

26--

# \_Prestasi\_Generator\_Termoelekt rik-Bohlam\_Halogen1.pdf

*by*

---

FILE	26--_PRESTASI_GENERATOR_TERMOELEKTRIK-BOHLAM_HALOGEN1.PDF (1M)	WORD COUNT	4927
TIME SUBMITTED	23-SEP-2019 05:51AM (UTC+0700)	CHARACTER COUNT	29314
SUBMISSION ID	1177660124		

## PRESTASI GENERATOR TERMoeLEKTRIK DENGAN MEMANFAATKAN ENERGI KALOR BUANGAN BOHLAM HALOGEN

Zuryati Djafar<sup>1</sup>, Wahyu H. Piarah<sup>1</sup>, Nandy Putra<sup>2</sup>, Raldi A. Koestoer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10 Tamalanrea - Makassar, 90245

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Kampus Baru UI, Depok 16424

e-mail: [vydjafar@yahoo.com](mailto:vydjafar@yahoo.com)

2

### Abstract

Thermoelectric module (TE) is a thermo-element device that can harness the heat and convert it into electrical energy. As a electrical generator system, thermoelectric has several advantages i.e not noisy, easy maintenance, relatively small, lightweight and environmentally friendly because it does not produce pollution. In this paper, the research about the performance of thermoelectric module that used for electric generator has been done. Thermoelectric modules utilize low temperature waste-heat from a solar cell that simulated with a combination of a 50W bulb and a collector plate. Thermoelectric modules which tested are single and double modules in which for double modules, connectivity Thermal-Series, Thermal-Parallel, Electrical-Series and Electrical-Parallel were used. Parameters of performance such as output power generated are determined by measuring the temperatures difference and the voltages difference at the test module as well as using several equations. The results show that The results showed that the closer the heat source, the greater the output power generated by the thermoelectric module. of loading which gives the best performance occurs at 10Ω. Doubling thermoelectric modules will always provide increased power output and connectivity that gives the best

**Keywords:** thermoelectric generator, performance, waste heat, heat source

### Abstrak

Modul termoelektrik (TE) merupakan perangkat termo elemen yang dapat memanfaatkan panas dan mengubahnya menjadi energi listrik. Sebagai sistem temoelektrik generator, elemen ini tidak berisik, perawatannya mudah, dimensi relatif kecil, ringan dan ramah terhadap lingkungan karena tidak menghasilkan polusi. Pada makalah ini, penelitian dilakukan untuk mengkaji prestasi modul termoelektrik yang digunakan sebagai pembangkit listrik. Pada kajian ini, modul termoelektrik memanfaatkan suhu rendah limbah panas dari sebuah solar cell yang disimulasikan dengan kombinasi sebuah bohlam berdaya 50W dengan sebuah pelat kolektor. Modul TE yang diuji adalah modul tunggal dan ganda dimana untuk ganda digunakan koneksitas Seri Termal, Paralel Termal, Seri Listrik dan Paralel Listrik. Parameter prestasi seperti daya output yang dibangkitkan ditentukan berdasarkan hasil pengukuran beda temperatur dan beda tegangan pada seksi uji serta bantuan beberapa persamaan yang telah ada. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Semakin dekat sumber panas semakin besar pula daya output yang dihasilkan oleh modul termoelektrik. Pembebanan yang memberikan prestasi terbaik terjadi pada beban luar 10Ω. Penggandaan modul termoelektrik akan selalu memberikan peningkatan daya output dan koneksitas yang memberikan prestasi terbaik adalah koneksitas paralel termal.

**Kata kunci:** generator termoelektrik, prestasi, panas buang, sumber panas

## PENDAHULUAN

Permintaan dunia akan teknologi ramah lingkungan memberikan a yang besar pada penggunaan teknologi termoelektrik sebagai sumber energi alternatif. Termoelektrik merupakan sebuah konverter yang dapat mengubah energi panas menjadi energi listrik, tidak memiliki peralatan mekanik, tidak bising dan ramah lingkungan [1-5].

Sebagai sebuah perangkat sistem energi alternatif, generator termoelektrik (TEG) merupakan sebuah pembangkit daya yang bekerja berdasarkan efek Seebeck, yang pertama kali ditemukan pada tahun 1821 oleh

Arsitektur

Elektro

Geologi

Mesin

Perkapalan

Sipil

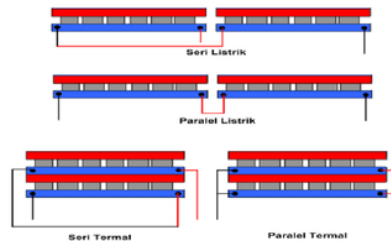
Thomas Johann Seebeck [6-9]. Dengan memanfaatkan teori efek Seebeck, panas buangan yang ada dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan arus listrik. Prinsip kerja dari efek Seebeck yang diaplikasikan pada sistem pembangkit termoelektrik dapat dijelaskan sebagai berikut: jikalau dua buah material semi konduktor yang saling terhubung berada di lingkungan dengan temperatur yang berbeda maka pada material tersebut akan mengalir arus listrik atau timbul gaya gerak listrik [7,8].

Sejumlah penelitian terhadap aplikasi termoelektrik generator yang memanfaatkan panas buangan telah dilakukan, di antaranya adalah analisis teoritik oleh Chi [10] dimana panas buangan dimanfaatkan untuk menjalankan sebuah generator termoelektrik sebagai sebuah model pendekatan mesin kalor. Sementara Eakburanawat *et al.* [11] dalam penelitiannya, telah mengembangkan *battery charger* berbasis termoelektrik. Sistem yang dikembangkan menghasilkan daya maksimum sebesar 7,99 Watt. Selanjutnya Eakburanawat *et al.*, Nuwayhid *et al.* [12] dalam penelitiannya mengembangkan dan menguji pembangkit termoelektrik pada tungku api tradisional di Libanon dengan menggunakan konveksi bebas pada sisi termoelektrik yang menghasilkan daya sebesar 4,2 Watt. Dalam risetnya Nuwayhid dan Hamade [13] juga merancang konfigurasi modul generator thermoelectric tunggal untuk aplikasi limbah panas dari kompor yang dikombinasikan dengan *heat sink thermosyphonic* jenis loop dan demikian pula Champier *et al.* [14] menggunakan termoelektrik pada kompor biomassa dalam memanfaatkan energi panas sebagai penghasil listrik untuk kipas angin dan pencahayaan. Masih dalam kaitan dengan kompor biomassa yang menggunakan termoelektrik, Lertsatitthanakorn [15] mengaplikasikannya pada sebuah radio kecil atau bohlam pijar berdaya rendah.

