

## ANALISIS *TRAINER* KONVERSI ENERGI PANAS MENJADI ENERGI LISTRIK BERBASIS *THERMOELECTRICGENERATOR* DENGAN VARIASI PERUBAHAN SUHU

**Sandi Martino**

D3 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [sandimartino111@gmail.com](mailto:sandimartino111@gmail.com)

**Diah Wulandari, S.T.,M.T**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
Email: [diahwulandari@unesa.ac.id](mailto:diahwulandari@unesa.ac.id)

### Abstrak

Penggunaan alat peraga *trainer* konversi energi panas menjadi energi listrik berbasis *thermoelectric generator* dengan variasi perubahan suhu agar mendapatkan hasil output yang berbeda dengan menggunakan material bahan pada sisi pendingin dan sisi pemanas yang berbeda serta unit jobsheet *trainer* ini harus didesain sesuai dengan konsep dan layaksebagai media pembelajaran baik dari segi teknis. Berdasarkan latar belakang di atas maka dilakukan dengan metode penelitian eksperimen (*experiment research*). Penelitian awal adalah uraian tentang prosedur – prosedur atau langkah – langkah penulis untuk mengumpulkan data dan analisis data. Hasil yang diinginkan dalam penelitian ini adalah terciptanya *trainer* konversi energi dari energi panas menjadi energi listrik berbasis *thermoelectric generator* agar dapat mengetahui perbedaan  $\Delta T$ , V output dan I output yang dihasilkan oleh TEG dalam rentang waktu tertentu. Material yang bagus dari hasil pengujian adalah material berbahan bakar spiritus disisi pemanas dan air es disisi pendingin. Hal tersebut dilihat dari nilai efisiensi maksimum yang telah didapat yaitu senilai 19,6%, *figure of merit* sebesar 12,94 dan koefisien *seebeck* sebesar 0,01. Semakin besar nilai efisiensi semakin besar energi panas yang terkonversi menjadi listrik.

**Kata Kunci:** *Trainer, Thermoelectric Generator.*

### Abstract

Using thermoelectric generator-based heat energy conversion trainers with variations in temperature to get different output results using different material materials on the cooling side and heating side and the jobsheet trainer unit must be designed according to the concept and feasible as a learning medium both from a technical point of view. Based on the background above, it is carried out by experimental research methods. Early research is a description of procedures - procedures or steps - the writer to collect data and data analysis. The desired results in this study are the creation of energy conversion trainers from thermoelectric generators to be able to know the difference in  $\Delta T$ , V output and I output produced by TEG in a certain time span. The good material from the test results is the material of methylated fuel on the side of the heater and ice water on the side of the cooler. It is seen from the value of maximum efficiency that has been obtained which is worth 19.6%, figure of merit is 12.94 and the seebeck coefficient is 0.01. The greater the efficiency value the greater the heat energy that is converted to electricity.

**Keywords:** Trainer, Thermoelectric Generator.

### PENDAHULUAN

Alat peraga memiliki peran penting dalam kegiatan pembelajaran. Alat peraga mampu memberikan pengalaman visual kepada mahasiswa secara langsung antara lain untuk mendorong motivasi belajar, memperjelas dan mempermudah konsep yang abstrak dan mempertinggi daya serap belajar.

Fenomena dalam fisika yang tidak mampu dilihat secara langsung oleh mata memerlukan alat peraga untuk mampu memvisualisasikannya. Materi energi dan perubahannya misalnya, diperlukan alat peraga khusus untuk menunjukkan fenomena perubahan energi yang sulit dipahami bila hanya dijelaskan secara verbal saja. Pembelajaran secara langsung melalui demonstrasi maupun praktikum dengan alat peraga akan membantu

siswa mampu memahami konsep-konsep secara lebih mudah, efektif, menarik dan efisien. Alat peraga dapat digunakan mahasiswa untuk memberikan pengalaman secara nyata dalam pembelajaran.

Untuk mengkonversikan energi panas menjadi energi listrik dengan menggunakan *Thermoelectric Generator* (TEG). TEG menggunakan prinsip *thermoelectric* yang memanfaatkan efek *Seebeck*. Thomas J. *Seebeck* menjelaskan bahwa apabila dua jenis material logam yang tersambung berada di lingkungan dengan dua temperatur yang berbeda akan menimbulkan beda potensial.

