

**ANALISIS PENERAPAN TERMOELEKTRIK GENERATOR PADA SOLAR WATER  
HEATER TIPE KOLEKTOR PLAT DATAR DENGAN SIMULATOR RADIASI  
MATAHARI**

**ANALYSIS OF TEG APPLICATION IN SOLAR WATER HEATER FLAT PLATE  
COLLECTOR TYPE WITH SOLAR RADIATION SIMULATOR**

**Indah Wardati, M. Ramdhan Kirom, S.Si., M.Si.<sup>2</sup>, Tri Ayodha Ajiwiguna, M.Eng.<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[indahwardati@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:indahwardati@student.telkomuniversity.ac.id), <sup>2</sup>[mramdhanikirom@telkomuniversity.ac.id](mailto:mramdhanikirom@telkomuniversity.ac.id)

<sup>3</sup>[tri.avodha@telkomuniversity.co.id](mailto:tri.avodha@telkomuniversity.co.id)

---

**Abstrak**

Matahari merupakan energi terbesar yang memberikan panasnya ke bumi sepanjang tahun yang sangat tepat digunakan oleh setiap makhluk hidup. Salah satu pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi adalah dengan menggunakan kolektor termal surya tipe plat datar sebagai pemanas air tenaga surya atau *Solar Water Heater*. Pada penelitian ini digunakan kolektor termal surya tanpa TEG dan menggunakan TEG untuk mendapatkan nilai efisiensi. Pengujian dilakukan di berbagai variasi intensitas dan kondisi penggunaan TEG dan tanpa menggunakan TEG. Selain itu, penelitian ini dilakukan dalam berbagai variasi intensitas yaitu sebesar 147 W/m<sup>2</sup>, 456 W/m<sup>2</sup>, 817 W/m<sup>2</sup>, 107 W/m<sup>2</sup>, 409 W/m<sup>2</sup>, 665 W/m<sup>2</sup>. Dari penelitian ini didapatkan dengan menggunakan TEG nilai efisiensinya lebih kecil dibandingkan dengan yang tanpa TEG dikarenakan panas yang diberikan oleh lampu terbagi pada kolektor termal surya dan TEG. Nilai efisiensi tertinggi terdapat pada perlakuan tanpa menggunakan TEG, untuk yaitu sebesar 81.98% dengan nilai temperatur air akhir yang dihasilkan 36°C, sedangkan nilai efisiensi kolektor pipa tembaga sekitar 80.28% dengan nilai temperatur akhir yang dihasilkan 34°C.

**Kata Kunci :** Kolektor Termal Surya, *solar water heater*, TEG, efisiensi

---

**Abstract**

*The sun is the biggest energy that gives heat to the earth throughout the year which is very appropriate to be used by every living creature. One of the uses of solar energy as an energy source is to use flat plate type solar thermal collector as solar water heater. In this study, solar thermal collectors without TEG were used and TEG was used to obtain efficiency values. Tests carried out in various variations of intensity and conditions of TEG use and without using TEG. In addition, this research was conducted in various intensity variations, namely 147 W/m<sup>2</sup>, 456 W/m<sup>2</sup>, 817 W/m<sup>2</sup>, 107 W/m<sup>2</sup>, 409 W/m<sup>2</sup>, 665 W/m<sup>2</sup>. From this study it was obtained by using TEG that efficiency value was smaller compared to those without TEG because the heat given by the lamp was divided into solar thermal collectors and TEG. The highest efficiency value is in the tanpan treatment using TEG, for that is equal to 81.98% with the final water temperature value produced 36°C, while the copper pipe collector efficiency value is around 80.28% with the final temperature value generated 34°C*