Dari uraian di atas terlihat bahwa masih terbuka kemungkinan untuk melakukan analisis pembangkit termoelektrik yang memanfaatkan panas buangan lain selain dari kompor/tungku, salah satunya adalah panas buangan dari sebuah solar cell. Apabila termoelektrik generator (TEG) dikombinasikan dengan sebuah solar cell dengan menempatkan modul TEG tersebut pada permukaan bawah solar cell untuk memanfaatkan panas buangannya, maka perbedaan temperatur antara permukaan bawah solar cell dan temperatur lingkungan dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan gaya gerak listrik. Untuk menghindari kendala cuaca yang tidak menentu selama percobaan maka sinar matahari disimulasikan dengan memberikan sinar yang berasal dari sebuah bohlam dan permukaan bawah solar cell disimulasikan dengan sebuah pelat kolektor.

## METODE PENELITIAN

Untuk mengetahui prestasi dari modul termoelektrik yang memanfaatkan energi panas buangan dari solar cell, dibuat simulasi dengan rancangan eksperimen seperti dalam gambar 1. Dalam gambar diperlihatkan sebuah pelat kolektor yang ditutup sedemikian sehingga agar panas yang diberikan dari sebuah bohlam Halogen 50W seminimal mungkin terbuang keluar ke lingkungan terbuka dengan melapisi dindingnya dengan isolator Styrofoam.

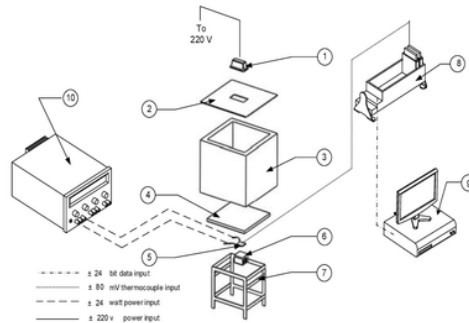


Gambar 1 Skematik jenis koneksi modul termoelektrik ganda

Pada pengujian ini jarak bohlam divariasikan berturut-turut 25 cm, 40cm, dan 60cm. Tinggi kotak Aluminium diatur sedemikian sehingga jarak bohlam mencapai posisi yang diinginkan dan luas permukaan alas kotak disesuaikan dengan luas pelat kolektor uji. Modul termoelektrik yang digunakan juga divariasikan dalam jumlah (tunggal dan ganda) dan koneksitasnya (lihat gambar 1) yang terdiri dari seri termal, seri listrik, paralel termal dan paralel listrik. Sementara pembebanan luar yang diberikan juga divariasikan masing-masing 10 $\Omega$ , 47 $\Omega$ , 100 $\Omega$ , dan 1000 $\Omega$ .

Selanjutnya pada sisi bawah dari permukaan pelat kolektor ditempelkan modul termoelektrik (gambar 2) yang berfungsi sebagai sebuah sistem yang akan menyerap kalor (energi panas) dari pelat kolektor untuk

menghasilkan gaya gerak listrik. Sementara permukaan bawah dari termoelektrik diharapkan dapat melepaskan kalor semaksimal mungkin agar perbedaan temperatur pada kedua permukaan termoelektrik tetap maksimal. Pelepasan kalor pada permukaan bawah termoelektrik biasanya dibantu dengan sebuah sistem pendinginan, namun dalam pengujian ini pendinginan yang diberikan masih berupa pendinginan udara bebas (tanpa bantuan sebuah komponen sistem pendingin).



Gambar 2 Instalasi Pengujian Karakteristik Modul Termoelektrik dengan Sumber Panas Bohlam Halogen

Pengambilan data akuisisi temperatur dan tegangan yang dihubungkan langsung pada komputer menggunakan komponen pendukung DAQ sistem dari National Instrumen dengan perangkat lunak program Lab. View 8.5 Pengukuran temperature dilakukan menggunakan termokopel tipe K (akurasi ± 0.01 °C) dengan modul NI-9213 dan pengukuran tegangan menggunakan modul NI USB NI-6009.

**Performance of Thermoelectric Module**

Untuk menganalisis sebuah prestasi modul termoelektrik, koefisien Seebeck yang menggambarkan tegangan (gaya gerak listrik) yang muncul akibat adanya perbedaan temperatur menjadi hal yang sangat penting. Koefisien Seebeck dapat dinyatakan dengan persamaan Seebeck [3,16] :

$$\alpha = \frac{\Delta V}{(T_h - T_c)} \tag{1}$$

dimana:

$\Delta V$  = perbedaan tegangan antara Junction [Volt]

$\alpha$  = koefisien Seebeck antara 2 material semikonduktor, P dan N [Volt/°C].

$T_h; T_c$  = temperatur termokopel sisi panas dan sisi dingin [°C]

Sedangkan arus listrik yang dibangkitkan diberikan dengan persamaan sebagai berikut [9,17]:

$$I = \frac{\alpha \times \Delta T}{R_i + R_L} \tag{2}$$

Dimana:

$I$  = arus listrik yang mengalir dalam rangkaian sistem [A]

$R_i$  = beban dalam listrik modul termoelektrik [ $\Omega$ ]

$R_L$  = beban luar [ $\Omega$ ]

$\alpha$  = koefisien Seebeck antara dua semikonduktor

$\Delta T = T_h - T_c$  :Perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) antara temperatur permukaan bawah pelat kolektor dengan temperatur permukaan bawah modul termoelektrik [°C]

Laju perpindahan kalor input ( $Q_h$ ) dari sumber panas  $T_h$  (hot junction) pada temperatur  $T_c$  (cold junction) adalah sebagai berikut [9]:

$$Q_h = (\alpha I T_h) + k(T_h - T_c) \tag{3}$$

dimana  $k$  adalah konduktivitas termal elemen modul [W/m°C].

Total daya output (P) untuk membangkitkan beban luar [9] dan efisiensi ( $\eta$ ) dari generator multi elemen termoelektrik adalah sebagai berikut [18]:

$$P = I^2 R_L \tag{4}$$

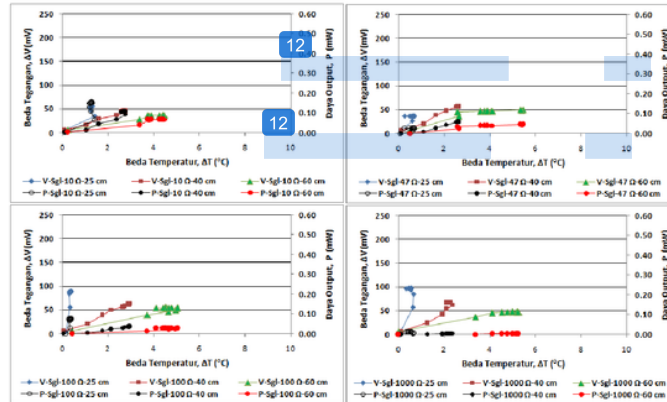
$$\eta = \frac{P}{Q_h} \tag{5}$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Parameter pengujian yang menjadi fokus pengamatan berturut-turut adalah perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ), perbedaan tegangan ( $\Delta V$ ), Arus ( $I$ ), Kalor input ( $Q_h$ ), Daya Output ( $P_{out}$ ) dan Efisiensi ( $\eta$ ). Dalam makalah ini hasil pengukuran dan perhitungan, ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Seperti yang telah dijelaskan pada set up eksperimen, hasil yang diperlihatkan adalah hasil pengukuran untuk modul termoelektrik (TE) tunggal dan ganda, dimana untuk ganda variasi koneksitasnya terdiri dari seri termal, paralel termal, seri Listrik dan paralel Listrik.

