

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/362223418>

# Pengaruh Posisi dan Jumlah Batang Tembaga pada Kompor Biomassa Portabel

Conference Paper · November 2020

CITATIONS

0

READS

3

3 authors:



Khairul Cangara

Universitas Hasanuddin

1 PUBLICATION 0 CITATIONS

SEE PROFILE



Zuryati Djafar

Universitas Hasanuddin

47 PUBLICATIONS 130 CITATIONS

SEE PROFILE



Wahyu H. Piarah

Universitas Hasanuddin

49 PUBLICATIONS 222 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Biomass material of capasitor [View project](#)



Light energi [View project](#)

# BUKU PROSIDING

## Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin UNHAS 2020

# SNTTM UH 2020

Membangun Sinergitas UIG Menuju  
Kemandirian Energi Nasional

**24 NOVEMBER 2020**

**Kampus Gowa, Universitas Hasanuddin,  
Indonesia**

### KEYNOTE SPEAKERS :

- Prof. Dr. Ario Sunar Baskoro ST., MT., M.Eng  
Sekretaris Jenderal BKSTM se-Indonesia
- Alimuddin Baso ST., M.B.A.  
Direktur Perencanaan dan Pembangunan Infrastruktur  
Migas Kementerian ESDM
- Prof. Dr. Ing. Wahyu H. Piarah, MSME.  
Guru Besar Teknik Mesin UNHAS
- Eliezer Tangyong S.T., M.M.  
Profesional Perminyakan, PT. Star Energy



**Diselenggarakan Oleh :**  
**Departemen Teknik Mesin**  
**Fakultas Teknik**  
**Universitas Hasanuddin**



**PLN**

**Didukung Oleh :**



# **BUKU PROSIDING**

## **Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Unhas 2020**

**“Membangun Sinergitas UIG Menuju Kemandirian Energi Nasional”**

**Kampus Teknik Gowa, Universitas Hasanuddin 24 November 2020**



**Penerbit :**  
**Departemen Teknik Mesin**  
**Fakultas Teknik**  
**Universitas Hasanuddin**

**BUKU PROSIDING**  
**Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin Unhas 2020**  
Kampus Teknik Gowa, Universitas Hasanuddin, 24 November 2020

“Membangun Sinergitas UIG Menuju Kemandirian Energi Nasional”

**Pihak Penyelenggara :**

Universitas Hasanuddin

**Pihak Partisipan :**

Universitas Balikpapan, Politeknik Negeri Padang, Universitas Udayana, Universitas Negeri Makassar, Universitas Gunadarma, Universitas Cendrawasih, Universitas Nusa Cendana, Universitas Syiah Kuala, Universitas Andalas , Universitas Kristen Indonesia Toraja

**Sponsor :**

PT. Semen Bosowa

PT. PLN UIKL Sulawesi

**Pembicara Utama :**

Prof. Dr. Ario Sunar Baskoro ST., MT., M.Eng (BKSTM)

Alimuddin Baso ST., M.B.A. (ESDM)

Prof. Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah MSME. (UNHAS)

Eliezer Tangyong ST., MM. (Star Energy)

**Penanggung Jawab :**

Prof. Dr. Ir. Syukri Himran, MSME.

Prof. Dr. Ir. Hammada Abbas ST., M.Eng. Sc.

Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam, M.T.

Prof. Dr. Ir. Onny Suryono Sutresman, MT.

Prof. Dr. Ing. Ir. Wahyu Haryadi Piarah, MSME.

Prof. Dr. Ir. Luther Sule MT.

Dr. Eng. Jalaluddin ST., MT.

**Panitia Pelaksana :**

Dr. Eng. Novriany Amaliyah ST., MT. (Ketua)

Asriadi Sakka ST., M.Eng (Sekretaris)

Ir. Baharuddin Mire MT. (Anggota)

Dr. Ir. Zulkifli Djafar MT. (Anggota)

Dr. Ir. Ilyas Renreng MT. (Anggota)

Ir. Thomas Tjandinegara MSME. (Anggota)

Dr. Ir. Zuryati Djafar MT. (Anggota)

Rafiuddin Syam ST., M.Eng., Ph.D (Anggota)

Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra ST., M.Eng (Anggota)

