

## Uji Performa Termoelektrik pada *Generator Air Cooler*

Makmur Saini<sup>1\*</sup>, Sonong<sup>2</sup>, A. M. Aslan Afif. A<sup>3</sup> dan Suhartiwi Suaib<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia  
\*makmur.saini@poliupg.ac.id

**Abstract:** *Generator Air Cooler (GAC) is an important part of the hydropower system which is used to cool the air in the generator room. GAC is a form of application of a heat exchanger (heat exchanger) with water as a coolant. There is a difference in air temperature before and after the GAC, so presumably it can be utilized by using a thermoelectric which is expected to work well as a coolant, in this case it takes into account its ability to absorb heat as a thermoelectric input and generate electrical energy as its output. From the test results, the addition of a thermoelectric was able to increase the effectiveness and NTU and also reduce LMTD. The effectiveness of the resulting GAC without thermoelectric addition yielded 89.90%, 91.85%, and 91.51%. Meanwhile, if the thermoelectric is added, it is 91.39%, 92.82%, and 92.58%. The electric power generated from three days of thermoelectric testing was 0.022W, 0.019W, and 0.021W, with an efficiency of 6.44%, 5.18%, and 4.07%.*

**Keywords:** *generator air cooler, thermoelectric, efectivity, LMTD, NTU.*

**Abstrak:** *Generator Air Cooler (GAC) merupakan bagian yang penting dalam system PLTA yang digunakan untuk mendinginkan udara dalam ruang generator. GAC merupakan bentuk pengaplikasian alat penukar kalor (heat exchanger) dengan air sebagai pendinginnya. Adanya selisih temperature udara sebelum dan setelah GAC, maka kiranya dapat dimanfaatkan dengan menggunakan termoelektrik yang diharapkan mampu bekerja dengan baik sebagai pendingin dalam hal ini memperhitungkan kemampuannya menyerap kalor sebagai input termoelektrik dan menghasilkan energy listrik sebagai outputnya. Dari hasil pengujian, penambahan termoelektrik mampu meningkatkan efektivitas dan NTU serta menurunkan LMTD. Efektivitas GAC yang dihasilkan tanpa penambahan termoelektrik menghasilkan 89.90%, 91.85%, dan 91.51%. Sedangkan jika ditambahkan termoelektrik sebesar 91.39%, 92.82%, dan 92.58%. Daya listrik yang dihasilkan dari tiga hari pengujian termoelektrik sebesar 0.022W, 0.019W, dan 0.021W, dengan efisiensi 6.44%, 5.18%, dan 4.07%.*

Kata kunci : *generator air cooler, termoelektrik, efektivitas, LMTD, NTU.*

### I. PENDAHULUAN

Semakin meningkatnya penggunaan energi listrik dan berkurangnya cadangan energi fosil memaksa pemerintah untuk mengembangkan energi terbarukan dalam pemenuhan kebutuhan energi listrik. Menilik posisi geografis Indonesia yang memiliki potensi energi air sekitar 75.000 MW sehingga PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) menjadi jalan keluar dari masalah tersebut. Namun dengan besarnya potensi tersebut, pemanfaatannya hanya sekitar 8% sehingga masih perlu digencarkan untuk mengurangi penggunaan pembangkit yang masih menggunakan energi fosil.

PLTA menggunakan energi hidrolis pada air yang dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin yang telah dikopel dengan generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Adapun yang menjadi komponen utama dalam penghasil energi listrik yaitu generator. Generator pada sistem PLTA menggunakan *hydro generator* yang terpasang vertikal dan memiliki ukuran besar. Dalam menunjang kerja dari *hydro generator* diperlukan sistem pendingin. Sistem pendingin merupakan suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya *over-heating* (panas yang berlebihan) pada mesin agar mesin dapat bekerja secara stabil [1]. Pada generator akan timbul panas akibat fenomena induksi listrik dan menghasilkan rugi-rugi kumparan pada rotor maupun stator. Panas ini akan diserap oleh udara dan udara tersebut akan didinginkan melalui *generator air cooler*. Suhu udara panas dalam generator dapat mencapai 75°C dan diturunkan menggunakan air yang disirkulasikan di dalam *generator air cooler* sehingga suhu air pun meningkat dari 28°C menjadi 32°C dan suhu udara menurun dari 75°C menjadi 34°C [2].