*Thermoelectric* jenis TEC 12706 sebagai salah satu produk *thermoelectric* yang tersedia di pasaran, memiliki kemampuan mengkonversi energi panas menjadi energi

listrik atau sebaliknya. TEC 12706 terdiri dari sekumpulan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang dihubungkan dalam sebuah rangkaian tertutup, dibungkus dengan material keramik, berdimensi  $40 \times 40 \times 5 \text{ mm}^3$ . TEC 12706 berfungsi sebagai pendingin di salah satu sisi dan sebagai pemanas sisi lainnya apabila diberi aliran listrik arus searah, namun apabila alat ini di kedua sisinya diberi suhu yang berbeda, maka akan menghasilkan listrik arus searah. Pada saat perbedaan suhunya semakin besar maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan semakin besar pula

Dalam penggunaan *trainer* ini penulis menggunakan empat material diantaranya adalah air es, *air coolant* (radiator), spirtus dan minyak tanah. Pada sisi pendingin menggunakan material air es dan air coolant alasannya adalah material tersebut mempunyai titik didih dingin yang sangat baik, air es bisa sampai menembus nol derajat *celcius*. Sedangkan di sisi pemanas alasan menggunakan spirtus dan minyak tanah yaitu material tersebut memiliki titik didih panas yang sangat tinggi, sehingga suhu yang dihantarkan pada *heatsink* lebih cepat.

Media pembelajaran program keahlian praktikum berupa unit *jobsheet trainer* perpindahan panas merupakan salah satu potensi yang dapat digunakan mahasiswa dalam mengenal lebih dalam perkembangan teknologi perpindahan panas yang ada di Laboratorium Fisika. Unit *jobsheet trainer* ini harus didesain sesuai dengan konsep dan layak sebagai media pembelajaran baik dari segi teknis, fungsi dan unjuk kerja serta segi ergonomi dalam penggunaan sehingga dapat menunjang mata kuliah instalasi listrik industri.

## METODE

Dalam perencanaan mekanisme konsep “*Trainer* Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik Berbasis *Thermoelectric Generator*” harus dirangkai dan diketahui komponen – komponen utamanya terlebih dahulu. Dalam proses pengerjaan alat harus terdapat gambar 3D terlebih dahulu dan komponen - komponen utamanya.

Tahap-tahap analisa yang dilakukan untuk mengumpulkan data untuk selanjutnya dianalisa sampai dengan selesai dalam analisa ini adalah sebagai berikut:

- Analisis Masalah
  - Studi pustaka
  - Survey alat *trainer* konversi energi panas menjadi energi listrik berbasis *thermoelectric generator*.
  - Identifikasi masalah
    - Perubahan suhu pada  $\Delta T$  dari sisi dingin dan sisi panas TEG mempengaruhi tegangan yang dihasilkan.
    - Suhu ruangan berpengaruh terhadap temperatur TEG.
    - Material *heatsink* mempengaruhi perpindahan panas.
  - Merumuskan masalah

- Persiapan Pengujian
  - Menyiapkan *trainer* konversi energi panas menjadi energi listrik berbasis *thermoelectric generator*.
  - Menyiapkan variasi material berupa air radiator (*coolant*), dan air es. Sedangkan material diisi pemanas spirtus dan minyak tanah.
  - Menyiapkan alat tulis.

- Pengujian variasi material terhadap *trainer* konversi energi panas menjadi energi listrik berbasis *thermoelectric generator*.

Pada setiap pengujian variasi dengan menggunakan material yang berbeda dilakukan pencatatan hasil pengujian yang selanjutnya akan dilakukan proses analisis data.

- Pengambilan Data

Data yang diambil dari *trainer* ini adalah suhu pada *heatsink*, *voltase output* dan *ampere output* dalam setiap waktu yang telah ditentukan dengan 3 kali pengambilan data. Penentuan waktu ini berdasarkan waktu yang dibutuhkan.

