

full\_paper\_final\_-  
\_Zuryati\_dkk.docx  
*by*

---

**Submission date:** 27-Jun-2021 02:15PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1612655119

**File name:** full\_paper\_final\_-Zuryati\_dkk.docx (472.67K)

**Word count:** 2584

**Character count:** 15577

# Pengaruh Posisi dan Jumlah Batang Tembaga Pada Kompor Biomassa Portabel Penghasil Energi Listrik Berbasis Thermoelectric Generator

M. Khairul O. Cangara<sup>1</sup>, Zuryati Djafar<sup>\*1</sup>, Wahyu H. Piarah<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

\*email: [zuryatidjafar@unhas.ac.id](mailto:zuryatidjafar@unhas.ac.id)

## Abstrak

Termoelektrik Generator (TEG) adalah elemen pembangkitan daya yang memanfaatkan perbedaan temperatur di antara kedua permukaannya untuk menghasilkan energi listrik. Dalam artikel ini, penelitian dilakukan untuk mengetahui potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh modul TEG dengan menggunakan sumber panas dari sebuah kompor biomassa portabel. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi posisi dan jumlah batang tembaga yang dipanaskan oleh api yang berasal dari ruang bakar dan selanjutnya memanaskan TEG. Batang tembaga tersebut diposisikan bergantian, di bagian atas, tengah, dan bawah kompor dengan variasi jumlah tembaga sebanyak 1, 2 dan 4 buah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa posisi batang tembaga terbaik adalah pada bagian tengah. Dan  $\Delta T$ , V, P dan  $\eta$  maksimal masing-masing berturut-turut adalah: 163.5°C, 2.18V, 0.01W dan 0.012% (untuk 1 batang tembaga); 159.95°C, 5.11V, 0.091W dan 0.058% (untuk 2 batang tembaga); 144.96°C, 6.37V, 0.208W dan 0.143% (untuk 4 batang tembaga).

## Abstract

Thermoelectric Generator (TEG) is a power generation element that utilizes the temperature difference between its two surfaces to generate electrical energy. In this article, research was conducted to determine the potential for electrical energy that can be generated by the TEG module by using a heat source from a portable biomass stove. Tests were carried out at several variations in the position and number of copper rods heated by a fire that comes from the combustion chamber and then heats the TEG. The copper rods are positioned alternately, at the top, middle, and bottom of the stove with variations in the amount of copper as much as 1, 2, and 4 pieces. The results showed that the best copper rod position was in the middle. And the maximum  $\Delta T$ , V, P and  $\eta$ , respectively are: 163.5°C, 2.18V, 0.01W and 0.012% (for 1 copper rod); 159.95°C, 5.11V, 0.091W and 0.058% (for 2 copper rods); 144.96°C, 6.37V, 0.208W and 0.143% (for 4 copper rods).

**Keywords:** waste heat, biomass stove, copper, thermoelectric generator, temperature difference, voltage

## 1. Pendahuluan

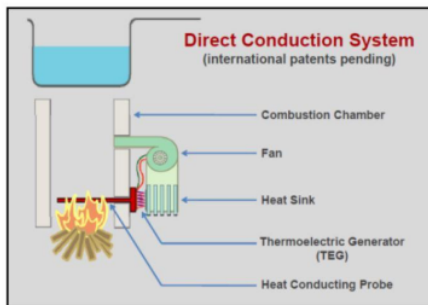
Energi listrik bagi manusia di zaman modern saat ini merupakan kebutuhan yang tidak bisa tergantikan. Setiap aktifitas yang dilakukan tidak terlepas dari peran energi listrik dalam rangka memudahkan segala pekerjaan. Di Indonesia, produksi energi listrik cenderung masih memanfaatkan energi fosil khususnya batubara dan minyak bumi sebagai bahan baku utamanya. Namun saat ini cadangan energi fosil Indonesia semakin menipis sementara konsumsi terus meningkat seiring dengan laju pertumbuhan ekonomi, dan seperti diketahui cadangan minyak bumi dari 8,21 milyar barel pada 2008 menurun ke kisaran 7,5 milyar barel di tahun 2018 [1].