Dr. Ir. Nasruddin Azis M.Si (Anggota)

Ir. Mukhtar Rahman MT. (Anggota)

Dr. Ir. Ahmad Yusran Aminy MT. (Anggota)

Dr. Eng. Lukmanul Hakim Arma ST., MT. (Anggota)  
Ir. Machmud Syam DEA. (Anggota)  
Ir. A. Mangkau MT. (Anggota)  
Dr. Hairul Arsyad ST., MT. (Anggota)  
Dr. Rustan Tarakka ST., MT. (Anggota)  
Dr. Muhammad Syahid ST., MT. (Anggota)  
Dr. Fauzan ST., MT. (Anggota)  
Dr. Eng. Andi Amijoyo Mochtar ST., M.Sc. (Anggota)  
Azwar Hayat ST., M.Sc., Ph.D. (Anggota)  
Gerard Antonini Duma ST., MT. (Anggota)  
Arfandy ST., MT. (Anggota)

**Reviewer :**

Prof. Dr. Ario Sunar Baskoro, ST. MT. M. Eng (Universitas Indonesia)  
Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu Haryadi Piarah, MSME (Universitas Hasanuddin)  
Prof. Dr. Ir. Nasaruddin Salam, MT (Universitas Hasanuddin)  
Prof. Dr. Ir. Onny Sutresman, MT (Universitas Hasanuddin)  
Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT (Universitas Hasanuddin)  
Dr. Bakri, ST. M. Phil (Universitas Tadulako)  
Dr. Mustofa, ST. Grad. Dipl. Eng. M. Eng (Universitas Tadulako)

**Editor :**

Dr. Eng. Novriany Amaliyah ST., MT.  
Asriadi Sakka ST., M.Eng

**Penerbit :**

Departemen Teknik Mesin  
Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

**Alamat :**

Jalan Poros Malino Km.6 Bontomarannu (92171)  
Gowa, Sulawesi Selatan  
Website : <https://mechanical.unhas.ac.id/id/steam-2020/>  
Email : [steam.me@unhas.ac.id](mailto:steam.me@unhas.ac.id)

## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim,  
Assalamu alaikum warahmatullahi wabarakatuh*

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala taufiq, hidayah dan karunia-Nya sehingga Seminar Nasional Tahunan dan Pameran Virtual Teknik Mesin 2020 dengan tema “Membangun Sinergitas U-I-G Menuju Kemandirian Energi Nasional” dapat diselenggarakan. Seminar nasional ini terdiri dari hasil-hasil penelitian yang mencakup bidang-bidang teknik mesin antara lain Konversi Energi, Konstruksi, Material dan Mekatronika. Melalui seminar nasional ini, kami mengharapkan para peneliti dan mahasiswa dari institusi perguruan tinggi, praktisi industri dan pemerintah dapat meningkatkan kolaborasi dan membangun sinergitas yang nyata dalam inovasi di era disrupsi dan implementasi yang efisien dan efektif dalam rangka meningkatkan kemaslahatan bangsa menuju kemandirian energi nasional.

Artikel ilmiah pada prosiding SNTTM UH 2020 dilakukan seleksi dalam dua tahap: 1) seleksi abstrak untuk kegiatan seminar dan 2) seleksi makalah lengkap untuk prosiding daring. Pada seminar kali ini terdapat 38 makalah lengkap yang diseminarkan yang berasal dari berbagai institusi. Dari 38 makalah, sembilan makalah terpilih untuk diterbitkan di Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE) FT UH. Oleh karena itu, pada prosiding SNTTM UH 2020 terdapat 29 artikel ilmiah, dengan perincian 55% pada bidang konversi energi, 45% lainnya pada bidang konstruksi mesin, material dan robotika.

Kami ucapkan terima kasih kepada segenap pihak yang telah mendukung kegiatan ini, para narasumber, peserta, praktisi dan panitia yang dengan penuh dedikasi telah bekerja mulai dari persiapan sampai pelaksanaan kegiatan seminar hingga penerbitan buku prosiding ini.

Semoga buku prosiding ini dapat memberikan manfaat bagi semua. Atas perhatian dan kerjasama yang baik diucapkan terima kasih.

