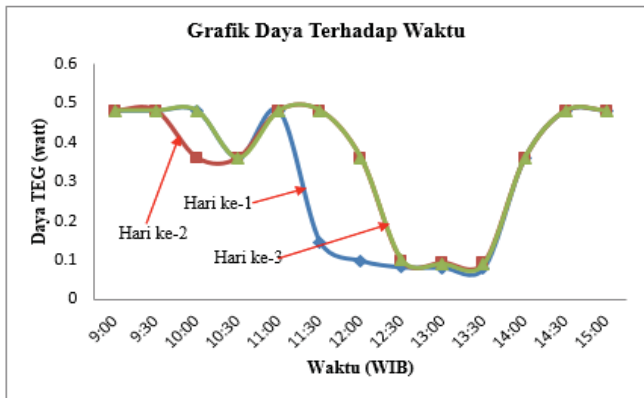
Gambar 6. Grafik arus terhadap waktu



Gambar 7. Grafik suhu hot spring terhadap waktu



Gambar 9. Purwarupa TEG



Gambar 8. Grafik daya terhadap waktu

Suhu sumber air panas mengalami kenaikan mencapai 49,4 – 49,5 °C ketika pukul 11:30 s.d. 13:30 WIB. Dilihat dari waktu perubahan suhunya, serta lokasi sumber air panas yang berada di tempat terbuka, maka perubahan suhu yang terjadi pada air panas merupakan efek langsung dari perubahan suhu lingkungan yang semakin siang semakin meningkat.

4) *Karakteristik Daya terhadap Waktu:* Nilai daya pada Gambar 8 diperoleh dengan mengkalikan V_{conv} (tegangan setelah konverter) dengan I_{conv} (arus setelah konverter). Saat pagi hari pukul 9:00 s.d. 9:30 WIB, ketiga hari memiliki daya yang sama sebesar 0,48 Watt. Lalu saat pukul 10:00 WIB data hari ke-2 mencatatkan daya yang berbeda dibanding dua hari yang lain yakni lebih kecil 0,36 Watt. Perbedaan keluaran daya juga terdapat pada pukul 11:30 dan 12:00 WIB di hari ke-1, ketika pada dua hari lain memiliki daya yang sama yakni 0,48 Watt dan 0,36 Watt. Hal tersebut merupakan dampak langsung dari V_{TEG} yang dihasilkan. Jika V_{TEG} lebih kecil dari toleransi minimal yang diberikan konverter (2,8 - 2,9V) untuk dapat bekerja normal, maka konverter tidak dapat menaikkan tegangan sesuai pengaturan awal (setting di 12V). Dapat disimpulkan bahwa turun serta naiknya grafik daya ini mengikuti turun serta naiknya V_{TEG} .

B. Potensi Penerapan TEG di Sumber Air Panas Blawan

Kajian potensi penerapan TEG diperhitungkan untuk dapat menyuplai sebuah rumah DC dengan kebutuhan daya sebesar 100Watt dengan arus 2,9A. Rumah DC adalah rumah yang memiliki beragam perangkat elektronik dasar yang langsung menggunakan sumber DC (*Direct Current*) sebagai suplai

listriknnya. Untuk memudahkan dalam perhitungan kajian potensi penerapan TEG di Blawan, maka dipilih nilai daya tertinggi yang dihasilkan oleh TEG yakni sebesar 0,48Watt dengan arus 0,04A. Hal ini dilakukan dengan alasan karena *sample* kinerja paling optimal dari TEG dirasa dapat mewakili potensi sesungguhnya yang dapat dihasilkan.

Berdasar pada keluaran purwarupa TEG seperti ditunjukkan Gambar 8, maka dibutuhkan 73 purwarupa TEG seperti pada penelitian yang disusun secara paralel, dengan tujuan untuk mencapai besar arus seperti kebutuhan yakni 2,9A. Sehingga berdasarkan teori perhitungan, diperoleh arus total (I_{tot}) yang dapat disuplai sebesar 2,92A.

Untuk mengetahui besar kenaikan tegangan yang diperlukan agar mampu mengatasi kebutuhan daya beban DC 100Watt, maka jumlah kebutuhan daya dibagi dengan besar arus yang telah diketahui berdasarkan perhitungan secara teori, sehingga diketahui kebutuhan tegangan sebesar 34,246V ~ 35V.