Udara panas dari dalam generator memiliki perbedaan suhu dengan air pendingin memicu peneliti untuk memanfaatkannya menggunakan termoelektrik. Selain itu pemasangan termoelektrik dapat dikombinasikan dengan alat penukar kalor (*heat exchanger*) dalam hal ini *generator air cooler* sehingga panas yang diterima tidak langsung diturunkan melainkan dikonversi menjadi listrik. Semakin besar selisih temperatur pada kedua sisi termoelektrik maka semakin besar pula tegangan keluaran yang dihasilkan sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit daya. Untuk perbedaan  $60^{\circ}\text{C}$  yang terjadi pada termoelektrik akan menghasilkan  $2,4\text{V}$   $469\text{mA}$  [3]. Guna meningkatkan tegangan dan arus maka termoelektrik akan dipasang secara seri dan paralel sehingga dapat membangkitkan daya.

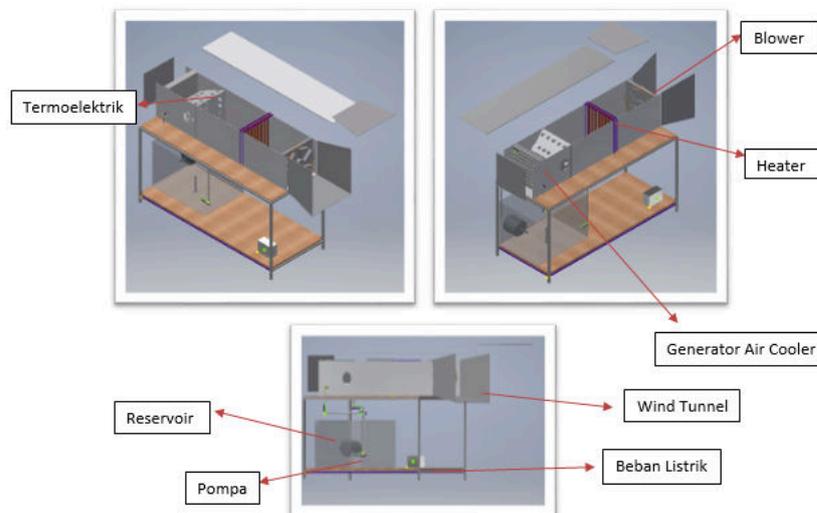
Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh [4] menggunakan termoelektrik tipe SP1848-27145 SA dengan sumber panas media plat tembaga untuk pengisian aki menghasilkan output  $6\text{ V}$  dan  $0,43\text{ A}$ . Penelitian lain yang dilakukan oleh [5] dengan memadukan termoelektrik dan panel surya untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan TEC-12706 menghasilkan  $0,73\text{ V}$ .

Maka dari itu perlu dilakukan pengujian mendalam mengenai pemanfaatan termoelektrik digunakan sebagai pendingin serta penghasil listrik untuk mengurangi penggunaan listrik dan pemanfaatan energi alternatif. Selain itu dapat menjadi rujukan dan referensi dalam pengembangan alat yang dapat memanfaatkan panas yang dihasilkan generator untuk diubah menjadi dingin dan menghasilkan daya listrik pula [6].