Dalam mengantisipasi kelangkaan energi fosil, terutama minyak bumi hingga akhir abad 21, sudah difikirkan mencari energi alternatif melalui suatu perencanaan yang matang. Dari sekian jenis energi alternatif yang ada, untuk kondisi di Indonesia saat ini pemberdayaan energi

biomassa disarankan sebagai prioritas utama di samping pengembangan energi alternatif yang lain sebagai pendukung. Pemilihan energi biomassa sebagai prioritas utama berdasarkan pertimbangan yaitu: (1) Indonesia merupakan negara agraris yang besar dan dipastikan akan mampu memasok sumber bahan baku biomassa dari limbah pertanian, perkebunan, dan peternakan; (2) energi biomassa merupakan energi yang ramah lingkungan; (3) dalam penyediaan energi panas dapat di gabung (mix) dengan batubara. Dan total potensi Biomassa di Indonesia adalah 32,654 MWe [2].

Dalam artikel ini, penelitian terhadap penggunaan kompor biomassa diperlihatkan sebagai sebuah kompor alternatif pengganti tungku konvensional/tradisional yang digunakan selama ini oleh masyarakat pedalaman yang jauh dari akses/distribusi bahan bakar fosil/gas. Selain sebagai kompor yang praktis dan mudah dipindahkan/dibawa kemana-mana, kompor biomassa ini juga bertujuan untuk menghasilkan

energi listrik skala kecil. Hal ini dikarenakan kompor tersebut memanfaatkan teknologi *Thermoelectric Generator* (TEG) dalam memanfaatkan panas buangan yang terjadi. Teknologi ini menjanjikan alternatif pembangkitan listrik yang luar biasa karena mempunyai beberapa kelebihan, yaitu dapat diandalkan keawetannya, tidak bising atau tanpa suara saat dioperasikan karena tidak memiliki bagian mekanik yang bergerak, tidak membutuhkan pemeliharaan, sederhana, kompak dan aman, memiliki ukuran yang sangat kecil dan sangat ringan, mampu beroperasi pada suhu tinggi, mampu beroperasi untuk skala kecil dan lokasi terpencil, ramah lingkungan, dan sumber energi yang fleksibel. Kelebihan-kelebihan tersebut menyebabkan studi mengenai aplikasi generator termoelektrik telah banyak dilakukan [3].



Gambar 1 Teknologi penggunaan thermoelectric pada kompor kayu [4]

Aplikasi TEG sudah pernah diujikan pada kompor kayu. Cedar dan Drummond [4] mempresentasikan desain untuk memperbaiki sistem perpindahan kalor kompor dengan menambahkan *blower* dan memasang generator termoelektrik untuk memanfaatkan sebagian panas hasil pembakarannya menjadi sumber energi listrik alternatif. Cedar juga menambahkan batang tembaga di dalam ruang bakar bagian atas yang berfungsi mentransfer panas dari dalam ruang bakar ke generator termoelektrik. Kemudian Cedar mempatenkan hasil karyanya dengan nama *biolite*. Dari kompor *biolite* yang telah dipatenkan oleh Cedar dapat menghasilkan daya sebesar 3 Watt sesuai dengan spesifikasi yang tertera pada produk *biolite* [4].