• *Modul TE Tunggal*

Hasil pengukuran dari perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) terhadap hasil pengukuran perbedaan tegangan ( $\Delta V$ ) bersama-sama dengan daya output ( $P$ ) untuk modul TE tunggal ditunjukkan pada gambar 3. Dalam gambar tersebut diperlihatkan 4 variasi pembebanan ( $10\Omega$ ,  $47\Omega$ ,  $100\Omega$  dan  $1000\Omega$ ) dimana pada setiap pembebanan dilakukan 3 variasi jarak bohlam (sumber panas) terhadap pelat kolektor panas masing-masing 25cm, 40cm dan 60cm.

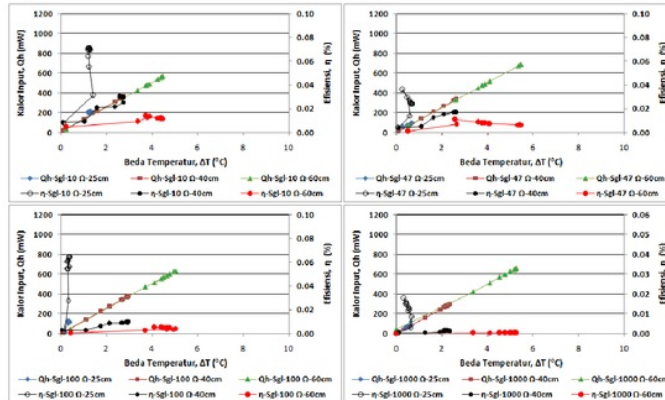


Gambar 3. Beda Temperatur terhadap Tegangan dan Daya Output yang dihasilkan oleh Modul TEG Tunggal pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

Pada setiap pembebanan terlihat bahwa semakin jauh sumber panas maka perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) yang diperoleh semakin besar. Pada jarak 60 cm, perbedaan temperatur berkisar  $4.47 \div 5.47^\circ C$  sedangkan pada jarak 40 cm berkisar  $2.36 \div 2.96^\circ C$  dan pada jarak 25 cm berkisar  $0.4 \div 1.4^\circ C$ . Walaupun perbedaan temperatur semakin meningkat dengan membesarnya jarak namun perbedaan tegangan ( $\Delta V$ ) yang dihasilkan semakin mengecil. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan koefisien Seebeck dengan membesarnya jarak bohlam. Selanjutnya, dari keempat variasi pembebanan yang diberikan memperlihatkan bahwa nilai  $\Delta V$  terbesar dicapai pada pembebanan  $1000 \Omega$  yakni berkisar  $97.98 \text{ mV}$  untuk jarak 25cm,  $66.83 \text{ mV}$  untuk jarak 40cm dan  $47.92 \text{ mV}$  untuk jarak 60cm pada  $\Delta T$  masing-masing  $0.46^\circ C$ ,  $2.11^\circ C$  dan  $5.19^\circ C$ . Sementara itu untuk daya output, fenomena yang terjadi sama dengan fenomena perbedaan tegangan namun nilai maksimal yang dihasilkan berada pada pembebanan  $10 \Omega$  yaitu sebesar  $0.15 \text{ mW}$  (jarak 25cm),  $0.11 \text{ mW}$  (jarak 40cm) dan  $0.07 \text{ mW}$  (jarak 60cm).

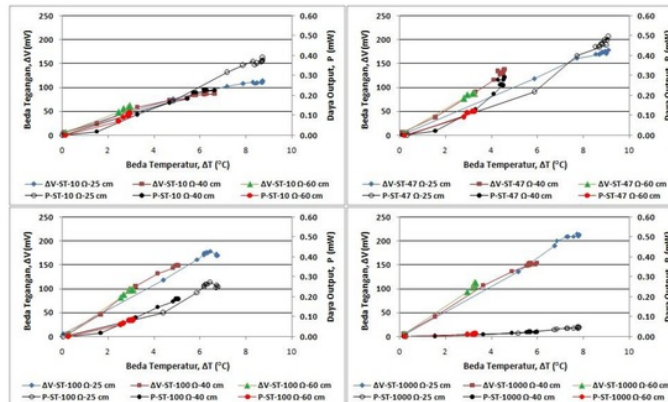
Masih untuk kasus TE tunggal, grafik antara perbedaan temperature ( $\Delta T$ ) terhadap Kalor Input ( $Q_h$ ) bersama Efisiensi ( $\eta$ ) untuk ke empat variasi pembebanan  $10\Omega$ ,  $47\Omega$ ,  $100\Omega$  dan  $1000\Omega$ , diperlihatkan pada gambar 4. Tampak dalam gambar, kalor input yang mampu diserap akan semakin besar dengan membesarnya jarak bohlam. Fenomena ini dapat dijelaskan dengan memperhatikan persamaan (3). Karena rasio suku pertama pada ruas kanan terhadap suku kedua relatif sangat kecil maka dapat dipastikan bahwa perbedaan temperatur sangat

berpengaruh pada serapan kalor input dari suatu modul termoelektrik. Oleh karena telah diperlihatkan sebelumnya bahwa perbedaan temperatur akan membesar dengan membesarnya jarak bohlam maka dengan demikian kemampuan menyerap kalor input pun akan membesar pula. Kalor input maksimal yang diserap terdapat pada pembebanan 47Ω, yaitu sebesar 688.12 mW dengan jarak sumber panas 60cm. Untuk efisiensi, gambar 4 memperlihatkan adanya penurunan dengan membesarnya jarak bohlam. Ini disebabkan adanya penurunan daya output yang sekaligus dibarengi adanya peningkatan kalor input. Efisiensi terbesar terdapat pada pembebanan 10Ω yang berkisar 0.072% pada jarak 25cm.