## II. METODE PENELITIAN

### A. Tempat dan Waktu Penelitian

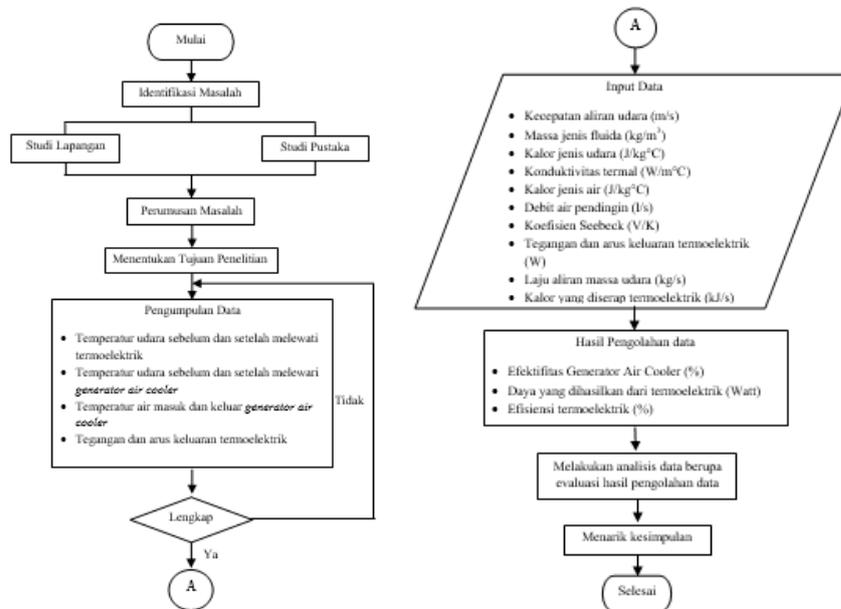
Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang selama 6 bulan. Pelaksanaan kegiatan diawali dengan perancangan alat dengan memodifikasi alat pengujian *Compact Heat Exchanger*, pembuatan, pengujian, evaluasi dan penyempurnaan alat, serta dilakukan pengambilan data.



Gambar 1. Skema Pengujian

### B. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dapat dilihat pada *flowchart* berikut:

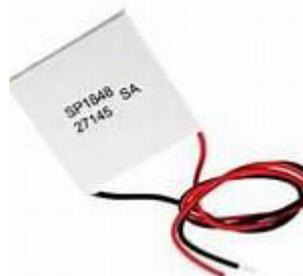


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Pengumpulan data dilakukan untuk menentukan kecepatan udara (m/s), debit air (liter/menit), temperatur udara panas yang masuk ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatur udara dingin yang keluar ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatur air pendingin yang masuk ( $^{\circ}\text{C}$ ), temperatur air pendingin yang keluar melalui *generator air cooler* ( $^{\circ}\text{C}$ ), tegangan keluaran (V), dan arus keluaran (A) pada termoelektrik. Setelah itu dilakukan perhitungan efektivitas *generator air cooler* tanpa dan dengan penambahan rangkaian termoelektrik yang telah ditentukan, serta menentukan performa termoelektrik kemudian penarikan kesimpulan [7].

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun termoelektrik yang digunakan yaitu termoelektrik generator dengan tipe SP1848-27145 SA.



Gambar 3. Modul Termoelektrik SP1848-27145 SA

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Unjuk Kerja Termoelektrik

No.	V udara (m/s)	Suhu sisi panas, T <sub>h</sub> (°C)	Suhu sisi dingin, T <sub>c</sub> (°C)	ΔT	Tegangan Keluaran (V)	Arus (A)
1.	0.7	35	33.5	1.5	0.05	0.005
		40	35.5	4.5	0.15	0.015
		45	38.75	6.25	0.3	0.03
		50	42.69	7.31	0.4	0.04
		55	50.13	4.87	0.3	0.03
2.	0.8	35	32.31	2.69	0.05	0.005
		40	35.25	4.75	0.25	0.025
		45	38.56	6.44	0.3	0.03
		50	42.25	7.75	0.35	0.035
		55	48.23	6.77	0.3	0.03
3.	0.9	35	32.63	2.37	0.05	0.005
		40	34.88	5.12	0.3	0.03
		45	38.13	6.87	0.4	0.04
		50	42.25	7.75	0.5	0.05
		55	48.13	6.87	0.5	0.05
4.	1	35	33.06	1.94	0.2	0.02
		40	34.88	5.12	0.3	0.03
		45	37.44	7.56	0.5	0.05
		50	42.13	7.87	0.6	0.06
		55	47.55	7.45	0.6	0.06
5.	1.1	35	31.19	3.81	0.25	0.025
		40	34.44	5.56	0.5	0.05
		45	36.75	8.25	0.55	0.055
		50	41.75	8.25	0.75	0.075
		55	45	10	0.55	0.055