**Keywords:** *Solar Thermal Collector, solar water heater, TEG, efficiency*

---

**1. Pendahuluan**

Matahari merupakan energi terbesar yang memberikan panasnya ke bumi sepanjang tahun yang sangat tepat digunakan oleh setiap makhluk hidup. Salah satu pemanfaatan energi matahari sebagai sumber energi adalah dengan menggunakan kolektor termal surya tipe plat datar sebagai pemanas air tenaga surya atau *Solar Water Heater* yang dibuat dengan penambahan TEG. Termoelektrik generator (TEG) adalah perangkat yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik yang mengkonversi panas (perbedaan suhu) langsung menjadi energi listrik. Termoelektrik didasarkan pada sebuah efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck. Prinsip kerja dari efek Seebeck adalah jika ada dua buah material yang

tersambung berada pada lingkungan dengan suhu yang berbeda maka di dalam material tersebut akan mengalir arus listrik. Teknologi termoelektrik memiliki keuntungan yang cukup banyak yaitu konversi energi langsung, relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama, tidak ada bagian yang bergerak, tidak ada cairan yang bekerja di dalam TEG, maka tidak ada pemeliharaan dan tanpa biaya tambahan [1-2].

Pada tugas akhir ini akan dilakukan kegiatan pemanfaatan termoelektrik generator (TEG) pada *solar water heater* (SWH). TEG mempunyai dua sisi yaitu sisi atas dan bawah. Saat sisi atasnya terpapar sinar matahari maka akan terjadi perbedaan suhu antara kedua sisi TEGnya. Fungsi penambahan TEG adalah untuk menghasilkan arus listrik dari adanya perbedaan temperatur antara kedua sisinya, arus listrik yang dihasilkan dari TEG bisa disimpan atau digunakan. TEG tersebut akan disusun secara seri sebanyak 10 buah agar tegangan yang dihasilkan tinggi dan besar arus listrik yang dihasilkan sama. Sedangkan jika dilakukan tanpa menggunakan TEG tidak ada energi listrik yang dihasilkan dan hanya sebagai pemanas yang sumber panasnya langsung radiasi matahari. perhutanan dapat meningkatkan suatu nilai guna dari biomassa tersebut. Salah satu pemanfaatannya dengan menggunakan metode konversi energi biomassa yaitu gasifikasi pada kompor yang telah dirancang khusus dengan memanfaatkan biomassa sebagai bahan bakar.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Solar Water Heater

SWH adalah sistem pemanas air yang memanfaatkan energi matahari yang tidak terbatas jumlahnya. Menurut data Jaringan Kebijakan Energi Terbarukan (2010), 70 juta rumah di seluruh dunia dilaporkan menggunakan sistem SWH. Pemanasan air tenaga surya tidak hanya bersifat lingkungan [12]. Sistem pemanas air domestik menunjukkan penghematan sekitar 70-90% dari total biaya pemanasan air dan karenanya menjadi salah satu kandidat terbaik untuk mengurangi konsumsi rumah tangga. Selama 30 tahun terakhir, pemanas air matahari telah lebih berkelanjutan, efisien, dan layak secara ekonomi. Sebagai contoh, penggunaan sistem pemanas air matahari (SWH) meningkat dari kapasitas global sebesar 160 GWth pada awal tahun 2010 menjadi 185 GWth pada awal tahun 2010 [12,14]. SWH pertama kali diberi nama " Climax, " telah dipatenkan di AS oleh Kemp [14]. Pada tahun 1900-an, beberapa peneliti memfokuskan perhatian mereka untuk meningkatkan desain sistem SWH yang membuatnya tahan lama dan efisien. Sistem ini secara luas dikategorikan sebagai sistem pemanas air matahari pasif dan sistem pemanas air matahari aktif.

### 2.2 Perpindahan Panas

*Heat Transfer* didefinisikan sebagai bentuk energi yang dapat ditransfer dari satu sistem ke sistem lain akibat dari perbedaan suhu. Selain itu, perpindahan panas juga mempelajari tentang laju transfer energi kalor sebagai bentuk dari energi kinetik molekul dalam termodinamika. Proses transfer kalor ini akan terus bekerja dari temperatur yang tinggi ke temperatur yang rendah dan baru akan berhenti ketika temperatur antara dua medium yang mengalami transfer kalor tersebut sama. Perangkat perpindahan panas yang sudah sering dikenal yaitu heat exchanger (Penukar Panas), boilers, kondensor, radiator, heaters (pemanas), furnaces, refrigerators, dan kolektor surya didesain secara mendasar dari analisis perpindahan panas. Panas dapat ditransfer dalam tiga mode yang berbeda: konduksi, konveksi, dan radiasi. Semua mode perpindahan panas membutuhkan adanya perbedaan suhu, dan semua mode berasal dari media suhu tinggi ke suhu yang lebih rendah [5].