- Analisis data

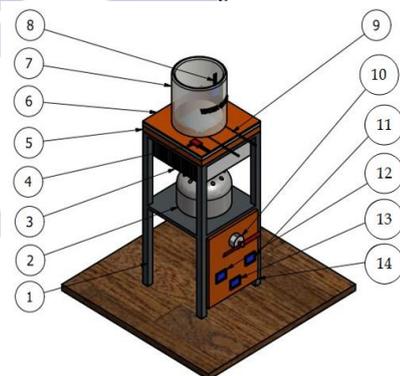
Setelah hasil dari setiap pengujian variasi dengan material yang berbeda, maka didapatlah data yang selanjutnya dilakukan perhitungan perpindahan panas ( $\Delta T$ ) dan pada sisi output.

- Kesimpulan

Setiap hasil yang didapat dari pengujian, selanjutnya akan dilakukan penyimpulan pengujian sesuai data yang diperoleh.

- Gambar 3D

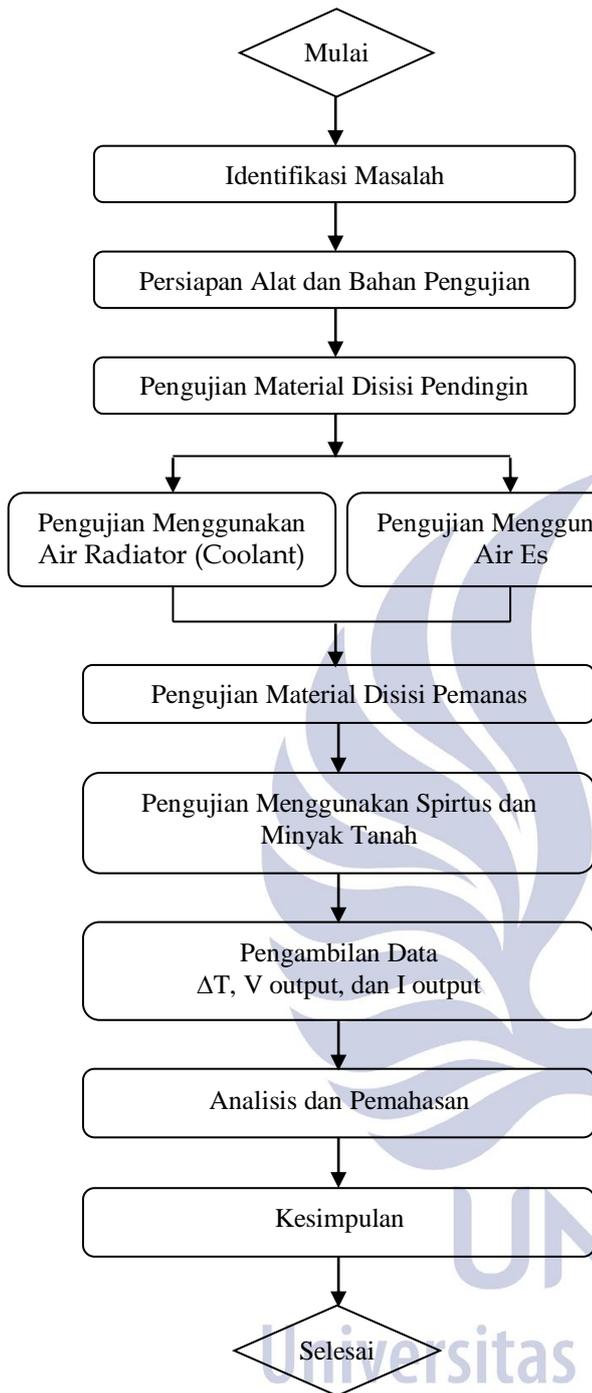
Gambar 3D *Trainer* konversi energi panas menjadi energi listrik berbasis *thermoelectric generator*



Gambar2 Komponen *trainer* konversi energi panas menjadi energi listrik berbasis *thermoelectric Generator*