Gambar 4 Beda Temperatur terhadap Kalor Input dan Efisiensi yang dihasilkan oleh Modul TEG Tunggal pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

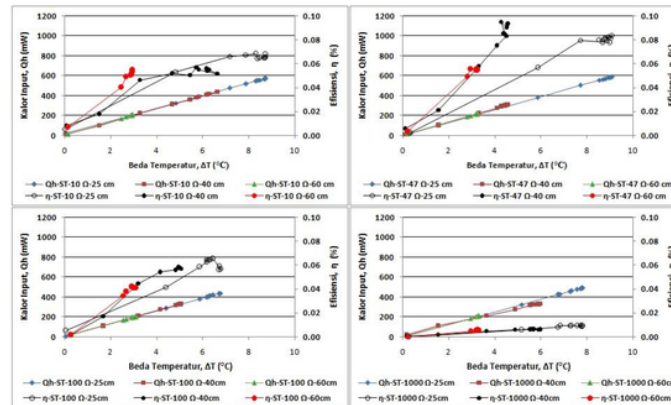
• Modul TE Ganda koneksi Serial Termal



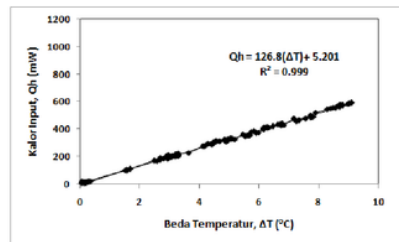
Gambar 5 Beda Temperatur terhadap Tegangan dan Daya Output yang dihasilkan oleh Modul TEG Ganda-seri Termal pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

Untuk modul TE ganda dengan koneksi seri termal, hasil pengukuran dari perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) terhadap hasil pengukuran perbedaan tegangan ( $\Delta V$ ) bersama daya output diperlihatkan pada gambar 5. Seperti halnya pada modul tunggal, pembebanan divariasikan 10Ω, 47Ω, 100Ω dan 1000 Ω dan dengan 3 variasi jarak sumber panas terhadap pelat kolektor panas; 25cm, 40cm dan 60cm. Terlihat bahwa posisi sumber panas terhadap pelat kolektor sangat mempengaruhi nilai dari  $\Delta T$  dan  $\Delta V$  yang dapat dicapai. Semakin jauh posisi sumber panas maka semakin kecil pula nilai yang diperoleh. Untuk bohlam dengan daya 50W, pembebanan 10Ω, pada jarak bohlam 25 cm nilai tertinggi dari  $\Delta T$  yang dapat dicapai sekitar 8.74°C dan  $\Delta V$  sebesar 113.73 mV, untuk jarak bohlam 40 cm menghasilkan  $\Delta T$  tertinggi sekitar 6.28°C dan  $\Delta V$  sekitar 86.87 mV dan jarak bohlam 60 cm  $\Delta T$  sekitar 2.96°C dan  $\Delta V$  sekitar 61.08 mV. Selanjutnya pada grafik terlihat pula bahwa untuk variasi pembebanan yang ditampilkan,  $\Delta V$  maksimum terjadi pada beban 1000 Ω dan  $\Delta V$  minimum pada beban 10Ω, sedangkan untuk beban 47Ω dan 100 Ω adalah relatif sama besar.

Jumlah daya output yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (4) ditunjukkan pula dalam gambar 5 dengan sumbu ordinat di sebelah kanan. Sangat jelas terlihat dalam gambar, bahwa peningkatan perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) akan memperbesar daya output yang dihasilkan. Selanjutnya terlihat pula, bila semakin dekat jarak sumber panas maka daya output yang dapat dihasilkan akan semakin besar. Hal ini mempertegas bahwa posisi sumber panas (bohlam) sangat menentukan besar prestasi modul termoelektrik. Selanjutnya daya output maksimal yang dapat diperoleh terjadi pada pembebanan 47 $\Omega$ ; untuk jarak 25 cm dihasilkan daya sebesar 0.50 mW dan untuk jarak 40 cm sebesar 0.29 mW serta untuk jarak 60 cm sebesar 0.12 mW. Sebagai bahan perbandingan, pada tabel 1 diperlihatkan hasil untuk pembebanan lainnya (10 $\Omega$ , 100 $\Omega$  dan 1000  $\Omega$ ).



Gambar 6.a Beda Temperatur terhadap Kalor Input dan Efisiensi yang dihasilkan oleh Modul TEG Ganda-Seri Termal pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm



Gambar 6.b Beda Temperatur terhadap Kalor Input yang diserap pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

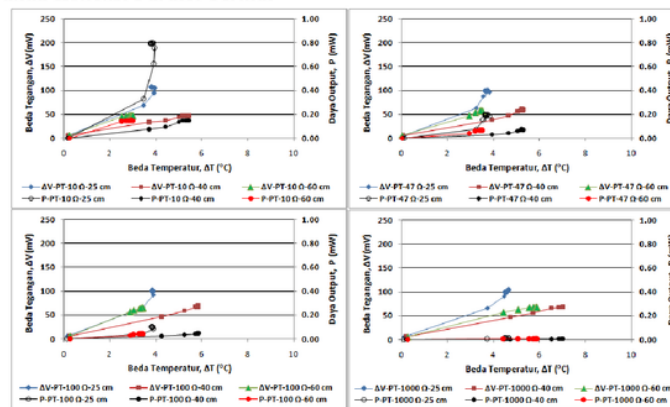
Selanjutnya gambar 6 memperlihatkan grafik antara perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) terhadap jumlah Kalor Input ( $Q_h$ ) bersama Efisiensi ( $\eta$ ) yang dihasilkan oleh modul TE ganda berkoneksi serial termal juga pada 4 variasi pembebanan dan 3 variasi jarak sumber panas (bohlam). Besarnya panas/kalor input ( $Q_h$ ) yang mampu diserap oleh modul TE diperoleh dengan menggunakan persamaan (3). Semakin besar perbedaan temperatur yang dapat dicapai maka makin besar pula kalor yang dapat diserap. Hal ini dapat pula dikatakan bahwa semakin kecil temperatur sisi dingin (semakin baik proses pendinginan dibawah modul TE) maka semakin banyak pula kalor yang dapat diserap. Selanjutnya, tampilan grafik untuk keempat variasi pembebanan, memperlihatkan tren linear. Linearitas yang terjadi sesuai hasil teoritik (persamaan 3), dimana perbedaan temperatur ekuivalen terhadap jumlah kalor input yang diperoleh. Hasil regresi linier untuk keempat variasi beban yang diberikan adalah  $Q_h = 126.8 \Delta T + 5.201$  dengan koefisien korelasi  $R=0,999$  (gambar 6.b). Persamaan ini merupakan persamaan praktis yang dapat digunakan sebagai persamaan alternatif pengganti persamaan (3).