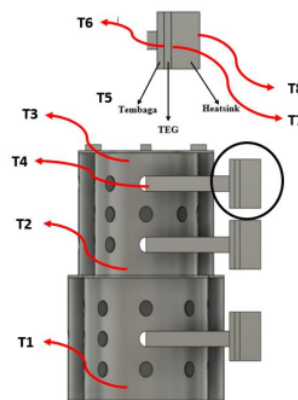
Penelitian lain yang memanfaatkan penggunaan modul termoelektrik untuk pembangkitan energi listrik yang diaplikasikan di kompor kayu dilakukan Nuwayhid [5] dengan

menggunakan modul termoelektrik pendingin, kompor mampu membangkitkan daya 1W pada temperatur permukaan kompor 100°C–300°C. Nuwayhid [5] melanjutkan penelitian dengan pendinginan modul termoelektrik menggunakan pendinginan konveksi alami. Diterapkan pada kompor kayu rumah tangga menggunakan modul tunggal. Hasilnya daya listrik 4,2 W mampu dibangkitkan pada sistem ini [5].

Di Thailand, Lertsatitthanakorn, C [6] menggunakan generator termoelektrik tipe TEPI-1264-3,4 untuk mengkonversi panas dari kompor berbahan bakar biomassa. Hasilnya adalah pada beda temperatur berkisar 15°C, unit bisa mencapai daya keluaran sebesar 2,4W. Efisiensi konversi 3,2 % mampu untuk menghidupkan lampu dan radio portabel kecil [6]. Sementara di Indonesia, sistem termoelektrik yang pernah diteliti menggunakan 10 buah termoelektrik TEG-SP1848-27145 SA yang disusun seri dengan variasi media pembakaran berupa kayu bakar, gas LPG dan spirtus. Penggunaan media pembakaran yang berbeda mempengaruhi output tegangan yang diberikan oleh termoelektrik. Selisih temperatur antara sisi dingin dan sisi panas termoelektrik generator ( $\Delta T$ ) saat keadaan stabil adalah 35°C menggunakan bahan bakar kayu, 39°C menggunakan bahan bakar gas LPG dan 20°C menggunakan bahan bakar spirtus. Tegangan optimal yang diberikan menggunakan bahan bakar gas LPG dengan ( $\Delta T$ ) 39 °C dengan output 1.62 Volt [7].

## 2. Metode Penelitian

Desain peralatan yang digunakan diperlihatkan seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Desain peralatan uji

**Keterangan Gambar:**

Titik pengukuran Temperatur Ruang Bakar Bawah (T1), Temperatur Ruang Bakar Tengah (T2), Temperatur Api (T3), Temperatur Sisi Panas Tembaga (T4), Temperatur Lingkungan (T5), Temperatur Sisi Panas Termoelektrik Generator (T6), Temperatur Sisi Dingin Termoelektrik Generator (T7), Temperatur Heatsink (T8).

Tampak dalam gambar batang tembaga digunakan untuk meneruskan panas yang berasal dari ruang bakar kompor menuju termoelektrik generator untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Setelah dilakukan pemasangan modul termoelektrik generator (TEG) pada kompor biomassa, proses pembakaran biomassa dilakukan dan pengambilan data dengan memberikan variasi jumlah batang tembaga yang digunakan yaitu 1 batang tembaga yang ditempatkan pada atas, tengah, dan bawah dari kompor lalu selanjutnya bertambah menjadi 2 dan 4 tembaga. Dan dalam makalah ini, ditampilkan hasil untuk penggunaan modul tunggal TEG.

Tegangan keluaran dari modul TEG diukur dan dibaca menggunakan modul *National Instrument* (NI) setelah kompor telah dinyalakan. Pengukuran temperatur sisi panas (Th), sisi dingin (Tc) dan tegangan (ΔV) dari modul TEG dilakukan dengan selang waktu 10 detik hingga bahan bakar/biomassa yang digunakan telah habis terbakar. Data yang diperoleh kemudian tersimpan di laptop/komputer menggunakan program LabVIEW.