### Keterangan :

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Rangka                           | 9. <i>Thermoelectric Generator</i>   |
| 2. Pemanas                          | 10. <i>Dinamo DC</i>                 |
| 3. <i>Heatsink</i>                  | 11. Indikator suhu pendingin         |
| 4. <i>Isolator</i> rangka           | 12. Indikator suhu pemanas           |
| 5. Sensor suhu pada <i>heatsink</i> | 13. <i>Voltmeter dan Amperemeter</i> |
| 6. <i>Isolator</i> gelas            | 14. Alas Kayu                        |
| 7. Gelas kaca                       |                                      |
| 8. Sensor suhu pada gelas           |                                      |



Gambar 1. Flow Chart Metode Penelitian

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil pengujian atau pengambilan data pada trainer konversi energi panas menjadi energi listrik berbasis *thermoelectric generator*, dapat diperoleh hasil data sebagai berikut:

Tabel 1 Pengambilan Data Bahan Material Spirtus dengan Air Coolant.

No.	Material Pemanas	Material Pendingin	Waktu (menit)	T Heatsink (°C)	T Es (°C)	V Output (V)	I Output (A)		
1	Spirtus	Air Coolant	2	57,9	31,9	0,2	0,01		
				55,5	33,5	0,2	0,01		
				53,7	32,7	0,2	0,01		
			Rata-rata			55,7	32,7	0,2	0,01
			3	77,9	32,9	0,3	0,02		
				76,5	33,4	0,3	0,02		
				75,7	33,2	0,3	0,02		
			Rata-rata			76,7	33,1	0,3	0,02
			4	95,7	34,9	0,3	0,02		
				93,9	32,7	0,3	0,02		
				94,7	33,5	0,3	0,02		
			Rata-rata			94,7	33,7	0,3	0,02

Tabel 2 Pengambilan Data Bahan Material Minyak Tanah dengan Air es.

No.	Material Pemanas	Material Pendingin	Waktu (menit)	T Heatsink (°C)	T Es (°C)	V Output (V)	I Output (A)		
2	Spirtus	Air Es	2	52,5	3,4	0,5	0,02		
				51,6	3,5	0,4	0,02		
				53,5	3,2	0,6	0,02		
			Rata-rata			52,5	3,3	0,5	0,02
			3	75,8	3,2	1	0,04		
				77,8	3,5	1,2	0,04		
				74	3,6	1	0,04		
			Rata-rata			75,8	3,4	1	0,04
			4	99,1	3,5	1,5	0,06		
				98,6	3,6	1,4	0,06		
				99,8	3,7	1,6	0,06		
			Rata-rata			99,1	3,6	1,5	0,06

Tabel 3 Pengambilan Data Bahan Material Minyak Tanah dengan Air Coolant.

No.	Material Pemanas	Material Pendingin	Waktu (menit)	T Heatsink (°C)	T Es (°C)	V Output (V)	I Output (A)		
3	Minyak Tanah	Air Coolant	2	51,5	34,7	0,1	0,01		
				49,7	33,3	0,1	0,01		
				49,3	32,4	0,1	0,01		
			Rata-rata			50,1	33,4	0,1	0,01
			3	57,9	34,7	0,2	0,01		
				58,7	33,2	0,2	0,01		
				58,9	33,4	0,2	0,01		
			Rata-rata			58,5	33,7	0,2	0,01
			4	65,2	34,8	0,3	0,01		
				63,9	34,5	0,3	0,01		
				64,3	32,5	0,3	0,01		
			Rata-rata			64,4	33,9	0,3	0,01

Tabel 4 Pengambilan Data Bahan Material Minyak Tanah dengan Air Es.

No.	Material Pemanas	Material Pendingin	Waktu (menit)	T Heatsink (°C)	T Es (°C)	V Output (V)	I Output (A)		
4	Minyak Tanah	Air Es	2	50,1	1,3	0,3	0,02		
				48,3	2,2	0,4	0,02		
				51,4	3,6	0,5	0,02		
			Rata-rata			49,9	2,3	0,4	0,02
			3	58,5	1,5	0,4	0,02		
				54,8	2,4	0,5	0,02		
				64,5	3,5	0,6	0,02		
			Rata-rata			59,2	2,4	0,5	0,02
			4	64,4	1,8	0,5	0,02		
				59,8	2,7	0,5	0,02		
				68,4	3,1	0,6	0,02		
			Rata-rata			64,2	2,5	0,6	0,02

Hasil pengujian pada tabel 1, 2, 3, 4 menunjukkan bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan oleh TEG

bertambah besar seiring dengan bertambahnya gradien temperatur antara kedua permukaan.