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Pengaruh Penambahan Termoelektrik pada Generator Air Cooler

No.	V <sub>udara</sub> [m/s]	Q <sub>air</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Temperatur GAC [°C]				Termoelektrik Generator			
			Udara		Air		V <sub>L</sub> [V]	I <sub>L</sub> [A]	T <sub>h</sub> [°C]	T <sub>c</sub> [°C]
			Masuk	Keluar	Masuk	Keluar				
1.	1,1	0,00007	49,25	29,25	27,25	27,62				
2.			50,25	30,25	28	28,25				
3.			45,5	27,5	26	26,25	0,65	0,065	47	40,44
4.			46,75	28,5	27	26,81	0,5	0,05	48,1	43,31

Langkah Analisa Data [8].

1. Menghitung perpindahan panas actual

$$q_{act} = \dot{m}_h \times C_{ph} \times (T_{hi} - T_{ho}) = \dot{m}_c \times C_{pc} \times (T_{co} - T_{ci})$$

2. Perpindahan panas maksimum

C<sub>min</sub> merupakan kapasitas panas yang terkecil antara fluida air dan fluida udara.

Kapasitas panas setiap fluida dapat dicari melalui persamaan berikut :

$$C_c = \dot{m}_c \times C_{pc} \text{ dan } C_h = \dot{m}_h \times C_{ph}$$

3. Menghitung Efektivitas Generator Air Cooler
4. Menghitung Log Mean Temperature Difference ( $\Delta T_{LMTD}$ )
5. Menghitung koefisien perpindahan panas
6. Menghitung Number Thermal Unit (NTU)
7. Menghitung performa Termoelektrik Generator (TEG)

Tabel 3. Hasil Perhitungan Data Pengujian Unjuk Kerja Termoelektrik

No.	V udara (m/s)	Th side (°C)	Tc side (°C)	Delta T (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Koef Seebeck (V/°C)	qh (J/s)	Pout (Watt)	Efisiensi (%)
1	0.7	35	33.5	1.5	0.05	0.005	0.033	0.028	0.00025	0.878
		40	35.5	4.5	0.15	0.015	0.033	0.089	0.002	2.539
		45	38.75	6.25	0.3	0.03	0.048	0.163	0.009	5.520
		50	42.69	7.31	0.4	0.04	0.055	0.227	0.016	7.046
		55	50.13	4.87	0.3	0.03	0.062	0.179	0.009	5.023
2	0.8	35	32.31	2.69	0.05	0.005	0.019	0.044	0.00025	0.572
		40	35.25	4.75	0.25	0.025	0.053	0.127	0.006	4.921
		45	38.56	6.44	0.3	0.03	0.047	0.164	0.009	5.488
		50	42.25	7.75	0.35	0.035	0.045	0.201	0.012	6.082
		55	48.23	6.77	0.3	0.03	0.044	0.179	0.009	5.023
3	0.9	35	32.63	2.37	0.05	0.005	0.021	0.039	0.00025	0.635
		40	34.88	5.12	0.3	0.03	0.059	0.152	0.009	5.936
		45	38.13	6.87	0.4	0.04	0.058	0.216	0.016	7.412
		50	42.25	7.75	0.5	0.05	0.065	0.290	0.025	8.619
		55	48.13	6.87	0.5	0.05	0.073	0.316	0.025	7.919
4	1	35	33.06	1.94	0.2	0.02	0.103	0.103	0.004	3.874
		40	34.88	5.12	0.3	0.03	0.059	0.152	0.009	5.936
		45	37.44	7.56	0.5	0.05	0.066	0.275	0.025	9.101
		50	42.13	7.87	0.6	0.06	0.076	0.365	0.036	9.869
		55	47.55	7.45	0.6	0.06	0.081	0.396	0.036	9.102
5	1.1	35	31.19	3.81	0.25	0.025	0.066	0.118	0.006	5.311
		40	34.44	5.56	0.5	0.05	0.090	0.276	0.025	9.066
		45	36.75	8.25	0.55	0.055	0.067	0.304	0.030	9.955
		50	41.75	8.25	0.75	0.075	0.091	0.493	0.056	11.415
		55	45	10	0.55	0.055	0.055	0.332	0.030	9.125