### 2.3 Termoelektrik Generator

TEG adalah perangkat yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik langsung menjadi energi listrik dengan memanfaatkan perbedaan suhu. TEG pada penelitian ini terletak dibawah lapisan absorber yang terpapar sinar matahari.

### 2.4 Solar Thermal Collector

STC merupakan sebuah media penyerapan panas menggunakan lapisan absorber. Absorber adalah bagian terpenting dari *solar water heater* yang panasnya didapatkan dari plat yang bersumber dari TEG yang akan digunakan untuk memanaskan fluida. Absorber ini biasanya terbuat dari metal hitam. Warna hitam ditujukan agar lebih mampu menyerap panas. Kemampuan absorber menyerap panas sering disebut absorptivity.

### 3. Metodologi Penelitian

#### 3.1 Detail Eksperimen

Pada penelitian ini diatas akan dilakukan pengamatan dan pengukuran parameter efisiensi pada TEG dan SWH yang mana pengukuran ini fungsinya adalah untuk mengetahui efisiensi total dan kenaikan nilai efisiensi dari penambahan TEG dan SWH. Beberapa variasi yang diubah yaitu intensitas cahaya, perbedaan menggunakan TEG dan tanpa TEG. Adapun parameter yang akan diukur adalah intensitas cahaya, temperatur masuk dan temperatur keluar fluida, laju aliran fluida, tegangan dan arus pada TEG. Pengukuran intensitas cahaya akan menggunakan Solar Power Meter TM-206 pada intensitas sumber cahaya yang digunakan yaitu sumber cahaya buatan yang berasal dari beberapa bohlam lampu berdaya 100 Watt sebanyak 9 buah yang disusun secara parallel agar tegangan yang dihasilkan sama. Untuk pengukuran laju aliran massa akan menggunakan flowmeter yang disambungkan setelah pompa pada jalur masuk fluida. Pengukuran sensor suhu menggunakan termokopel HT9815 Tipe-K, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh TEG akan diukur menggunakan multimeter. Hasil yang didapat akan ditampilkan di Microsoft Excel dan dilakukan pengolahan data.

Energi kalor yang di transferkan pada fluida sebesar :

$$Qu = \dot{m} C_p (T_{f_o} - T_{f_i}) \quad (1)$$

Dengan :

$\dot{m}$  = laju aliran massa fluida (kg/det)

$C_p$  = kalor jenis fluida (J/kg.°C)

$T_{f_o}$  = temperatur fluida keluar (K)

$T_{f_i}$  = temperature fluida masuk (K)

Efisiensi kolektor termal surya didapatkan

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_T} \quad (2)$$

Dengan:

$\eta$  = Efisiensi Kolektor

$A_c$  = Luas penampang Absorber (m<sup>2</sup>)

$I_T$  = Radiasi Total Simulator Matahari ( W / m<sup>2</sup> )

Dengan mensubstitusi persamaan (2.9) ke (2.10) maka didapatkan Efisiensi untuk kolektor termal surya sebesar :

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_{f_o} - T_{f_i})}{A_c I_T} \quad (3)$$

Efisiensi Total :

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{ap} + V.I}{I A} \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{ap} = \dot{m} c (\Delta T) \quad (5)$$

$$\dot{m} = \rho_{air} \cdot \nabla_{air} \quad (6)$$

Dengan :

$\dot{Q}_{ap}$  = laju aliran air panas (W)