Dalam menganalisis kinerja modul termoelektrik, koefisien Seebeck yang menggambarkan tegangan (gaya gerak listrik) timbul karena perbedaan temperatur menjadi sangat penting. Koefisien Seebeck dapat dinyatakan oleh persamaan berikut [8]:

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

Dimana:

ΔV = Perbedaan Tegangan

A = Koefisien Seebeck Antara Dua Bahan Semikonduktor

Th = Temperatur Sisi Panas Modul (°C)

Tc = Temperatur Sisi Dingin Modul (°C)

Sementara arus listrik yang dihasilkan diberikan oleh persamaan berikut [9]:

$$I = \frac{\alpha \Delta T}{R_i + R_L} = \frac{\alpha (T_h - T_c)}{R_i + R_L} \tag{2}$$

Dimana:

I = Arus Listrik Pada Rangkaian (A)

Ri = Tahanan Internal Modul Termoelektrik

RL = Tahanan Eksternal

ΔT = Th-Tc

Laju perpindahan panas (Qh) dari sumber panas pada permukaan sisi panas (Th) ke permukaan sisi dingin (Tc) adalah sebagai berikut [8]:

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

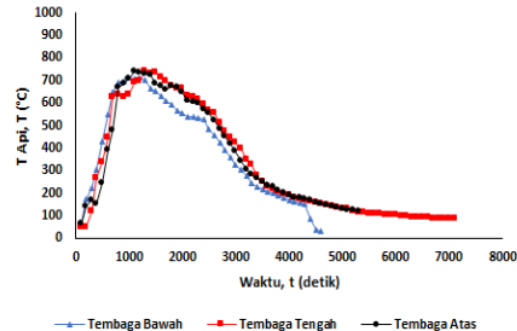
Dimana k adalah konduktivitas termal modul (W/m°C). Daya output (P) yang dihasilkan atau dapat dibangkitkan oleh termoelektrik generator dan efisiensi (η) termoelektrik generator adalah sebagai berikut [8]

$$P = I V \tag{4}$$

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

**3. Hasil dan Diskusi**

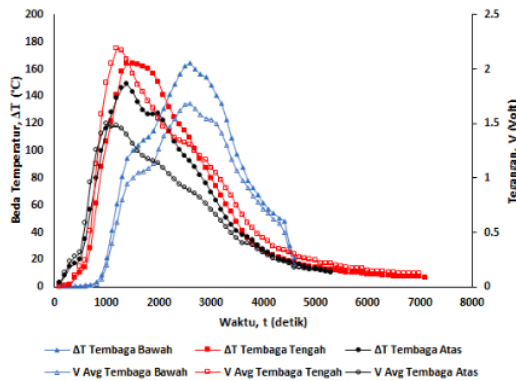
**a. 1 Batang Tembaga**



**Gambar 3 Sejarah Temperatur Api (Tapi) untuk Satu batang Tembaga**

Gambar 3 menunjukkan sejarah temperatur api pada setiap variasi 1 batang tembaga dengan posisi tembaga yang berbeda yaitu atas, tengah, dan bawah untuk modul tunggal TEG. Dimana pada detik awal pengambilan data hingga detik ke 1300 temperatur api terus meningkat hingga mencapai titik maksimumnya lalu menurun sering dengan bahan bakar yang berada di bawah sudah mulai terbakar sehingga menyebabkan penurunan temperatur api sampai api tidak

menyala lagi. Pada posisi tembaga bawah temperatur maksimumnya 712,49°C pada detik 1100 lalu menurun, Sementara pada posisi tembaga tengah temperatur maksimumnya 740,84°C pada detik 1300 lalu menurun. Dan posisi tembaga atas temperatur maksimumnya 738,68°C pada detik 1100 lalu menurun., dapat disimpulkan di setiap posisi batang tembaga yang berbeda hampir sama nilai temperaturnya.