Beban yang digunakan dalam *trainer* diganti menggunakan dinamo dc, karena TEG hanya mampu menghasilkan Voltase maksimal 1,5 volt pada suhu heatsink 99,1°C. Dinamo Dc yang digunakan bergerak minimal dengan Voltase 0,15 Volt, voltase yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan lampu LED dengan tegangan 3 volt. Suhu diatas 110°C tidak dapat dibaca oleh termometer. Suhu diatas 120°C dapat merusak TEG. Berikut juga sebagai alasan mengapa *range* waktu yang diteliti juga diubah menjadi 2 menit, 3 menit, dan 4 menit.

Arus listrik yang dihasilkan juga cukup kecil, dengan arus maksimal yang dihasilkan 0,06 Ampere.

Sedangkan untuk pembacaan nilai arus listrik yang dihasilkan TEG menggunakan amperemeter digital dengan nilai baca minimal 0,2 Ampere. Untuk itu pembacaan ampere pada saat percobaan menggunakan AVO digital secara manual.

• **Data Hasil Validasi *Jobsheet* Praktikum Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik Berbasis *Thermoelectric Generator*.**

*Jobsheet* pada penelitian ini divalidasi oleh ahli materi, ahli desain dan ahli bahasa. Hasil dari lembar validasi *jobsheet* ini diisi oleh 3 validator dimana 2 dosen dari Fakultas Teknik dan 1 guru dari SMPN 1 Wlingi yang ditunjukkan pada tabel6 dibawah ini:

Tabel 5 validasi dari Ahli Bahasa

No.	Aspek Yang Divalidasi	Penilaian Oleh Validator
<b>Bahasa</b>		
1.	Penggunaan bahasa mudah dipahami dan sesuai dengan PUEBI (Pedoman Umum Ejaan Bahasa Indonesia).	4
2.	Susunan kalimat sesuai dengan kaidah bahasa dan kosakata sesuai dengan tuntutan keadaan sekarang.	4
3.	Bahasa yang digunakan terhindar dari hal-hal yang menimbulkan SARA.	5
<b>Isi</b>		
1.	Petunjuk dalam <i>jobsheet</i> mudah untuk dipahami.	5
<b>Jumlah</b>		<b>18</b>
<b>Presentase ( <math>P = (\sum x) / (\sum xi) \times 100\%</math> )</b>		<b>90%</b>
<b>Kategori</b>		<b>Valid</b>

Tabel 6 validasi dari Ahli Materi

No.	Aspek Yang Divalidasi	Penilaian Oleh Validator
<b>Pendahuluan</b>		
1.	Kelengkapan tujuan praktikum pada <i>jobsheet</i> yang dicapai oleh mahasiswa.	3
<b>Materi</b>		
1.	Isi <i>jobsheet</i> yang digunakan sesuai dengan materi.	3
2.	Isi <i>jobsheet</i> mampu merangsang keingintahuan mahasiswa.	3
3.	Sistematika <i>jobsheet</i> praktikum	3
4.	Uraian <i>jobsheet</i> jelas, urut, dan terperinci.	3
5.	Tabel pengamatan melatih keterampilan mahasiswa.	3
<b>Jumlah</b>		<b>18</b>
<b>Presentase ( <math>P = (\sum x) / (\sum xi) \times 100\%</math> )</b>		<b>60%</b>
<b>Kategori</b>		<b>Kurang Valid</b>