Konsekuensi logis dari hal di atas, semakin jauh posisi bohlam maka semakin kecil jumlah panas yang diserap karena semakin kecil perbedaan temperature yang diperoleh. Pada pembebanan 10  $\Omega$  untuk jarak 25cm, jumlah kalor maksimal yang diserap sekitar 1122.11 mW, untuk jarak 40 cm sekitar 852.21 mW dan untuk jarak 60cm sekitar 392.26 mW. Penyerapan kalor untuk pembebanan lainnya (47 $\Omega$ , 100 $\Omega$  dan 1000 $\Omega$ ) dapat dilihat dalam tabel 1. Jika diperhatikan lebih lanjut, untuk masing-masing pembebanan yang diberikan dalam penelitian ini terlihat bahwa pada pembebanan 47 $\Omega$  penyerapan kalor input ( $Q_h$ ) paling baik dan pembebanan

100Ω paling jelek. Seperti halnya daya output, efisiensi pada modul TE juga merupakan parameter prestasi yang penting untuk mengetahui seberapa besar energi dari panas buangan yang dapat dimanfaatkan. Besarnya efisiensi ( $\eta$ ) dari modul TE diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan persamaan (5).

Tampak pada gambar 6 (dengan oordinat di sebelah kanan), tren grafik memperlihatkan karakteristik yang hampir sama dengan grafik-grafik kalor input yang dihasilkan, yakni kecenderungan peningkatan efisiensi ( $\eta$ ) dengan adanya peningkatan perbedaan temperature serta penurunan jarak posisi sumber panas (bohlam) terhadap pelat kolektor pengujian. Hal ini mengindikasikan pula bahwa terjadi peningkatan daya guna TE akibat peningkatan penyerapan kalor input yang diikuti oleh peningkatan daya output yang lebih besar. Dalam gambar menunjukkan efisiensi ( $\eta$ ) terbesar terdapat pada pembebanan 47Ω dan di jarak 40 cm. Untuk jarak 25 cm efisiensi yang dicapai sebesar 0.043%, untuk jarak 40 cm sebesar 0.049% dan untuk jarak 60 cm sebesar 0.028%.

• Modul TE Ganda Koneksi Paralel Termal



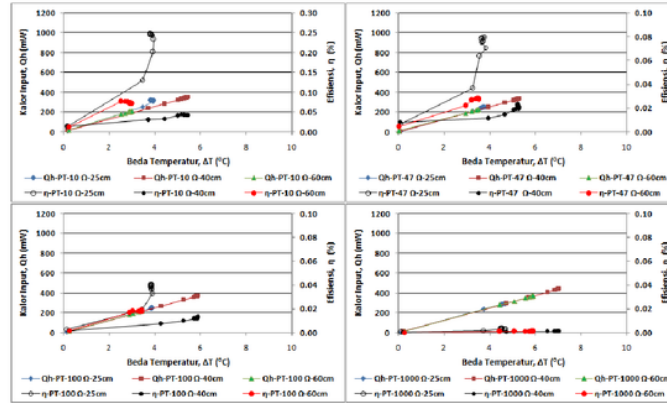
Gambar 7 Beda Temperatur terhadap Tegangan dan Daya Output yang dihasilkan oleh Modul TEG Ganda- Paralel Termal pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

Gambar 7 memperlihatkan hasil pengukuran dari perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) terhadap hasil pengukuran perbedaan tegangan ( $\Delta V$ ) bersama daya output yang dihasilkan pada modul TE ganda berkoneksi Paralel Termal. Seperti halnya pada gambar 3 dan 5, gambar ini juga menampilkan 4 variasi pembebanan yang diberikan (10Ω, 47Ω, 100Ω dan 1000 Ω) dengan 3 variasi jarak sumber panas terhadap pelat kolektor panas (25cm, 40cm dan 60cm). Pada gambar terlihat, dengan penambahan jarak bohlam dari 25cm ke 40cm menyebabkan kenaikan beda temperatur dan kemudian menurun kembali pada 60cm. Perbedaan temperature ( $\Delta T$ ) tertinggi dicapai pada pembebanan 1000 Ω yakni berkisar 4.67°C untuk jarak 25cm, 7.06°C untuk jarak 40cm dan 5.90°C untuk jarak 60cm. Untuk perbedaan tegangan ( $\Delta V$ ) yang dapat dicapai oleh modul TE ganda koneksi paralel termal menunjukkan bahwa semakin jauh jarak bohlam maka mula2 dari 25cm ke 40cm terjadi penurunan  $\Delta V$  yang cukup signifikan dan kemudian dari 40cm ke 60cm relatif kecil. Perbedaan tegangan yang dapat dicapai untuk setiap pembebanan relatif sama yaitu 107.6 mV (untuk jarak 25 cm), 46.4 mV (untuk jarak 40cm) dan 43.5 mV (untuk jarak 60cm).

Dengan memperhatikan oordinat sebelah kanan dalam gambar 7, terlihat bahwa semakin jauh jarak bohlam maka akan semakin kecil daya yang dapat dibangkitkan dimana penurunan yang cukup tajam terjadi pada pergeseran dari 25cm ke 40cm kemudian relatif kecil pada pergeseran dari 40cm ke 60cm. Daya maksimal yang dihasilkan terjadi pada pembebanan 10 Ω dan dengan jarak sumber panas 25cm yakni sebesar 0.8 mW, sebesar 0.15 mW untuk jarak 40cm dan 0.154 mW untuk jarak 60cm. Sementara itu daya minimum diperoleh pada pembebanan 1000Ω.

Selanjutnya gambar 8 memperlihatkan grafik antara perbedaan temperature ( $\Delta T$ ) terhadap Laju Kalor Input ( $Q_h$ ) yang dapat diserap bersama Efisiensi ( $\eta$ ) yang dicapai. Dan seperti halnya pada modul-modul TE sebelumnya, besarnya Laju perpindahan panas/kalor input ( $Q_h$ ) yang diterima oleh modul TE paralel Termal juga diperoleh dengan menggunakan persamaan (3). Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa kalor input

yang dapat diserap sangat bergantung pada perbedaan temperatur yang terjadi sehingga pada gambar terlihat bahwa fenomena naik turunnya kalor input identik dengan fenomena perbedaan temperatur.

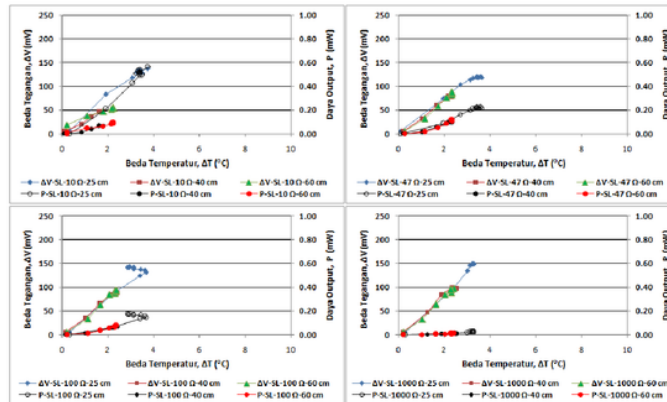


Gambar 8 Beda Temperatur terhadap Kalor Input dan Efisiensi yang dihasilkan oleh Modul TEG Ganda- Paralel Termal pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

Tampak pada gambar 8, laju kalor input terbesar ( $Q_h$ ) diperoleh pada pembebanan 1000Ω yaitu sebesar 571.6 mW untuk jarak 25cm pada perbedaan temperatur 4,55 °C, 874.7 mW untuk jarak 40cm pada perbedaan temperatur 6.98 °C, 739.4 mW untuk jarak 60cm pada perbedaan temperatur 5.90 °C. Namun pada pembebanan 1000 Ω ini, diperoleh harga efisiensi yang terkecil yaitu hanya berkisar 0.0018% (jarak 25cm) , 0.0005% (jarak 40cm) dan 0.0006% (jarak 60cm). Sebaliknya efisiensi terbesar diperoleh pada pembebanan 10Ω yaitu 0.1425% (jarak 25cm), 0.0225% (jarak 40cm) dan 0.0412 (jarak 60cm). dengan perbedaan temperatur masing-masingnya adalah 107.65 mV, 46.36 mV dan 46.36 mV.