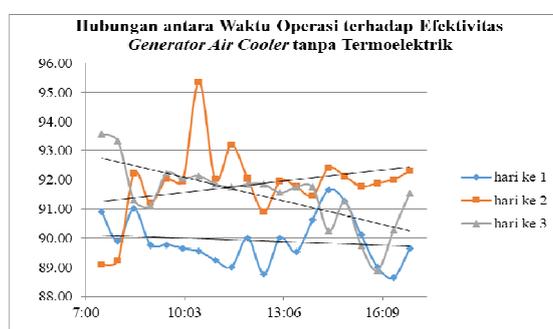
Tabel 4. Hasil Perhitungan Data Pengujian Pengaruh Penambahan Termoelektrik pada Generator Air Cooler

No.	Thi [°C]	Tbo [°C]	Tci [°C]	Tco [°C]	Qair [m³/s]	Vudara [m/s]	Generator Air Cooler						Termoelektrik			
							Qact air [J/s]	Qact udara [J/s]	Qmax [J/s]	ε [%]	ΔTLMTD [°C]	U.A [W/°C]	NTU	qh [W]	Po [W]	ηTEG [%]
1	49,25	29,25	27,25	27,62	0,0007	1,1	107,85	3003,68	3304,05	90,91	8,24	400,75	2,67			
2	50,25	30,25	28	28,25			72,85	2994,91	3331,84	89,89	8,66	381,45	2,54			
3	45,5	27,5	26	26,25			72,73	2728,32	2955,68	92,31	6,96	475,05	3,16	0,42	0,0042	10
4	46,75	28,5	27	26,81			90,20	2755,79	3057,80	90,12	7,80	423,52	2,82	0,34	0,025	7,45

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan hubungan antara waktu operasi terhadap efektivitas *generator air cooler* tanpa penambahan rangkaian termoelektrik bahwa pada pengujian hari pertama hingga hari ketiga terlihat hasil yang fluktuatif. Namun jika dilihat dari tren grafik hari pertama dan ketiga menunjukkan hasil yang berbanding terbalik, sedangkan pada hari kedua menunjukkan hasil yang berbanding lurus.

Pada hari pertama, efektivitas *generator air cooler* tertinggi dicapai pada pukul 14:30 WITA sebesar 91.67%, sedangkan untuk efektivitas terendah pada pukul 16:30 WITA sebesar 88.64%. Pada hari kedua, efektivitas *generator air cooler* tertinggi dicapai pada pukul 10:30 WITA sebesar 95.35%, dan efektivitas terendah pada pukul 07:30 WITA sebesar 89.09%. Dan untuk hari ketiga, efektivitas tertinggi pada pukul 07:30 WITA sebesar 93.59%, sedangkan efektivitas terendah pada pukul 16:00 WITA sebesar 88.89%.

Sehingga efektivitas rata-rata dengan waktu operasi dari pukul 07:30-17:00 WITA, didapatkan hasil untuk hari pertama nilai efektivitas rata-rata sebesar 89.90%, hari kedua sebesar 91.85%, dan hari ketiga sebesar 91.51%.