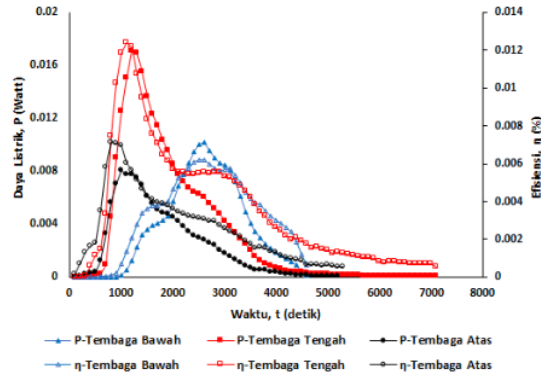


Gambar 4 ΔT dan V untuk Satu batang Tembaga

Pada Gambar 4 diperlihatkan sejarah perubahan dan Tegangan yang dihasilkan untuk sebuah batang tembaga dengan variasi posisi tembaga yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas. Tampak perbedaan nilai beda temperatur maksimum di setiap posisi tembaga ini berbanding lurus juga dengan perbedaan tegangan maksimum yang dihasilkan untuk setiap posisi tembaga. Pada tembaga bawah diperoleh nilai ΔT dan V maksimum adalah 164.41°C dan 1.68 V dan sementara pada tembaga tengah diperoleh nilai ΔT dan V maksimum adalah 163.5°C dan 2.18 V dan pada tembaga bagian atas nilai ΔT dan V maksimum yang diperoleh adalah 148.45°C dan 1.49 V. Dapat disimpulkan untuk variasi 1 batang tembaga dengan posisi tembaga yang berbeda nilai tertinggi berada pada posisi tembaga tengah ini disebabkan karena pada temperatur ruang bakar tengah sangat tinggi sehingga menyebabkan tembaga lebih panas dibandingkan yang lainnya.

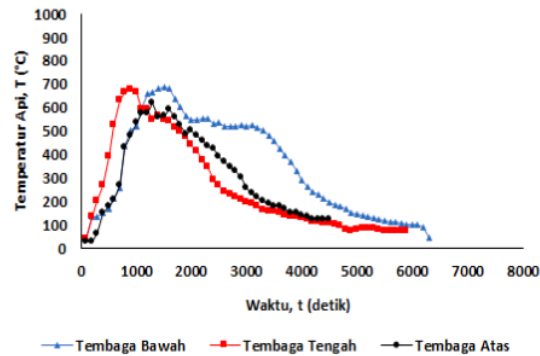
Gambar 5 berikut memperlihatkan Daya listrik (P) dan Efisiensi(η) yang dihasilkan pada setiap variasi 1 tembaga dengan posisi tembaga yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas dengan menggunakan modul tunggal TEG. Terlihat perbedaan besar Daya yang dihasilkan di setiap posisi tembaga ini berbanding lurus

dengan Efisiensi di setiap posisi tembaganya. Untuk batang tembaga bagian bawah, tengah dan atas berturut-turut menghasilkan Daya (P) dan (η) maksimum sebesar 0.01 Watt dan 0.06%; 0.017 Watt dan 0.012% dan 0.008 Watt dan 0.007%. Simpulan untuk poin ini adalah untuk 1 batang tembaga pada posisi bagian tengah memiliki Daya dan efisiensi yang tertinggi.



Gambar 5 P dan η untuk Satu batang Tembaga

### b. 2 Batang Tembaga

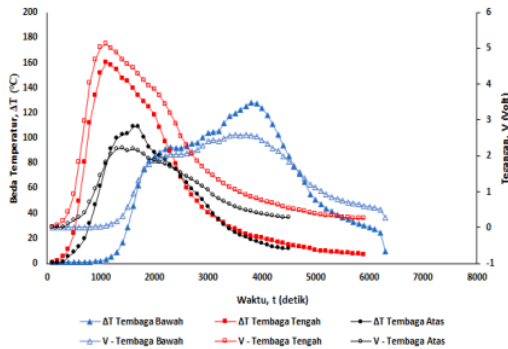


Gambar 6 Sejarah Temperatur Api (T<sub>Api</sub>) untuk 2 Batang Tembaga

Gambar 6 menunjukkan sejarah temperatur api pada setiap variasi 2 tembaga dengan posisi tembaga yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas. Dimana pada detik awal pengambilan data temperatur api terus meningkat hingga mencapai titik maksimumnya setelah itu menurun seiring dengan menipisnya bahan bakar yang terbakar hingga padam. Dapat dilihat di setiap posisi batang tembaga yang berbeda, temperatur maksimumnya hampir sama berada pada 600-