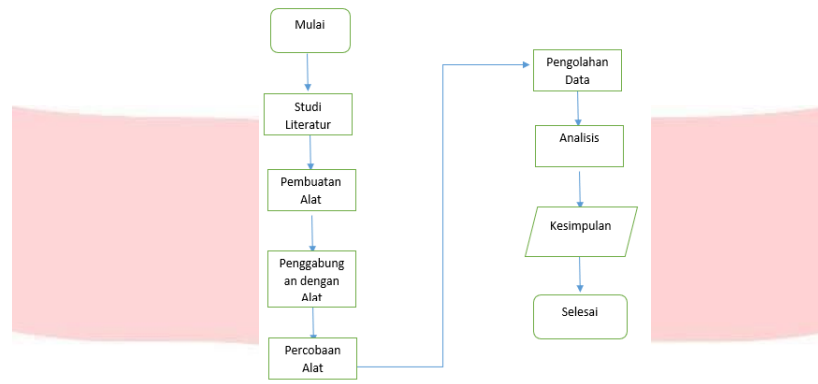
$\dot{m}$  = laju aliran massa (kg/s)

$\nabla_{air}$  = debit air (m<sup>2</sup>/s)

Debit air dilihat menggunakan flowmeter, sedangkan laju aliran air panas ditinjau dari  $T_i$  dan  $T_o$

#### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Pada bab ini akan dilakukan langkah – langkah untuk menyelesaikan permasalahan sehingga tujuan dari penelitian ini dapat tercapai. Berikut merupakan langkah – langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini :



Gambar 2. 1 diagram alir penelitian

**2.2.3 Alat dan Bahan**

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam percobaan ini terdiri dari :

Alat :

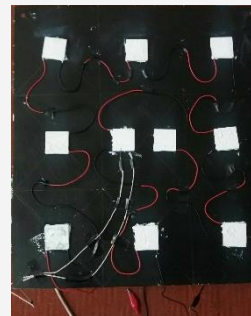
- Kolektor termal surya 52 x 47 cm
- *Thermocouple* HT9815 tipe K
- Pompa air DC
- Tangki air
- Simulator radiasi
- *Data logger Thermometer HE 804*
- *Solar Power Meter TM-206*
- Gelas Ukur dan *Stopwatch*
- *Dimmer*

Bahan :

- Pipa tembaga diameter 5/16 inci
- *Polyfoam*
- *Water pass*
- Lakban



(a)

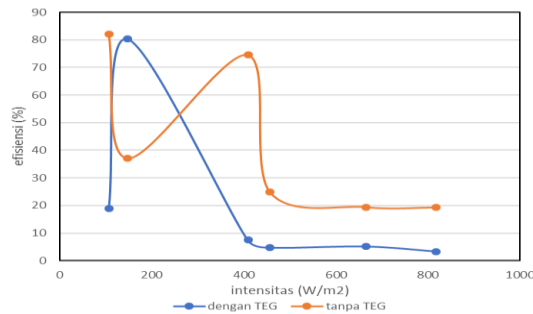


(b)

Gambar 2.2 (a) Kolektor pipa tembaga (b) Susunan 10 buah TEG

**3. Pembahasan**

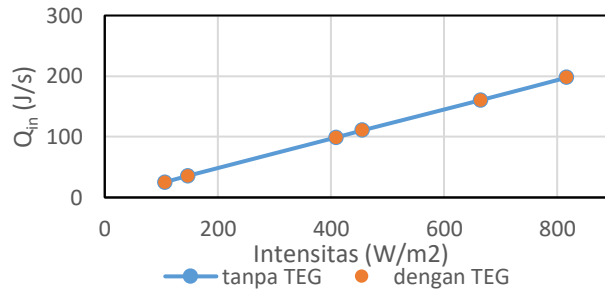
Berikut hasil dari penelitian ini :



Gambar 3. 1 Grafik Efisiensi terhadap Intensitas

Pada gambar 3.1 terlihat semakin besar nilai intensitas yang diterima kolektor semakin kecil nilai efisiensi termalnya. Selama 2 jam nilai efisiensi termal terbesar yaitu 81,98 % keadaan tanpa menggunakan TEG dengan laju aliran massa 0,0253 kg/s dengan intensitas 107 W/m<sup>2</sup>. Nilai efisiensi termal terkecil yaitu 3.35% keadaan dengan menggunakan TEG dengan laju aliran massa 0,0217 kg/s dan intensitas 817 W/m<sup>2</sup>.