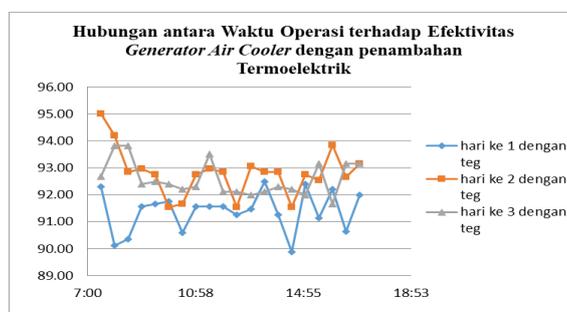


Gambar 4. Hubungan antara Waktu Operasi terhadap Efektivitas *Generator Air Cooler* tanpa termoelektrik

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan hubungan antara waktu operasi terhadap efektivitas *generator air cooler* dengan penambahan rangkaian termoelektrik bahwa pada pengujian hari pertama hingga hari ketiga terlihat hasil yang fluktuatif. Namun jika dilihat dari tren grafik hari kedua dan ketiga menunjukkan hasil yang berbanding terbalik, sedangkan pada hari pertama menunjukkan hasil yang berbanding lurus.

Pada hari pertama, efektivitas *generator air cooler* tertinggi dicapai pada pukul 13:30 WITA sebesar 92.50%, sedangkan untuk efektivitas terendah pada pukul 14:30 WITA sebesar 89.87%. Pada hari kedua, efektivitas *generator air cooler* tertinggi dicapai pada pukul 07:30 WITA sebesar 95.00%, dan efektivitas terendah pada pukul 12:30 WITA sebesar 91.55%. Dan untuk hari ketiga, efektivitas tertinggi pada pukul 08:00 WITA sebesar 93.83%, sedangkan efektivitas terendah pada pukul 16:00 WITA sebesar 91.67%.

Sehingga efektivitas rata-rata dengan waktu operasi dari pukul 07:30-17:00 WITA, didapatkan hasil untuk hari pertama nilai efektivitas rata-rata sebesar 91.39%, hari kedua sebesar 92.82%, dan hari ketiga sebesar 92.58%.

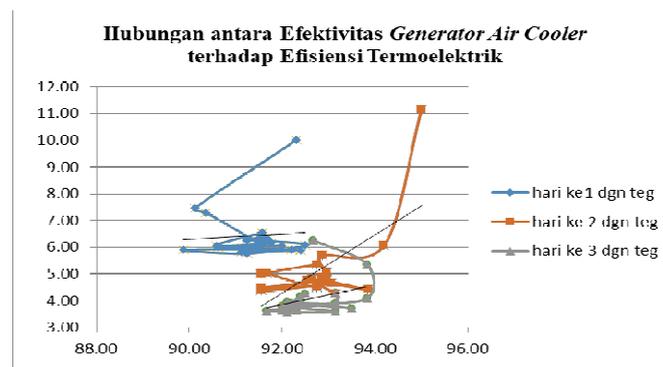


Gambar 5. Hubungan antara Waktu Operasi terhadap Efektivitas *Generator Air Cooler* dengan penambahan Termoelektrik

Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan hubungan antara efektivitas *generator air cooler* terhadap efisiensi termoelektrik bahwa pada pengujian hari pertama hingga hari ketiga terlihat hasil yang cenderung fluktuatif. Namun jika dilihat dari tren grafik hari pertama hingga hari ketiga menunjukkan hasil yang berbanding lurus, semakin besar efektivitas *generator air cooler* maka efisiensi termoelektrik cenderung meningkat pula.

Pada hari pertama, nilai efektivitas *generator air cooler* tertinggi sebesar 92.5% dengan efisiensi tertinggi sebesar 10.01%, sedangkan nilai efektivitas *generator air cooler* terendah pada 89.87% dengan efisiensi sebesar 5.75%. Pada hari kedua, nilai efektivitas *generator air cooler* tertinggi yaitu 95% dengan efisiensi sebesar 11.17%, sedangkan efektivitas *generator air cooler* terendah sebesar 91.55% menghasilkan efisiensi termoelektrik terendah 4.27%. dan pengujian hari ketiga menghasilkan efektivitas *generator air cooler* terbesar 93.83% dengan efisiensi termoelektrik sebesar 6.24%, sedangkan efektivitas *generator air cooler* terkecil sebesar 91.76% dengan efisiensi termoelektrik terkecil sebesar 3.57%.