• Modul TE Koneksi Seri Listrik

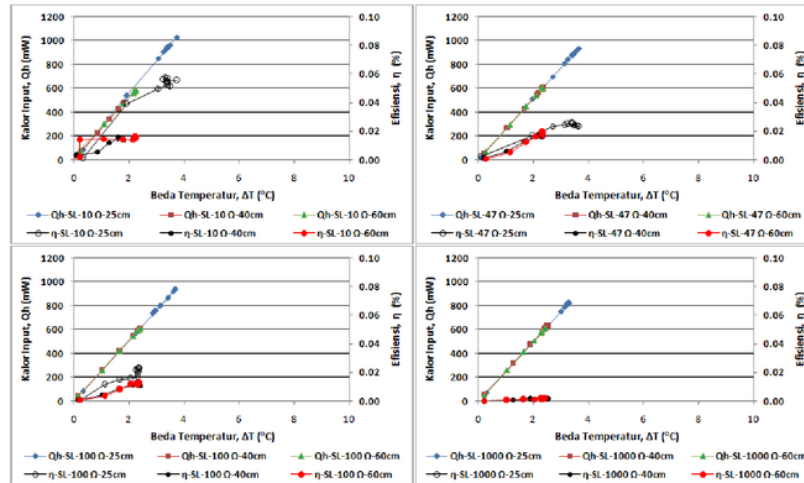
Seperti modul-modul TE lainnya, untuk modul TE ganda koneksi seri listrik, hasil pengukuran perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) terhadap hasil pengukuran perbedaan tegangan ( $\Delta V$ ) bersama daya output diperlihatkan dalam bentuk grafik ber ordinat 2 buah pada gambar 9.



Gambar 9 Beda Temperatur terhadap Tegangan dan Daya Output yang dihasilkan oleh Modul TEG Ganda- Seri Listrik pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

Tampak dalam gambar 9, penurunan  $\Delta T$  dan  $\Delta V$  yang cukup besar terjadi pada perubahan jarak sumber panas dari 25cm ke 40cm kemudian dari 40 cm ke 60cm perubahan yang terjadi relatif kecil. Untuk jarak 25 cm  $\Delta T$  berkisar 3.30°C dan  $\Delta V$  berkisar 136mV dan untuk jarak 40 cm  $\Delta T$  berkisar 2.23°C dan  $\Delta V$  berkisar 86,62 mV, serta untuk jarak 60 cm diperoleh  $\Delta T$  berkisar 2.29°C—dan  $\Delta V$  berkisar 78.21 mV.

Untuk daya output, terlihat bahwa penurunan yang cukup tajam terjadi pada perubahan jarak sumber panas dari 25cm ke 40cm dan selanjutnya pada perubahan jarak dari 40cm ke 60cm daya yang dihasilkan relatif sama. Daya output rata-rata untuk ketiga jarak tersebut berkisar 0.24 mV untuk jarak 25cm dan untuk jarak 40 cm berkisar 0.061mW, serta untuk jarak 60cm berkisar 0.07mW.



Gambar 10 Beda Temperatur terhadap Kalor Input dan Efisiensi yang dihasilkan oleh Modul TEG Ganda- Seri Listrik pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

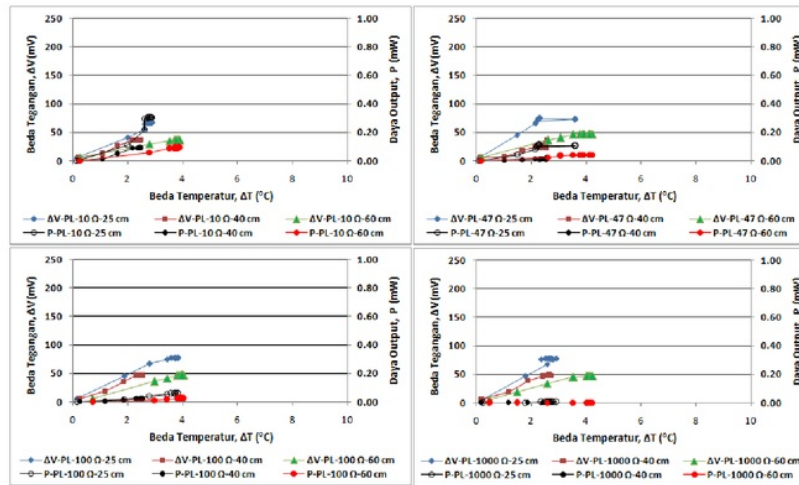
Selanjutnya, grafik hasil pengukuran perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) dengan kalor input ( $Q_h$ ) bersama efisiensi ( $\eta$ ) untuk modul TE ganda koneksi seri diperlihatkan dalam gambar 10. Dari gambar, jelas terlihat bahwa penurunan daya serap kalor input yang signifikan terjadi pada perubahan jarak sumber panas dari 25cm ke 40cm dan selanjutnya perubahan yang terjadi relatif kecil dari 40cm ke 60cm. Hal ini terjadi karena hubungan yang sangat signifikan antara  $\Delta T$  dan  $Q_h$  sehingga fenomena yang timbul identik. Jumlah kalor input rata-rata diperoleh berkisar 861.91mW untuk jarak sumber panas 25 cm dan berkisar 571.75mW untuk jarak 40cm serta berkisar 589.70mW untuk jarak 60 cm. Untuk penambahan pembebanan, terlihat bahwa pengaruhnya hanya terlihat pada jarak sumber panas 25cm. Semakin tinggi pemberian beban maka akan semakin kecil daya listrik yang dihasilkan. Untuk jarak yang lain, pengaruh pembebanan terhadap daya output relatif sangat kecil.