Salam,

**Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST, MT**  
Ketua Departemen Teknik Mesin Unhas

## DAFTAR ISI

### KONVERSI ENERGI [KE]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KE.01	Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya 20WP Berbasis Arduino Uno <i>Aldo Femby Kendy Jaya Kwong, Budha Maryanti, Marsius Ferdniant</i>	12-17
KE.02	Pengaruh Konsentrasi dan Ukuran Partikel Slurry terhadap Efisiensi Pompa Sentrifugal pada Vertical Pressure Air-blow (VPA) PT. Freeport Indonesia <i>William Utomo Pitoyo, Machmud Syam, Novriany Amaliyah</i>	18-23
KE.03	Pengaruh Posisi dan Jumlah Batang Tembaga Pada Kompor Biomassa Portabel Penghasil Energi Listrik Berbasis <i>Thermoelectric Generator</i> <i>M. Khairul O. Cangara, Zuryati Djafar, Wahyu H. Piarah</i>	24-30
KE.04	Analisa Potensi Energi Angin di Kota Jayapura sebagai Pembangkit Listrik <i>Matus Ronaldo Manalu, Johni J. Numberi, Samuel P. Siregar</i>	31-35
KE.05	Pengaruh Modifikasi Sudut Keluar dan Sudut Wrap Impeller Terhadap Efisiensi Prototype Pompa Lumpur <i>Suhandi, Machmud Syam, Novriany Amaliyah</i>	36-40
KE.06	Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Ombak Untuk Perahu Nelayan di Kepulauan Selayar <i>Asrianto, Luther Sule, Nasaruddin Asis</i>	41-47
KE.10	Pengolahan Limbah Otomotif Secara Termal : Review <i>Ismail Rahim</i>	48-52
KE.12	Deteksi Kavitasasi Pada Pompa Peripheral Dengan Metode Spektrum Getaran <i>Luther Sule, Andi Amijoyo Mochtar, Onny Sutresman, Evan Prawira Nugraha</i>	53-59
KE.14	Pengaruh alur pada sisi cekung terhadap karakteristik turbin hidrokinetik savonius <i>Petrus Sampelawang, Nasaruddin Salam, Luther Sule, Rustan Tarakka</i>	60-64
KE.15	Uji Kinerja Briket Arang Bagian Kopi Sebagai Bahan Bakar Alternatif <i>Sallolo Suluh, Yafet Bontang, Nitha, Frans R., dkk</i>	65-68
KE.16	Analisis Unjuk Kerja Sistem Destilasi Air Laut Tipe Atap dengan Pelat Absorber Fin Terintegrasi PCM Storage <i>Jalaluddin, Andi Amijoyo Mochtar, M. Anis Ilahi R., Ismayati Sutina Azis, Fildza Fauzan M., Muh. Emil J.</i>	69-74
KE.17	Analisis Karakteristik Sistem Hidraulik Alat Angkat <i>Nasaruddin Salam, Rustan Tarakka, Rachmat Suhendro</i>	75-78
KE.18	Kinerja Pompa Peripheral Terhadap Terjadinya Kavitasasi Sisi Isap Pompa <i>Luther Sule, Andi Amijoyo Mochtar, Onny Sutresman, Evan Prawira Nugraha</i>	79-84
KE.20	Analisis Efisiensi Kompresor Sentrifugal dengan Variasi Diameter Pipa Saluran Masuk <i>Rustan Tarakka, Luther Sule, Nicolaus Bayu Sanjaya</i>	85-89
KE.21	Pengaruh Serbuk Gergaji Terhadap Produktivitas Biogas Kotoran Sapi Menggunakan Media Arang Aktif Sebagai Filter <i>Andi Amijoyo Mochtar, Jalaluddin, Harfian</i>	90-97