Sehingga nilai rata-rata efektivitas *generator air cooler* hari pertama adalah 91.39% dengan efisiensi termoelektrik rata-rata sebesar 6.44%. Pada hari kedua rata-rata efektivitas *generator air cooler* sebesar 92.82% dengan efisiensi termoelektrik rata-rata sebesar 5.18%, dan pada hari ketiga sebesar 92.58% dengan efisiensi termoelektrik rata-rata sebesar 4.07%. Hal ini menunjukkan hubungan antara efektivitas *generator air cooler* terhadap efisiensi termoelektrik yang berbanding lurus, karena udara panas yang menuju *generator air cooler* kalornya akan terlebih dahulu diserap oleh susunan termoelektrik, sehingga efektivitas kinerja *generator air cooler* akan cenderung meningkat pula.



Gambar 6. Hubungan antara efektivitas *Generator Air Cooler* terhadap Efisiensi Termoelektrik

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Unjuk kerja termoelektrik pada *generator air cooler* berada pada suhu 50°C dengan kecepatan aliran udara sebesar 1.1m/s, jumlah kalor yang diserap sebesar 0.493J/s dan efisiensi sebesar 11.415%.
2. Nilai efektivitas *generator air cooler* rata-rata tanpa penambahan termoelektrik untuk hari pertama adalah sebesar 89.90%, hari kedua sebesar 91.85%, dan hari ketiga sebesar 91.51%. sedangkan jika ditambahkan rangkaian termoelektrik, efektivitas *generator air cooler* untuk hari pertama 91.39%, hari kedua sebesar 92.82%, dan hari ketiga sebesar 92.58%.
3. Daya listrik yang dihasilkan termoelektrik rata-rata hari pertama sebesar 0.022W, hari kedua 0.019W, dan hari ketiga 0.021W dengan efisiensi rata-rata termoelektrik hari pertama sebesar 6.44%, hari kedua sebesar 5.18%, dan hari ketiga sebesar 4.07%.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Handoyo, E. A dan Rahardjo T. 1999. Pengaruh Temperature Air pendingin terhadap Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel Stasioner di Sebuah Huller. Surabaya: Universitas Eka Putra.
- [2] Adzima, F. 2015. Pemeliharaan *System Water Cooling*. Laporan Kerja Praktek. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [3] Argianto, R. A dan istiyo Winarto. 2017. Rancang Bangun pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Antara *Solar Cell* Dan *Thermoelectric Generator (Teg)* Sebagai Sumber Energi Listrik Di KAPal Nelayan. Surabaya: Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan Universitas Hang Tuah.
- [4] Puspita, S. C. 2017. Generator Termoelektrik Untuk Pengisian Aki. Tugas Akhir. Surabaya: Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Diawan, F. A dkk. 2018. Pemanfaatan *Thermoelectric Cooler* Pada *Photovoltaic* Sebagai Pembangkit. Bandung: Universitas Telkom.
- [6] Anwar, K. 2011. *Efektivitas Alat Penukar Kalor pada Sistem Pendingin Generator PLTA*. Mektek Majalah Ilmiah Tahun XIII No.3. Palu: Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- [7] Anwar, M. C. 2017. Implementasi DC/DC Tipe Sepic Pada Generator Termoelektrik Menggunakan Kontrol MPPTIncremental Conductance (InC). Tugas Akhir. Jember: Fakultas Teknik Universitas Jember.
- [8] Aprianto, E. 2017. Analisa Unjuk Kerja Perpindahan Panas Air Cooler Generator Tipe Plate Finned-Tubes Compact Heat Exchanger Pada Unit 7 PLTA Cirata. Tugas Akhir. Cimahi: Jurusan teknik Mesin Universitas Jenderal Achmad Yani.