700°C dengan pola garis yang sama. Pada batang tembaga bawah temperatur maksimumnya adalah 690.08°C pada detik ke 1500. Sementara pada tembaga tengah temperatur maksimumnya adalah 677.91°C. lalu untuk batang tembaga bagian atas temperatur maksimumnya adalah 618.10°C pada detik 1300. Sehingga dapat disimpulkan bahwa temperatur maksimum untuk setiap posisi batang tembaga yang berbeda hampir sama.

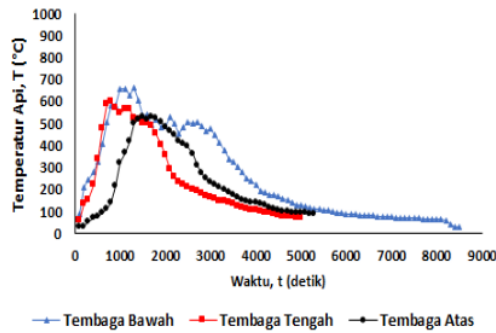
dihasilkan untuk 2 batang tembaga dengan variasi posisi yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas. Terlihat besar Daya yang diperoleh ekivalen dengan Efisiensi yang dihasilkan untuk setiap posisi batang tembaga. Nilai Daya (P) dan Efisiensi ( $\eta$ ) untuk 2 batang tembaga posisi bagian bawah, tengah dan atas berturut-turut adalah 0.023 Watt dan 0.019%; 0.091 Watt dan 0.058%; 0.017 Watt dan 0.016.



Gambar 7  $\Delta T$  dan V untuk 2 Batang Tembaga

Gambar 7 menunjukkan sejarah perubahan Perbedaan Temperatur antara ke dua sisi panas dan sisi dingin dari modul tunggal TEG pada variasi 2 batang tembaga dengan posisi yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas. Terlihat Nilai  $\Delta T$  dan V maksimum di setiap posisi 2 batang tembaga. Adapun  $\Delta T$  dan V maksimum masing-masing untuk setiap posisi dari bagian bawah, tengah dan atas tersebut, adalah berturut-turut 127.89 °C dan 2.58V; 159.95°C dan 5.11 V; dan 109.23°C dan 2.21 V.

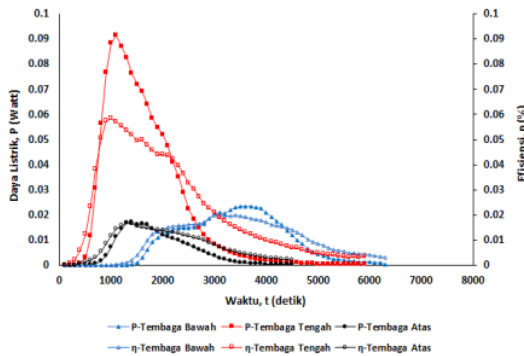
### c. 4 Batang Tembaga



Gambar 9 Sejarah Temperatur Api (T Api) untuk 4 Batang Tembaga

Gambar 9 menunjukkan sejarah temperatur api pada setiap variasi 4 tembaga dengan posisi tembaga yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas. Seperti halnya fenomena pada 1 dan 2 batang tembaga, untuk 4 batang tembaga juga terlihat fenomena yang sama, yakni pada detik awal pengambilan data temperatur api terus meningkat sampai mencapai titik maksimumnya, setelah itu kembali temperatur api menurun sering dengan bahan bakar yang berada di bawah sudah mulai terbakar habis dan menyebabkan penurunan temperatur api hingga padam. Adapun hasil pengukuran temperatur api rata-rata maksimum diperoleh untuk setiap posisi batang bagian bawah, tengah dan atas adalah masing-masing adalah 665.2°C pada menit ke 1300, 566.94°C pada detik 1100 dan 529.21°C pada detik 1500.