## KONSTRUKSI / METALURGI [KM]

KODE MAKALAH	JUDUL MAKALAH	HALAMAN
KM.02	Pengadukan Pakan Ternak Unggas Kapasitas 400kg	98-103
	<i>Ruzita Sumiati, Adriansyah, Okdi Kurniawan</i>	
KM.03	Analisis Penyerapan Energi pada Tabung Persegi Berdinding Tipis dengan Variasi Bentuk Inisiator	104-108
	<i>Fauzan Djamaluddin dan Muhammad Jefri</i>	
KM.05	Efek Perlakuan Annealing Baja ST 60 Terhadap Kekasaran Permukaan dan Optimasi Variabel Permesinan dengan Metode Taguchi pada Proses Pembubutan	109-116
	<i>Ahmad Yusran Aminy, Formanto Paliling, Rizal Amil Aulia Kasman</i>	
KM.06	Rancang Bangun Mini Underwater Robot	117-123
	<i>Rafiuddin Syam, Andi Amijoyo Mochtar, Hamdani</i>	
KM.07	Analisis Model Kinematika Mesin CNC Laser Cutting untuk Industri Konveksi	124-126
	<i>Muhammad Ihsan, Ahmad Yusran Aminy, Rafiuddin Syam</i>	
KM.08	Efek Pemanasan Awal Carbon Nanotube Terhadap Kekerasan, Keausan dan Kekasaran Aluminium Komposit	127-132
	<i>Kaspar Yoernicoes Sarangga, Muhammad Syahid, Lukmanul Hakim Arma</i>	
KM.09	Desain Sistem Likuifaksi dengan Menggunakan Mekanisme Hidrolik	133-139
	<i>Muhammad Hardiman Nur Ramadhan, Tri Harianto, Rafiuddin Syam, Ahmad Yusran Amini</i>	
KM.10	Karakteristik Getaran Sinusoidal untuk Sistem Likuifaksi	140-142
	<i>Firman Syah, Rafiuddin Syam, Tri Harianto, Andi Amijoyo Mochtar</i>	
KM.11	Pengaruh Penambahan Unsur Mg dan Cu Terhadap Sifat Mekanik Propeller Paduan Al7Si Hasil Pengecoran Cetakan Pasir	143-149
	<i>Muhammad Syahid dan Milka Rante</i>	
KM.12	Rancang Bangun Masker Pintar dalam Bentuk Respirator untuk Berbagai Aktivitas Paramedis	150-156
	<i>Fakhrul Stansyani Rusli, Azwar Hayat, Muzakkir, Rafiuddin Syam</i>	
KM.13	Pengaruh Penambahan Ekstrak Propolis Sebagai Inhibitor Terhadap Laju Korosi	157-161
	<i>I Nyoman Agus Wirawan Wijana, I Nyoman Gde Antara, I Nyoman Budiarsa</i>	
KM.14	Rancang Bangun Resusitasi Jantung Paru Menggunakan Arduino	162-167
	<i>Muh Iqbal, Azwar Hayat, Muzakkir, Rafiuddin Syam, Agustinus Fatola</i>	
KM.15	Desain Alat Resusitasi Pompa Jantung (RPJ) dengan Pergerakan Sumbu X dan Sumbu Y	168-172
	<i>Nikson Hendrik Fawan, Azwar Hayat, Muzakkir, Rafiuddin Syam, Agustinus Fatola</i>	
KM.17	Sifat Mekanik Komposit Serat Natural Eceng Gondok : Review	173-179
	<i>Muhammad Arsyad Suyuti, Rafiuddin Syam, Zulkifli Djafar, Hairul Arsyad</i>	

# [KE-3] 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  
<sup>\*</sup>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

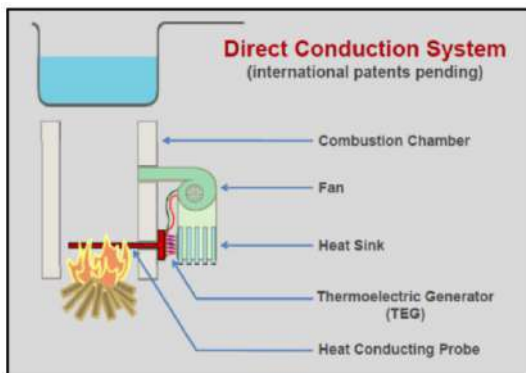
Energi listrik bagi manusia di zaman modern saat ini merupakan kebutuhan yang tidak bisa tergantikan. Setiap aktifitas yang dilakukan tidak terlepas dari peran energi listrik dalam rangka memudahkan segala pekerjaan. Di Indonesia, produksi energi listrik cenderung masih memanfaatkan energi fosil khususnya 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]