Dari segi efisiensi ( $\eta$ ), terlihat bahwa penurunan yang signifikan hanya terjadi pada perubahan jarak sumber panas dari 25cm ke 40 cm. Untuk perubahan pembebanan, pengaruh besar pembebanan cukup signifikan, dimana terlihat semakin besar pemberian pembebanan semakin kecil efisiensi yang akan dihasilkan. Hal ini dapat ditunjukkan dengan data, untuk pembebanan rata-rata 10 $\Omega$  berkisar 0.028%, untuk pembebanan 47 $\Omega$  berkisar 0.020%, untuk pembebanan 100  $\Omega$  berkisar 0.015% dan untuk pembebanan 1000 $\Omega$  berkisar 0.002%.

#### • Modul TE Koneksi Paralel Listrik

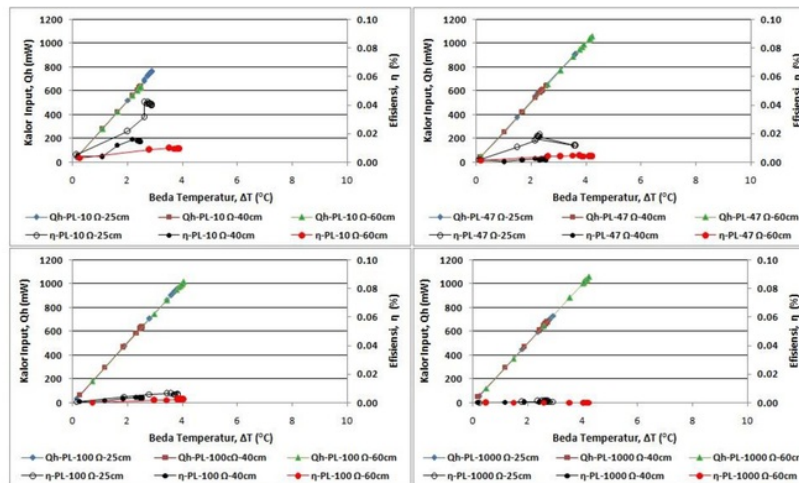
Hasil pengukuran perbedaan temperature ( $\Delta T$ ) dengan perbedaan tegangan ( $\Delta V$ ) bersama daya output (P) yang diperoleh Modul TE koneksi paralel listrik ditampilkan dalam gambar 11. Dan hasil pengukuran perbedaan temperature ( $\Delta T$ ) dengan kalor input ( $Q_h$ ) bersama efisiensi ( $\eta$ ) ditampilkan dalam gambar 12. Kedua gambar tersebut juga memperlihatkan hasil dari 4 variasi pembebanan dan 3 variasi jarak sumber panas terhadap pelat kolektor panas.

Tampak dalam gambar 11,  $\Delta T$  pada setiap pembebanan diperoleh berkisar 3.10°C untuk jarak 25cm dengan besar  $\Delta V$  berkisar 76.10 mV dan untuk jarak 40cm diperoleh  $\Delta T$  berkisar 2.52°C dengan  $\Delta V$  berkisar 76.82mV serta untuk jarak 60cm  $\Delta T$  berkisar 3.99°C dengan  $\Delta V$  berkisar 43.87mV. Sementara untuk daya output (P) rata-rata (ordinat kanan) yang diperoleh modul TE koneksi paralel listrik berkisar 0.08mW untuk jarak sumber panas 25cm, untuk jarak 40cm berkisar 0.03mW, dan untuk jarak 60cm berkisar 0.04 mW.



Gambar 11 Beda Temperatur terhadap Tegangan dan Daya Output yang dihasilkan oleh Modul TEG Ganda- Paralel Listrik pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

Selanjutnya grafik dalam gambar 12, menunjukkan jumlah kalor input ( $Q_h$ ) rata-rata yang dapat diserap oleh modul TE relatif sama untuk setiap variasi pembebanan kecuali pada pembebanan 10  $\Omega$  dan 2 variasi jarak sumber panas 40cm dan 60cm, dengan kata lain pengaruh pembebanan pada modul TE koneksi paralel listrik tidak terlalu signifikan untuk ke dua posisi sumber panas tersebut.. Hal ini dapat ditunjukkan dengan data berikut: untuk jarak 25cm, pada pembebanan 10 $\Omega$ , 47 $\Omega$ , 100 $\Omega$  dan 1000 $\Omega$  kalor input rata-rata masing-masing berkisar 752.95mW, 690.42mW, 946.02mW dan 918.23 mW; sementara untuk jarak 40 cm dan 60 cm, kalor input rata-rata relatif sama yakni berkisar 635.14 mW dan 993.69mW.



Gambar 12 Beda Temperatur terhadap Kalor Input dan Efisiensi yang dihasilkan oleh Modul TEG Ganda- Paralel Listrik pada pembebanan 10 Ohm, 47 Ohm, 100 Ohm dan 1000 Ohm

Dari gambar 12, terlihat pula harga efisiensi (pada ordinat kanan) yang diperoleh modul TE.sangat dipengaruhi oleh adanya penambahan pembebanan. Semakin besar pemberian beban maka semakin kecil harga efisiensi yang dicapai. Dan posisi sumber panas juga signifikan berpengaruh. Semakin dekat jarak sumber panas maka semakin menurun efisiensi modul.

#### • Pengamatan Secara Keseluruhan

Di atas telah dibahas karakteristik masing-masing modul baik tunggal maupun ganda serta koneksitasnya. Berikut ini akan disajikan hasil pengamatan menyeluruh dari modul TE yang diuji. Hasil dari pengamatan dengan membandingkan keseluruhan modul TE diperoleh hal-hal berikut:

- Jarak/posisi sumber panas terbaik yang menghasilkan daya dan efisiensi tertinggi adalah 25cm. Hal ini sebagai konsekuensi logis bahwa semakin dekat posisi sumber panas maka semakin besar daya output yang dibangkitkan.
- Penggandaan modul TE akan meningkatkan daya output yang dihasilkan. Penambahan satu modul TE dengan membuat koneksitas seri termal memberikan peningkatan daya sebesar 2.1 kali dibanding modul TE tunggal, untuk koneksitas TE paralel termal memberikan peningkatan 4.4 kali, untuk koneksitas TE seri listrik 2.6 x lebih besar dan untuk koneksitas TE paralel listrik 1.1 x lebih besar. Dari hal diatas diperoleh bahwa jenis koneksitas paralel termal yang memberikan peningkatan daya tertinggi dibanding koneksitas lainnya.
- Dari pengamatan untuk variasi pembebanan terlihat bahwa pembebanan terbaik terjadi pada beban 10Ω, kecuali untuk koneksitas TE seri termal, terjadi pada beban 47Ω.

## SIMPULAN

Dalam penelitian ini, diperoleh simpulan bahwa: Semakin dekat sumber panas semakin besar pula daya output yang dihasilkan oleh modul termoelektrik. Pembebanan yang memberikan prestasi terbaik terjadi pada beban luar 10Ω. Penggandaan modul termoelektrik akan selalu memberikan peningkatan daya output dan koneksitas yang memberikan prestasi terbaik adalah koneksitas paralel termal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UNHAS dan pemerintah Indonesia untuk mendanai penelitian ini melalui skema "Hibah Penelitian Prodi 2012".