Pada tabel 3.1 terlihat jelas nilai efisiensi lebih besar terdapat pada sistem tanpa menggunakan TEG dibandingkan efisiensi sistem menggunakan TEG. Sistem menggunakan TEG lebih kecil efisiensinya dikarenakan adanya kalor yang harus dibagi antara TEG dengan air didalam tangka sehingga tidak seoptimal sistem siklus langsung yang tidak perlu membagi kalornya. Nilai efisiensinya kecil juga dikarenakan kalor yang terbagi ke TEG digunakan untuk menghasilkan tegangan dan arus pada TEG.



Gambar 3. 2 Grafik Laju Aliran Kalor terhadap Intensitas

Pada gambar 3.2 dapat dilihat bahwa keadaan menggunakan TEG ataupun keadaan tanpa menggunakan TEG laju aliran kalor yang masuk terbesar terdapat pada intensitas paling besar yaitu 817 W/m<sup>2</sup>. Semakin tinggi intensitas semakin tinggi pula laju aliran kalor yang masuknya.

Tabel 3.1 Data Laju Kalor dan Efisiensi Kolektor

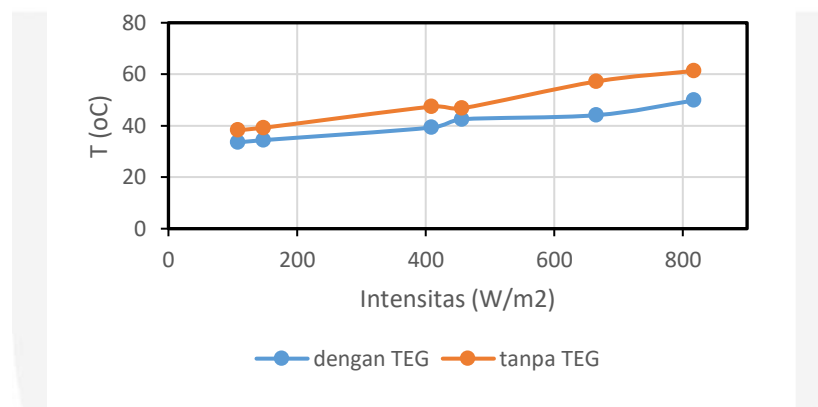
		Intensitas					
		107 ( W/m <sup>2</sup> )	147 ( W/m <sup>2</sup> )	409 ( W/m <sup>2</sup> )	456 ( W/m <sup>2</sup> )	665 ( W/m <sup>2</sup> )	817 ( W/m <sup>2</sup> )
tanpa TEG	suhu akhir (C)	0.2	0.1	0.6	0,2	1.2	0.3
	m (kg/s)	0.0253	0.0272	0.0256	0.0256	0.0255	0.023
	Qout (J/s)	35.739	30.29	81.83	49.277	53.047	68.409
	Qin (J/s)	25.1798	35.7321	98.938	110.759	160.525	197.687
dengan TEG	suhu akhir (C)	0.7	0.5	0.2	0.2	0.1	0.4
	m (kg/s)	0.0288	0.02562	0.02537	0.0218	0.02561	0.02176
	Qout (J/s)	4.254	28.86	26.188	20.704	22.628	19.144
	Qin (J/s)	25.1798	35.7321	98.938	110.759	160.525	197.687

Tabel 3. 2 Spesifikasi TEG Tipe SP 184827145 SA

<b>Tegangan(Volt)</b>	0,97	1,8	2,4	3,6	4,8
<b>Arus (Ampere)</b>	225	368	469	558	669
<b>Temperature (°C)</b>	20	40	60	80	100
<b>Watt</b>	0,218	0,662	1,1256	2,088	3,211