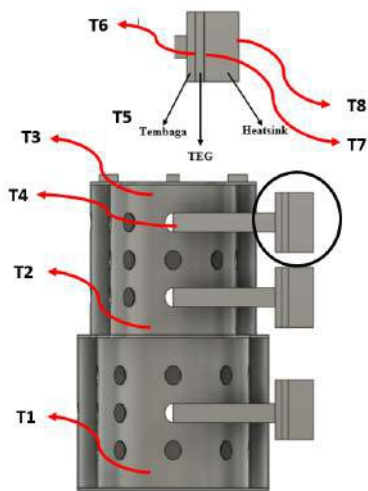
Aplikasi TEG sudah pernah diujikan pada kompor kayu. Cedar dan Drummond [4] mempresentasikan desain untuk memperbaiki sistem perpindahan kalor kompor dengan menambahkan *blower* dan memasang generator termoelektrik untuk memanfaatkan sebagian panas hasil pembakarannya menjadi sumber energi listrik alternatif. 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 TEP1-1264-3,4 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 Ujung 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]:

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

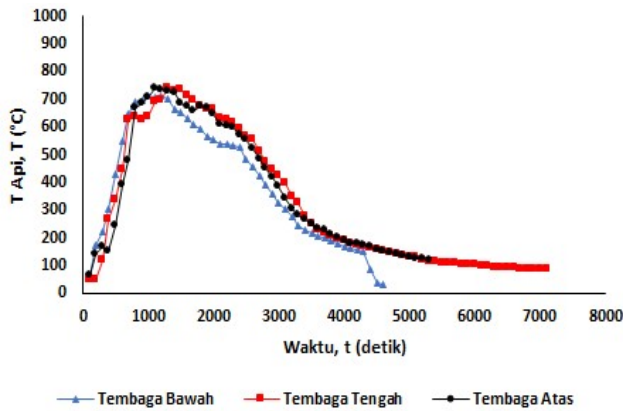
Dimana k adalah konduktivitas termal modul (W/m °C). Daya output (P) yang dihasilkan atau dapat dibangkitkan oleh termoelektrik generator dan efisiensi (η) termoelektrik generator adalah sebagai berikut [8]