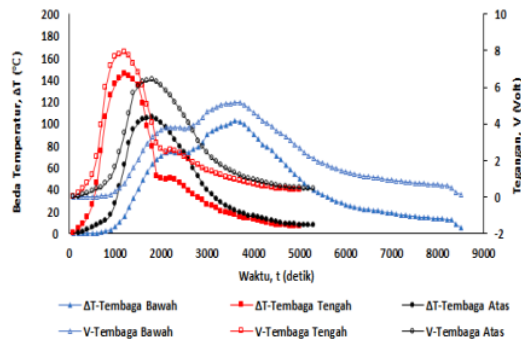
Gambar 10 menunjukkan beda temperatur dan tegangan maksimum pada setiap variasi posisi 4 batang tembaga yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas dengan modul tunggal TEG. Adapun masing-masing  $\Delta T$  dan V untuk setiap posisi bawah, tengah dan atas, masing-masingnya adalah 5.16 V dan 102.91°C, 7.91 V dan 144.96°C dan 6.37 V dan 105.88°C. Dan simpulan yang sama untuk ini adalah bahwa



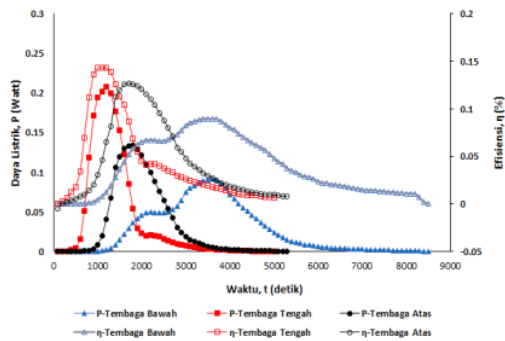
Gambar 8 P dan  $\eta$  untuk 2 Batang Tembaga

Pada Gambar 8 berikut, menunjukkan besar Daya listrik dan Efisiensi maksimum yang

untuk variasi 4 batang tembaga posisi tengah mendapatkan nilai maksimum tertinggi, ini disebabkan karena pada temperatur api pada ruang bakar tengah merupakan temperatur yang tertinggi sehingga menyebabkan batang tembaga memperoleh panas yang lebih besar.



Gambar 10  $\Delta T$  dan  $V$  untuk 4 Batang Tembaga



Gambar 11  $P$  dan  $\eta$  untuk 4 Batang Tembaga

Gambar 11 di atas memperlihatkan besar Daya Listrik ( $P$ ) dan efisiensi ( $\eta$ ) untuk setiap variasi 4 batang tembaga dengan posisi yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas. Tampak nilai  $P$  dan  $\eta$  mempunyai pola yang sama (ekivalen) di setiap posisi nya. Adapun besar nilai masing-masing untuk posisi bawah, tengah dan atas, berturut-turut adalah 0.091 W dan 0.089%, 0.208 W dan 0.143% dan 0.13 W dan 0.126%.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil yang diperlihatkan di atas dapat disimpulkan secara keseluruhan bahwa  $\Delta T$ ,  $V$ ,  $P$  dan  $\eta$  maksimal diperoleh pada posisi batang tembaga di bagian tengah, baik untuk 1, 2 dan 4 batang tembaga. Adapun hasilnya berturut-turut adalah: 163.5°C, 2.18V, 0.01W dan 0.012%

(untuk 1 batang tembaga); 159.95°C, 5.11V, 0.091W dan 0.058% (untuk 2 batang tembaga); 144.96°C, 6.37V, 0.208W dan 0.143% (untuk 4 batang tembaga).