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Gou Xiaolong, Xiao Heng, Yang Suwen., *Modelling, experimental study and optimization on low-temperature waste heat thermoelectric generator system*. Applied energy 87 pp. 3131-3136. 2010.
- [2]. G. Casano, S. Piva., *Experimental investigation of the performance of a thermoelectric generator based on Peltier Cells*. J. Experimental Thermal and Fluid Science (2011)
- [3]. S.B. Riffat, X. Ma, *Thermoelectrics: A review of present and potential applications*, Applied Thermal Engineering 216 (2003) 913-935.
- [4]. Scherrer, L. Vikhor, B. Lenoir, A. Dauscher, P. Poinas. *Solar thermoelectric generator based on sturudites*. J.Power Sources. 2003:141-148.
- [5]. A.K Pramanick, P.K. Das., *Constructal design of a Thermoelectric Device*. Int. J. of Heat and Mass Transfer 92006):1420-1426
- [6]. Hendricks, Terry. William T. Choate. *Engineering scoping study of thermoelectric generator systems for industrial waste heat recovery*. U.S. Department of Energy. Industrial Technologies Program. 2006.
- [7]. Lon E. Bell. *Cooling, Heating Generating Power, and Recovering Waste Heat with Thermoelectric devices*. J. Science Vol 321: 1457-1461, 12 September 2008.
- [8]. G. Min, D.M. Roe, *Handbook of thermoelectrics, Peltier devices as generator*, CRC Press LLC, Florida, 2005, p.470-479.
- [9]. H.J. Goldsmid. *Introduction to Thermoelectricity*. Springer Series in Material Science 121. Springer-Verl Berlin Heidelberg 2010.
- [10]. Chi Wu. *Analysis of waste-Heat Thermoelectric Power generators*. Applied Thermal Engineering. Vol.16 No.1:pp. 63-69. 1996.
- [11]. J. Eakburanawat, I.Boonyaroonate, "Development of a thermoelectric batter-charger with microcontroller- based maximum power point tracking technique" J. Appl. Energy, 83/7, 687-704. 2006
- [12]. Rida Y. Nuwayhid, Alan Shihadeh, Nesreen Ghaddar, "Development ad Testing of a Domestic Woodstove Thermoelectric Generator with Natural Convection Cooling", J.Energy Conversion and Management, Volume 46, Issues 9-10, 1631-1643.

- [13]. R.Y. Nuwayhid, R. Hamade , *Technical note: Design and testing of a locally made loop-type thermosiphonic heat sink for stove-top thermoelectric generators*. Renewable Energy 30 (2005) 1101–1116.
- [14]. D. Champier, J.P. Bedecarrats, M. Rivaletto, F. Strub. *Thermoelectric Power Generaton from Biomass Cook Stoves*. Energy 39 (2010) 935-942.
- [15]. C. Lertsatitthanaornk. *Electrical performance analysis and economic evaluation of combined biomass k stove thermoelectric (BITE) generator*. Bioresource Technology 98 (2007) 1670-1674.
- [16]. G. P.K. *Power Plant Engineering*, Second Edition. McGraw-Hill of India, New Delhi. 1995.
- [17]. Ono and R.O. Suzuki. *Thermoelectric power generation: converting low-grade heat into electricity*. Department of Energy Science and Technology, Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto. 1998.
- [18]. Lingen Chen, Fengrui Sun a, Chih Wu. *Thermoelectric-generator with linear phenomenological heat-transfer law*. Applied Energy 81 (2005) 358–364.

ORIGINALITY REPORT

% **12**  
SIMILARITY INDEX

% **11**  
INTERNET SOURCES

% **7**  
PUBLICATIONS

% **7**  
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

**1** [media.neliti.com](http://media.neliti.com) % **1**  
Internet Source

**2** [worldwidescience.org](http://worldwidescience.org) % **1**  
Internet Source

**3** Yousef S.H. Najjar, Musaab M. Kseibi. "Thermoelectric stoves for poor deprived regions – A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017 % **1**  
Publication

**4** [lib.ui.ac.id](http://lib.ui.ac.id) <% **1**  
Internet Source

**5** [uny.ac.id](http://uny.ac.id) <% **1**  
Internet Source

**6** [cms.doe.gov](http://cms.doe.gov) <% **1**  
Internet Source

**7** [www.acq.osd.mil](http://www.acq.osd.mil) <% **1**  
Internet Source

**8** [edge.rit.edu](http://edge.rit.edu) <% **1**  
Internet Source

---

9	<a href="http://www.ejournals.eu">www.ejournals.eu</a> Internet Source	<% 1
10	Submitted to Universiti Tunku Abdul Rahman Student Paper	<% 1
11	<a href="http://www.research-collection.ethz.ch">www.research-collection.ethz.ch</a> Internet Source	<% 1
12	Theodor Duenbostel, Roman U. Sexl. "Chapter 3 Elektronische Instrumente (EI)", Springer Nature, 1979 Publication	<% 1
13	<a href="http://cintasejatineati.blogspot.com">cintasejatineati.blogspot.com</a> Internet Source	<% 1
14	<a href="http://escholarship.org">escholarship.org</a> Internet Source	<% 1
15	Jiin-Yuh Jang, Ying-Chi Tsai. "Optimization of thermoelectric generator module spacing and spreader thickness used in a waste heat recovery system", Applied Thermal Engineering, 2013 Publication	<% 1
16	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Internet Source	<% 1
17	Submitted to University of Glasgow Student Paper	<% 1

---

18

[library.kaist.ac.kr](http://library.kaist.ac.kr)

Internet Source

<% 1

---

19

[www.osapublishing.org](http://www.osapublishing.org)

Internet Source

<% 1

---

20

[d-nb.info](http://d-nb.info)

Internet Source

<% 1

---

21

[www.pdfdocuments.com](http://www.pdfdocuments.com)

Internet Source

<% 1

---

22

Submitted to Syiah Kuala University

Student Paper

<% 1

---

23

[repository.kulib.kyoto-u.ac.jp](http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp)

Internet Source

<% 1

---

24

Hehn, Thorsten, and Yiannos Manoli.  
"Introduction", Springer Series in Advanced  
Microelectronics, 2015.

Publication

<% 1

---

25

[www.nijotech.com](http://www.nijotech.com)

Internet Source

<% 1

---

26

[fr.scribd.com](http://fr.scribd.com)

Internet Source

<% 1

---

27

[dspace.uui.ac.id](http://dspace.uui.ac.id)

Internet Source

<% 1

---

28

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Internet Source

<% 1

---

---

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE  
BIBLIOGRAPHY ON

EXCLUDE MATCHES < 5  
WORDS