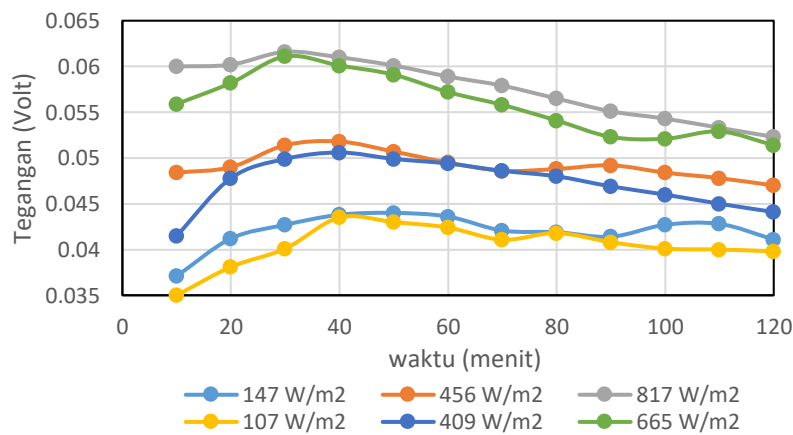
Tabel 3.3 Temperatur dan Intensitas

Intensitas (W/m <sup>2</sup> )	dengan TEG	tanpa TEG
	T max (C)	T max (C)
107	33.5	38.3
147	34.4	39.2
409	39.3	47.4
456	42.5	46.8
665	44.1	57.2
817	49.8	61.3

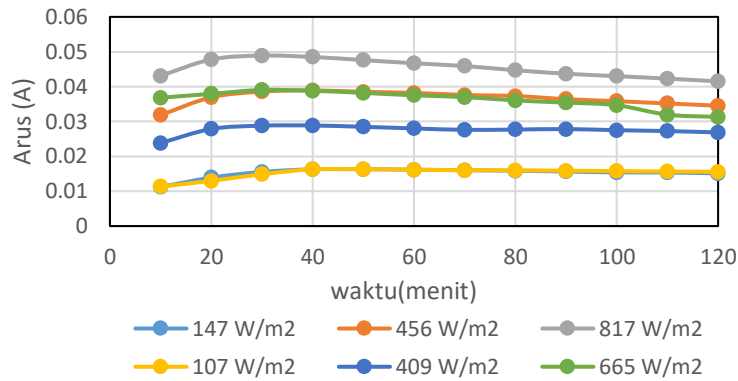


Gambar 3.3 Grafik Temperatur terhadap Intensitas

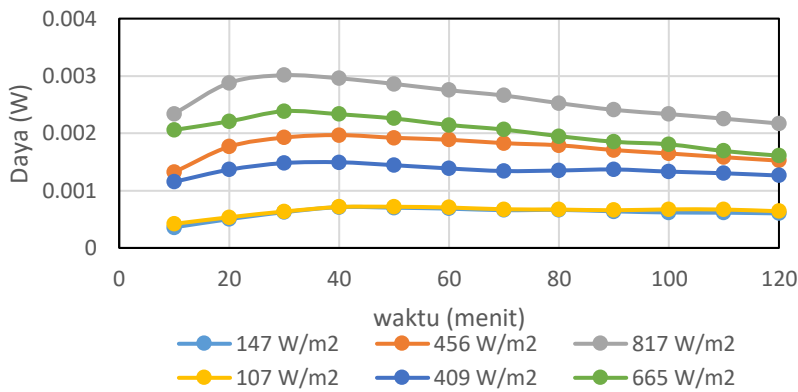
Pada gambar 3.3 dan tabel 3.3 merupakan nilai temperatur maksimal pada setiap intensitas untuk melihat perbandingan nilai temperature yang dihasilkan saat menggunakan TEG dan tanpa menggunakan TEG. Temperatur lebih tinggi saat keadaan tanpa TEG dibandingkan menggunakan TEG dikarenakan panas yang diberikan oleh simulator radiasi hanya untuk memanaskan pipa tembaga yang ada pada STC dan tidak terbagi seperti saat menggunakan TEG. Temperatur terbesar terdapat pada intensitas 817 W/m<sup>2</sup> sebesar 61,3 °C pada keadaan tanpa TEG. Dapat dilihat juga ketika keadaan dengan TEG air menjadi hangat atau panas pada intensitas 409 W/m<sup>2</sup>, sedangkan keadaan tanpa TEG air dapat dikatakan hangat pada intensitas 107 W/m<sup>2</sup>.