#### 5. Referensi

- [1]Ditjen Migas ESDM. 2018. "Laporan Tahunan Migas Tahun 2018". Kementerian Energi Sumber Daya Mineral
- [2]Ditjen EBTKE. 2013. "Kajian Ditjen EBTKE 2013". Kementerian Energi Sumber Daya Mineral
- [3]Ismail, B.I., Ahmed, W.H., 2009, Thermoelectric Power Generation Using Waste-Heat Energy as an Alternative Green Technology, Recent Patents on Electricals Engineering, Vol.2, p. 27-39.
- [4]Cedar J., dan Drummond, A., 2009, The Biolite Woodgas Campstove/Engineering Prototype Process, presented at ETHOS
- [5]Nuwayhid, R.Y., Hamade, R., 2005. Design and Testing of a Locally Made Loop Type Thermosyphonic Heat Sink for Stove Top Thermoelectric Generator, J. Renewable Energy, 30, pp. 11011116
- [6]Lertsatitthanakorn, C., 2007. Electrical Performance Analysis and Economic Evaluation of Combined Biomass Cook Stove Thermoelectric (BiTe) Generator. Bioresource Technology, 98, pp.1670-1674.
- [7]Sumarjo, Jojo. 2017. "Pemanfaatan Sumber Panas Pada Kompor Menggunakan 10 Termoelektrik Generator Dirangkai Secara Seri Untuk Aplikasi Lampu Penerangan". Jurnal Universitas Singaperbangsa Karawang.
- [8]H.J. Goldsmid. 2010. Introduction to thermoelectricity, Springer Series in Material Science 121, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [9]Zuryati Difar, Nandy Putra, Raldi A. Hoestoer., 2013. The Utilization of Heat Pipe on Cold Surface of Thermoelectric with Low-Temperature Waste Heat. Applied Mechanics and Materials Vol. 302 (2013) pp 410-415.

ORIGINALITY REPORT

---

10%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

2%

STUDENT PAPERS

---

PRIMARY SOURCES

---

1	<a href="http://conference.itats.ac.id">conference.itats.ac.id</a> Internet Source	3%
2	<a href="http://journal.akprind.ac.id">journal.akprind.ac.id</a> Internet Source	2%
3	<a href="http://repository.uin-suska.ac.id">repository.uin-suska.ac.id</a> Internet Source	1%
4	<a href="http://biosbetter.blogspot.com">biosbetter.blogspot.com</a> Internet Source	1%
5	<a href="http://repository.unhas.ac.id">repository.unhas.ac.id</a> Internet Source	1%
6	<a href="http://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	1%
7	Zuryati Djafar, Nandy Putra, Raldi A. Koestoer. "The Utilization of Heat Pipe on Cold Surface of Thermoelectric with Low-Temperature Waste Heat", Applied Mechanics and Materials, 2013 Publication	<1%
8	<a href="http://ojs.uma.ac.id">ojs.uma.ac.id</a> Internet Source	

<1 %

---

9 repository.usd.ac.id  
Internet Source

<1 %

---

10 cot.unhas.ac.id  
Internet Source

<1 %

---

11 www.12manage.com  
Internet Source

<1 %

---

12 Gao, H.B., G.H. Huang, H.J. Li, Z.G. Qu, and Y.J. Zhang. "Development of stove-powered thermoelectric generators: A review", Applied Thermal Engineering, 2016.  
Publication

<1 %

---

13 Yulin Jiao, Xinhua Wang. "Comparative experiment of enhanced heat transfer performance between water-based magnetic fluid heat pipe and ordinary water heat pipe under magnetic field", International Journal of Heat and Technology, 2018  
Publication

<1 %

---

Exclude quotes On

Exclude matches < 5 words

Exclude bibliography On