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

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

### 3. Hasil dan Diskusi

#### a. 1 Batang Tembaga

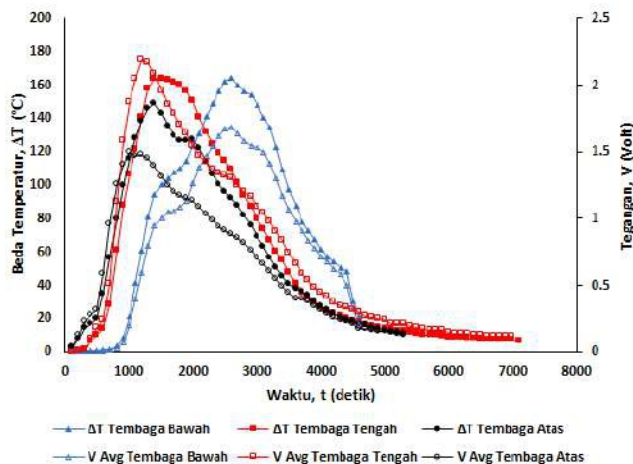


Gambar 3 Sejarah Temperatur Api ( $T_{api}$ ) untuk Satu batang Tembaga

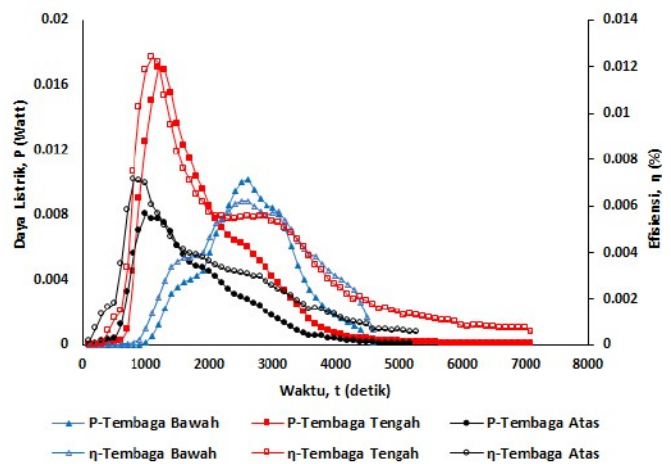
Gambar 3 menunjukkan sejarah temperatur api pada setiap variasi 1 batang tembaga dengan posisi tembaga yang berbeda yaitu atas, tengah, dan bawah untuk modul tunggal TEG. Dimana pada detik awal pengambilan data hingga detik ke 1300 temperatur api terus meningkat hingga mencapai titik maksimumnya lalu 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  $712,49^{\circ}\text{C}$  pada detik 1100 lalu menurun, Sementara pada posisi tembaga tengah temperatur maksimumnya  $740,84^{\circ}\text{C}$  pada detik 1300 lalu menurun. Dan pada posisi tembaga atas temperatur maksimumnya  $738,68^{\circ}\text{C}$  pada detik 1100 lalu menurun., dapat disimpulkan di setiap posisi batang tembaga yang berbeda hampir sama nilai temperturnya.

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  $\Delta T$  dan  $V$  maksimum adalah  $164,41^{\circ}\text{C}$  dan  $1,68\text{ V}$  dan sementara pada tembaga tengah diperoleh nilai  $\Delta T$  dan  $V$  maksimum adalah  $163,5^{\circ}\text{C}$  dan  $2,18\text{ V}$  dan pada tembaga bagian atas nilai  $\Delta T$  dan  $V$  maksimum yang diperoleh adalah  $148,45^{\circ}\text{C}$  dan  $1,49\text{ V}$ . 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 ( $\eta$ ) 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 ( $\eta$ ) maksimum sebesar  $0,01\text{ Watt}$  dan  $0,006\%$ ;  $0,017\text{ Watt}$  dan  $0,012\%$  dan  $0,008\text{ Watt}$  dan  $0,007\%$ . Simpulan untuk poin ini adalah untuk 1 batang tembaga pada posisi bagian tengah memiliki Daya dan efisiensi yang tertinggi.

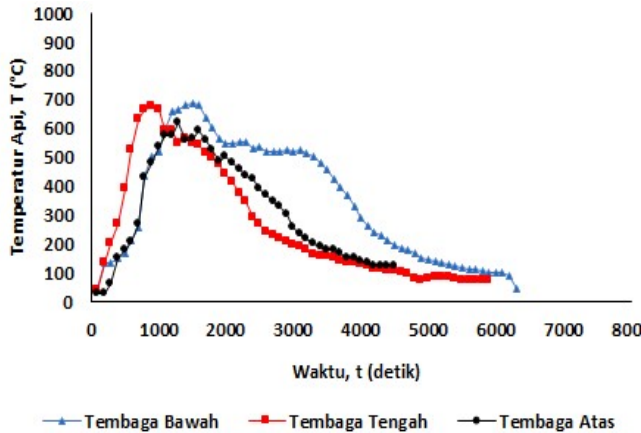


Gambar 4  $\Delta T$  dan  $V$  untuk Satu batang Tembaga



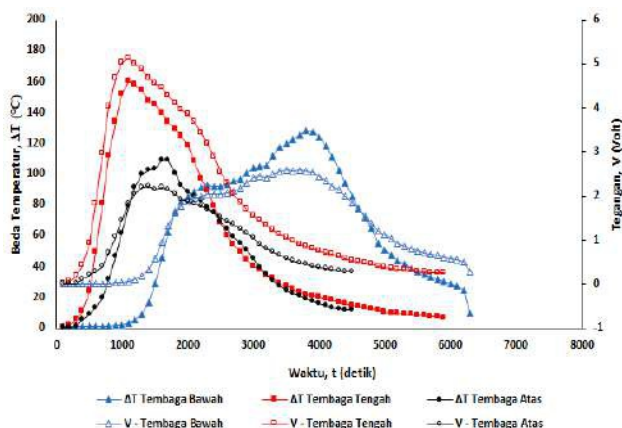
Gambar 5  $P$  dan  $\eta$  untuk Satu batang Tembaga