Tabel 7 validasi dari Ahli Desain

No.	Aspek Yang Divalidasi	Penilaian Oleh Validator
<b>Ilustrasi</b>		
1.	Ilustrasi dalam <i>jobsheet</i> jelas informasi mudah dipahami	2
2.	Penempatan ilustrasi sudah sesuai sehingga memudahkan untuk dipahami	2
3.	Ilustrasi yang digunakan terhindar dari hal-hal SARA.	5
<b>Format</b>		
1.	Menggunakan jenis dan ukuran huruf yang sesuai.	4
No.	Aspek Yang Divalidasi	Penilaian Oleh Validator
2.	Format <i>margin</i> dalam <i>jobsheet</i> ini sudah sesuai.	5
3.	Sistem penomoran dalam <i>jobsheet</i> jelas dan teratur	4
4.	Teks terbaca dengan jelas.	5
<b>Jumlah</b>		<b>27</b>
<b>Presentase ( <math>P = (\sum x) / (\sum xi) \times 100\%</math> )</b>		<b>77,1%</b>
<b>Kategori</b>		<b>Valid</b>

Pada tabel 5, 6 dan 7 diatas menjelaskan bahwa validasi *jobsheet* “Praktikum Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik Berbasis *Thermoelectric Generator*” mendapatkan nilai rata-rata dari 3 validator

sebesar 75,7% Sehingga *jobsheet* diatas dapat dikategorikan “Valid”

• **Pembahasan Hasil Pengujian Trainer Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik Berbasis *Thermoelectric Generator*.**

Dalam penggunaan *trainer* ini penulis menggunakan empat material diantaranya adalah air es, air coolant (radiator), spirtus, dan minyak tanah. Pada sisi pendingin menggunakan material air es dan air coolant alasannya adalah material tersebut mempunyai titik didih dingin yang sangat baik, air es bisa sampai menembus nol derajat *celcius*. Sedangkan di sisi pemanas alasan menggunakan spirtus, dan minyak tanah yaitu material tersebut memiliki titik didih panas yang sangat tinggi, sehingga suhu yang dihantarkan pada *heatsink* lebih cepat.

Besarnya koefisien Seebeck yang dihasilkan didefinisikan dengan persamaan.

$$S = \Delta V / \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

Dimana : S = Koefisien Seebeck (V/K)  
 $\Delta V$  = beda potensial (V)  
 $\Delta T$  = beda temperatur (K)

TEG dibuat dari bahan semikonduktor yang memiliki konduktivitas listrik tinggi dan konduktivitas panas yang rendah. Material yang banyak digunakan saat ini adalah Bi- Te dengan figure of merit (Z) tertinggi. Besarnya Z dapat dihitung dengan persamaan:

$$Z = S^2 \sigma / \lambda \dots\dots\dots (2)$$

Dimana : S = Koefisien Seebeck (V/K)  
 $\sigma$  = Konduktivitas listrik bahan (V/Am)  
 $\lambda$  = Konduktivitas panas bahan (W/mK)

Besarnya efisiensi maksimum pembangkit listrik *Thermoelectric Generator* ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{max} = (T_h - T_c) (\sqrt{1 + ZxT} - 1) / (T_h \sqrt{1 + ZxT} + 1) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana := Temperatur rata-rata  $T_h$  dan  $T_c$   
 $T_h$  = Temperatur sisi panas  
 $T_c$  = Temperatur sisi panas dingin  
 Z = Nilai figure of merit optimum dari kopel tipe-n/tipe-p

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan keluaran yang dihasilkan oleh TEG bertambah besar seiring dengan bertambahnya gradien temperatur antara kedua permukaan.

Beban yang digunakan dalam trainer diganti menggunakan dinamo dc, karena TEG hanya mampu menghasilkan Voltase maksimal 1,5 volt pada suhu *heatsink* 99,1°C. Dinamo Dc yang digunakan bergerak minimal dengan Voltase 0,15 Volt, voltase yang dibutuhkan lebih kecil dibandingkan lampu LED dengan tegangan 3 volt. Suhu diatas 110°C tidak dapat dibaca oleh termometer. Suhu diatas 120°C dapat merusak TEG. Berikut juga sebagai alasan mengapa *range* waktu yang

diteliti juga diubah menjadi 2 menit, 3 menit, dan 4 menit.

Arus listrik yang dihasilkan juga cukup kecil, dengan arus maksimal yang dihasilkan 0,06 Ampere.

Sedangkan untuk pembacaan nilai arus listrik yang dihasilkan TEG menggunakan amperemeter digital dengan nilai baca minimal 0,2 Ampere. Untuk itu pembacaan ampere pada saat percobaan menggunakan AVO digital secara manual.