Untuk mendapatkan tegangan lebih besar, 73 purwarupa TEG tersebut ditambah sebanyak 3 kalinya kemudian disusun secara seri. Tanpa memperhitungkan rugi-rugi yang terjadi TEG yang diterapkan di sumber air panas Blawan kini dengan keluaran 36V, 2,92A dapat menyuplai daya sebesar 105,12 Watt. Untuk mencapai daya tersebut total modul TEC yang diperlukan adalah 1971 buah.

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan, yaitu sebagai berikut:

1. Suhu sumber air panas di Blawan relatif stabil pada 49,3 °C, meskipun ketika suhu lingkungan (T_{env}) naik antara 28,5 – 31,3 °C cukup berpengaruh terhadap kenaikan suhu sumber air panas yakni naik menjadi 49,4 – 49,5 °C.
2. Perbedaan suhu (ΔT) yang tercipta diantara sisi panas (T_{hot}) & sisi dingin (T_{cold}) modul termoelektrik (TEC1-12706) berbanding lurus dengan besar energi yang dihasilkan. Hal tersebut dibuktikan oleh contoh data hari ke-3, saat ΔT sebesar 2,7 °C tegangan keluaran TEG (V_{TEG}) hanya 3,277V dan saat ΔT sebesar 17,4 °C nilai V_{TEG} diketahui lebih besar yakni 4,014V.
3. Tegangan keluaran TEG (V_{TEG}) selama pengambilan data dinamis dalam rentang tegangan 2,001 – 4,506 V sedangkan arus keluaran (I_{conv}) stabil pada kisaran 0,03 –

- 0,04A, hal ini merupakan akibat dari 9 modul termoelektrik (TEC1-12706) yang disusun secara seri.
4. Potensi penerapan TEG di sumber air panas Blawan untuk memenuhi kebutuhan beban DC 100Watt dengan arus 2,9A, membutuhkan modul termoelektrik cukup banyak yakni sejumlah 1971 buah, disebabkan TEG bekerja hanya sekitar 10% dari suhu operasi optimalnya seperti yang tertera dalam *data sheet*.
 5. Tingkat efisiensi purwarupa TEG yang diterapkan di Blawan cukup rendah, hanya 6,62% dan efisiensi terendahnya 0,957%, lebih rendah dari penelitian sebelumnya yang diterapkan di Korea. Sehingga penerapan TEG di sumber air panas Blawan diperhitungkan kurang ekonomis dalam segi investasi pembangunan manufakturnya.

REFERENSI

- [1] Administrator. (2013). "Pemakaian Listrik Semester 1/2013, Tumbuh Tinggi Di Sektor Produktif Dan Rendah Di Kelompok Konsumtif". Dari sumber <https://www.esdm.go.id>. Diakses pada 17 februari 2015.
- [2] Challoner, Jack. (2000). "Jendela Iptek Seri 5: Energi". Jakarta: PT Balai Pustaka.
- [3] Komunitas Dian Aksara. (2007). "Energi Alternatif". Bogor: Yudhistira Ghalia Indonesia.
- [4] The World Bank Washington, D.C. (1994). "Indonesia: Environment and Development". U.S.A.: World Bank Publications. Hal. XXIX.
- [5] Gutierrez, F dan Mendez, F. (2008). "Generation Minimization of a Thermoelectric Cooler". *The Open Thermoelectric Journal* Vol.2.
- [6] Sukur, Edi. (2004). "Melirik Teknologi Termoelektrik sebagai Sumber Energi Alternatif". Dari sumber <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi-artikel>. Diakses pada 19 februari 2015.
- [7] Dewo, E. Setio. (2003). "Teknologi Pendingin Prosesor". Dari sumber <https://ilmukomputer.com>. Diakses pada 19 februari 2015.
- [8] John, Stephen T. (2014). "High Efficient Seebeck Thermoelectric Device for Power System Design and Efficiency Calculation: A Review of Potential Household Appliances". India: Sathyabama University. *International Journal of Computer Applications* (0975-8887) Volume 97-No.18.
- [9] Dr. O'Halloran, Steven dan Mr. Rodrigues, Matthew. (2012). "Power and Efficiency Measurement in a Thermoelectric Generator". Oregon: University of Portland. American Society for Engineering Education.
- [10] José Rui Camargo and Maria Claudia Costa de Oliveira (2011). "Principles of Direct Thermoelectric Conversion, Heat Analysis and Thermodynamic Effects". Dr. Amimul Ahsan (Ed.), ISBN: 978-953-307-585-3, InTech.
- [11] Baatar, Nyambayar dan Kim, Shiho. (2011). "A Thermoelectric Generator Replacing Radiator for Internal Combustion Engine Vehicles". Korea: Chungbuk National University dan Yonsei University Songdo.