**b. 2 Batang Tembaga**



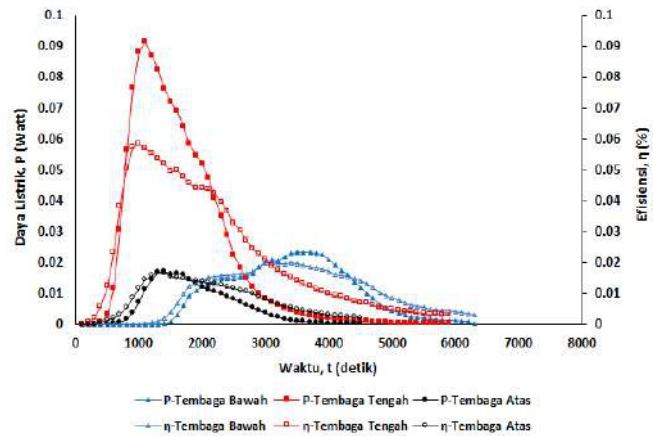
**Gambar 6 Sejarah Temperatur Api ( $T_{Api}$ ) untuk 2 Batang Tembaga**

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.



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

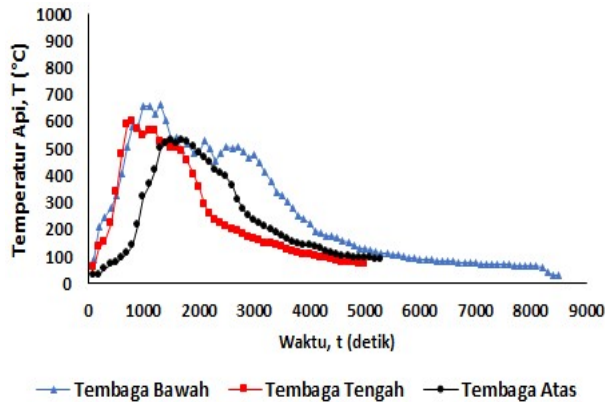
Gambar 7 menunjukkan sejarah perubahan Perbedaan Temperatur antara ke dua sisi panas dan sisi dingin dari modul tunggal TEG pada variasi 2 batang tembaga dengan posisi yang berbeda yaitu bawah, tengah, dan atas. Terlihat Nilai  $\Delta T$  dan V maksimum di setiap posisi 2 batang tembaga. Adapun  $\Delta T$  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.



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

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

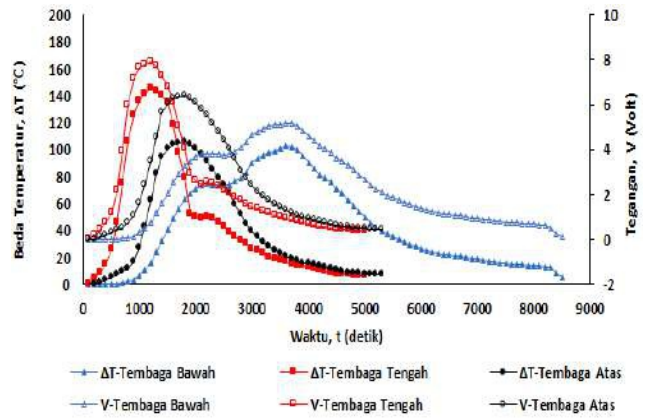
**c. 4 Batang Tembaga**



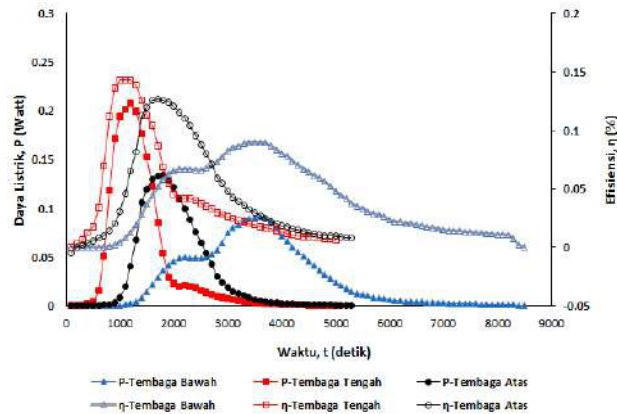
**Gambar 9 Sejarah Temperatur Api (T Api) untuk 4 Batang Tembaga**

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 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 Djafar, Nandy Putra, Raldi A. Koestoer,. 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.