Tabel 8 Hasil Perhitungan S, Z, dan  $\eta_{max}$

Percobaan	Material	Menit	Koefisien Seebeck (S)	Figure of Merit (Z)	Efisien Maksimum ( $\eta_{max}$ )
1	Spirtus - Air Coolant	2	0,008	10,35	6%
		3	0,006	7,76	12%
		4	0,004	5,17	16%
		Rata - Rata	0,006	7,74	11,3%
2	Spirtus - Air Es	2	0,01	12,94	14%
		3	0,01	12,94	20%
		4	0,01	12,94	25%
		Rata - Rata	0,01	12,94	19,6%
3	Minyak Tanah - Air Coolant	2	0,005	6,47	5%
		3	0,008	10,35	7%
		4	0,009	11,65	8%
		Rata - Rata	0,007	9,49	6,6%
4	Minyak Tanah - Air Es	2	0,008	10,35	15%
		3	0,008	10,35	16%
		4	0,009	11,65	17%
		Rata - Rata	0,008	10,78	16%

Pada tabel 8 dapat disimpulkan bahwa pada pecobaan 1 menghasilkan koefisien seebeck rata – rata sebesar 0,006 V/K, figure of merit sebesar 7,74 dan efisiensi maksimum 11,3%. Pecobaan 2 menghasilkan koefisien seebeck rata – rata sebesar 0,01 V/K, figure of merit sebesar 12,94 dan efisiensi maksimum 19,6%. Percobaan 3 menghasilkan koefisien seebeck rata – rata sebesar 0,007 V/K, figure of merit sebesar 9,49 dan efisiensi maksimum 6,6%. Sedangkan Percobaan 4 menghasilkan koefisien seebeck rata – rata sebesar 0,008 V/K, figure of merit sebesar 10,78 dan efisiensi maksimum 16%.

Dari data diatas material dengan koefisien seebeck tertinggi yaitu spirtus dengan air es sebesar 0,01 V/K yang mana material yang memiliki sifat konduktivitas listrik dan konduktivitas termal yang rendah akan memiliki sifat koefisien seebeck yang tinggi.

Figure of Merit tertinggi dihasilkan dari percobaan spirtus dengan air es sebesar 12,94 yang mana semakin besar nilai figure of merit semakin besar performa TEG.

Nilai efisiensi maksimum adalah bagian energi yang disalurkan menjadi proses yang berguna. Dari data diatas diperoleh efisiensi tertinggi adalah material spirtus dengan air es sebesar 19,6%. Semakin besar nilai efisiensi semakin besar energi panas yang terkonversi menjadi listrik.

Nilai efisiensi maksimum dapat ditingkatkan dengan cara membuat gradien temperatur semakin tinggi. Jadi dari semua data yang diperoleh material yang sangat bagus dalam percobaan diatas adalah material spirtus pada sisi pemanas dengan material air es pada sisi pendingin.

• **Konduksi**

Data yang digunakan untuk menghitung laju perpindahan kalor konduksi menggunakan percobaan dengan batas waktu 2, 3 dan 4 menit. Besarnya laju perpindahan kalor konduksi *Thermoelectric Generator* ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = -kA \left[ \frac{dT}{dx} \right] \dots\dots\dots (4)$$

Dimana : Q = laju perpindahan kalor ( Watt ),  
 K = konduktivitas *thermal*, merupakan  
 A = luas penampang (m<sup>2</sup>)

dT/dx = Gradien temperature dalam arah x (°C/m)

Dari data yang sudah diperoleh diatas dapat dihitung nilai konduktivitas dengan menggunakan percobaan dengan batas waktu 2,3 dan 4 menit. Hasil dari rata – rata percobaan diatas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan tabel dibawah ini:

Tabel 9 Hasil Perhitungan Konduksi setelah di rata-rata

No.	Percobaan	Material	Konduksi (Joule)
1	1	Spiritus – Air Coolant	-8719,3
2	2	Spiritus – Air Es	-14835,1
3	3	Minyak Tanah – Air Coolant	-4920
4	4	Minyak Tanah – Air Es	-11350,1

Pada tabel 9 dapat disimpulkan bahwa pada pecobaan 2 menghasilkan nilai konduksi sebesar -14835,1 Joule yang mana material yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang tinggi akan memiliki sifat konveksi yang tinggi. Dari ke empat variasi yang digunakan material yang paling bagus digunakan adalah spirtus dengan air es karena material tersebut memiliki sifat konduktivitas listrik dan konduktivitas termal yang rendah. Hal tersebut akan memiliki sifat koefisien yang tinggi dan Semakin besar nilai laju perpindahan panas semakin besar panas yang diserap.