Gambar 3. 4 Grafik Tegangan terhadap Waktu



Gambar 3.5 Grafik Arus terhadap Waktu



Gambar 3.6 Grafik Daya terhadap Waktu

Pada gambar 3.4 merupakan perubahan tegangan TEG yang dihasilkan yang didapat langsung dari TEG dengan melakukan pengukuran menggunakan multimeter. Pada intensitas 107 W/m<sup>2</sup> tegangan yang dihasilkan kecil, ketika semakin besar intensitas semakin besar juga tegangan yang dihasilkan pada multimeternya. Pada penelitian ini tegangan makin besar pada intensitas 817 W/m<sup>2</sup> yaitu sebesar 0,0616 volt. Pada gambar 3.5 merupakan perubahan arus pada TEG yang dihasilkan yang didapat langsung dari TEG dengan melakukan pengukuran menggunakan multimeter. Pada intensitas 107 W/m<sup>2</sup> arus yang dihasilkan kecil, ketika semakin besar intensitasnya semakin besar juga arus yang dihasilkan pada multimeternya. Pada penelitian ini arus makin besar pada intensitas 817 W/m<sup>2</sup> yaitu sebesar 0.0478 ampere. Pada grafik 3.6 dapat dilihat perbandingan daya listrik yang dihasilkan pada setiap intensitas. Dan daya tertinggi yang dihasilkan yaitu 0,00392 W dengan intensitas 817 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan daya terendah yang dihasilkan sebesar 0,00042034 W dengan intensitas 107 W/m<sup>2</sup>. Daya (watt) dihasilkan dari perkalian antara tegangan (volt) dan arus (ampere) yang telah dihubungkan dengan TEG dan diukur menggunakan dua buah multimeter. Semakin besar intensitas nya semakin besar juga daya yang dihasilkan. Pada percobaan data ini dihasilkan daya yang kecil karena pada satu buah TEG menghasilkan daya yang kecil pula hanya bekisar 0,218 pada temperatur 20°C pada spesifikasi TEGnya.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

Diantara 2 sistem ini, sistem SWH dengan penambahan TEG dengan modifikais desain dan jumlah TEG seperti ini tidak efektif karena efisiensi termal yang dihasilkan lebih kecil dari pada sistem tanpa TEG. Sistem menggunakan TEG lebih kecil efisiensni termalnya karena panas yang diberikan oleh simulator radiasi terbagi ke STC dan TEG yang mebuat efisiensi termal menjadi kecil sedangkan ketika tanpa TEG, panas yang diberikan simulator langsung ke STC. Pada sistem keadaan tanpa TEG didapatkan nilai efisiensni termal tertinggi 81.98% dengan intensitas 107 W/m<sup>2</sup>. Sedangkan efisiensi termal terendah sebesar 19.23% dengan intensitas 817 W/m<sup>2</sup>. Konversi energi dari panas pada TEG masih dapat memberikan atau meneruskan panasnya ke STC untuk menghasilkan air hangat ataupun panas. Pada alat ini konversi energi yang dihasilkan dari perbedaan temperature pada kedua sisi TEG sangat kecil sehingga hanya mendapatkan tegangan, daya dan arus listrik yang kecil jika digunakan untuk kebutuhan sehari – hari. Dengan modifikasi desain yang lain dan jumlah TEG yang banyak mungkin bisa menjadi solusi untuk menghasilkan air hangat sekaligus listrik yang baik untuk kebutuhan sehari – hari.

Adapun Saran untuk penelitian selanjutnya :

1. Dari hasil pengujian dapat diberikan sistem kontrol agar otomatis dan mendapatkan hasil yang lebih optimal.
2. Pengujian dapat dilakukan diruangan yang tertutup agar pengaruh lingkungan tidak besar pada pengujian sistem.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai modifikkasi desain agar kalor terbuang dengan baik sehingga TEG SP 184827145 SA memiliki selisih suhu yang besar sehingga listrik yang dihasilkan juga semakin besar dan bisa diterapkan pada kondisi real.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rowe David M. Chapter 1. Introduction. CRC Handbook of Thermoelectrics, D. M. Rowe; 1995.
- [2] Min G. In: Rowe DM, editor. Thermoelectrics Handbook Macro to Nano. CRC Press; 2006.
- [2] Ruchi Shukla, K. Sumathy n, Phillip Erickson, Jiawei Gong : Recent advances in the solar water heating systems: A review.
- [3] Kemp CM. US patents no 451384, April 28, 1891. (Patent Records)