**PENUTUP**

**Simpulan**

Hasil dan pembahasan pengujian dari studi kasus “Analisis *Trainer* Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik Berbasis *Thermoelectric Generator* Dengan Variasi Perubahan Suhu” dapat disimpulkan beberapa poin antara lain :

- Material yang bagus dari hasil pengujian adalah material berbahan bakar spirtus disisi pemanas dan

air es disisi pendingin. Hal tersebut dilihat dari nilai efisiensi maksimum yang telah didapat yaitu senilai 19,6%, *figure of merit* sebesar 12,94 dan koefisien *seebeck* sebesar 0,01. Semakin besar nilai efisiensi semakin besar energi panas yang terkonversi menjadi listrik.

- *Jobsheet* dan instrumen *trainer* konversi energi panas menjadi listrik berbasis *Thermoelectric Generator*, hal ini ditunjukkan dengan *jobsheet* “Praktikum Fisika Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik Berbasis *Thermoelectric Generator*” beserta variasi material (W/m°C), ahli bahasa dan ahli desain yang mendapatkan nilai rata-rata sebesar 75,7%. Sehingga *jobsheet* dapat dikategorikan “Valid”.

**Saran**

Hasil dan pembahasan pengujian dari studi kasus “Analisis *Trainer* konversi energi panas menjadi listrik berbasis *Thermoelectric Generator* dengan variasi perubahan suhu”, sehingga perlu saran untuk studi kasus analisis *trainer* konversi energi panas menjadi listrik berbasis *thermoelectric generator* dengan variasi perubahan suhu adalah:

- Untuk pembakaran perlu diperhatikan bagian peletakan kompor kecil untuk ditempatkan posisi api berdekatan dengan sirip-sirip heatsink guna mempercepat perpindahan panas.
- Penggunaan kompor pemanas sebaiknya pada kondisi api kecil. Karena spirtus dan minyak tanah mudah sekali menguap mengakibatkan munculnya api dari celah-celah kompor.
- Pengukuran T Heatsink (°C) dan T Dingin (°C) dilakukan 3 kali dan diambil rata-rata. Hasil yang didapatkan akan lebih terpercaya dan lebih akurat.
- Pengambilan data menggunakan batasan menit yaitu 2,3,4 menit
- Pengetahuan tentang harga baik alat maupun bahan yang digunakan agar biaya yang dikeluarkan tidak terlalu banyak.

**DAFTAR PUSTAKA**

Abdullah, Mikrajuddin. 2016. *Fisika Dasar 1*. Bandung: Institut Teknologi Bandung

Barsoum, M. W., 1997. *Fundamentals of Ceramics*. New York: Mc Graw-Hill Book Co

Callister, W.D., 2001. *Fundamental of Materials Science and Engineering*. United States of America: John Wiley & Sons Inc

FDA, (CBER), *Validation of Procedures for Processing of Human Tissues Intended for Transplantation*, guidance for industry, May 2002.

Holman J.P. E. Jasjfi, 1994, *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.

I, Masahiko, 2013. *Possibilities in thermoelectric conversion using a new principle: “spin seebeck effect”*. Japan: Smart Energy Research Laboratories.

Ismail, Basel I.; Ahmed, Wael H. 2008. *Thermoelectric Power Generation Using Waste-Heat Energy as an Alternative Green Technology*. Canada: Lakehead University.

Kern, D.Q., 1950. *Process Heat Transfer*. New York : McGraw-Hill International Book Company Inc.,

Winarso Surakhmad, 1998. *Pengantar Penelitian Ilmiah, Edisi Delapan*, Bandung.

