

**PENGARUH JENIS MATERIAL *HOT-SIDE HEAT EXCHANGER*
(HHX) TERHADAP KINERJA *THERMOELECTRIC GENERATOR*
(TEG) PADA PEMANFAATAN PANAS TERBUANG KOMPOR GAS**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata II
Pada Program Studi Magister Teknik Mesin Sekolah Pascasarjana**

Oleh:

GALIH MUJI TRI SUTRISNO

U 100 160 024

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

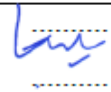

**Pengaruh Jenis Material *Hot-Side Heat Exchanger* (HHX) Terhadap Kinerja
Thermoelectric Generator (TEG) Pada Pemanfaatan Panas Terbuang Kompor
Gas**

NASKAH PUBLIKASI

Oleh:

GALIH MUJI TRI SUTRISNO

U 100 160 024

Pembimbing	Nama	Tanda tangan	Tanggal Persetujuan
Pembimbing Utama	<u>Ir. Tri Widodo Besar Riyadi, ST, M.Sc, Ph.D</u> NIDN : 0627017202		4 Maret 2020
Pembimbing Pendamping	<u>Ir. Agus Dwi Anggono., M.T, Ph.D</u> NIDN :		4 Maret 2020

Telah dinyatakan memenuhi syarat untuk diujikan

Pada hari 4 Maret 2020

Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin
Sekolah Pascasarjana
Universitas Muhammadiyah Surakarta



Ir. Tri Widodo Besar Riyadi, ST, M.Sc, Ph.D
NIDN : 0627017202

HALAMAN PENGESAHAN

**Pengaruh Jenis Material *Hot-side Heat Exchanger* (HHX) Terhadap Kinerja
Thermoelectric Generator (TEG) Pada Pemanfaatan Panas Terbuang Kompor Gas**




OLEH:

GALIH MUJI TRI SUTRISNO

U 100 160 024

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Program Studi Magister Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Rabu, 4 Maret 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji

1. Ir.Tri Widodo Besar Riyadi., M.Sc,Ph.D
(Ketua Dewan Penguji) (.....)
2. Ir.Agus Dwi Anggono., M.T, Ph.D
(Anggota I Dewan Penguji) (.....)
3. Marwan Effendy., ST, M.T, Ph.D
(Anggota II Dewan Penguji) (.....)

Direktur Pasca Sarjana,



Prof. Dr. Bambang Sumardjoko, M.Pd.

PERNYATAAN

Deangan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepengetahuan saya juga tidak terdapat atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidak benaran dalam pernyataan saya ini di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya

Surakarta, 3 Juni 2020



GALIH MUJI TRI SUTRISNO
U 100 160 024

Pengaruh Jenis Material *Hot-side Heat Exchanger* (HHX) Terhadap Kinerja *Thermoelectric Generator* (TEG) Pada Pemanfaatan Panas Terbuang Kompor Gas

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kalor yang diserap dari hasil pembakaran kompor gas LPG oleh *hot-side heatexchanger* (HHX) yang terpasang pada sisi panas TEG selain itu juga untuk mengetahui pengaruh variasi jenis material HHX terhadap kesetimbangan energi kompor dan kinerja TEG. Dua jenis material *hot side heatexchanget* (HHX) digunakan dalam penelitian ini. Pengukuran suhu dilakukan pada sirip HHX, dinding TEG sisi panas dan sisi dingin, serta suhu air masuk dan air keluar pada *waterblock* menggunakan termokopel tipe-K yang dikombinasikan dengan sensor MAX6675 dan Arduino Mega2560 sebagai alat akuisisi data. Tegangan dan arus TEG diukur dengan multimeter WH5000 yang tersambung komputer. Pembebanan pada TEG dilakukan menggunakan lampu DC. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa jenis material *hot-side heat-exchanger* (HHX) sangat mempengaruhi besarnya kalor yang diserap HHX, dimana ketika menggunakan HHX dengan material tembaga kalor yang diserap sebesar 81.41 J/s sedangkan HHX menggunakan material alumunium kalor yang diserap lebih rendah yakni 66.23 J/s. Selain itu, variasi jenis material penyusun HHX juga mempengaruhi kinerja berupa daya listrik yang dihasilkan oleh modul TEG, daya listrik tertinggi dihasilkan oleh TEG ketika menggunakan HHX material tembaga yakni sebesar 3.273 Watt. Sedangkan untuk variasi material HHX yang lain menghasilkan kinerja luaran listrik TEG berupa daya yang lebih rendah. Perbedaan daya listrik yang dihasilkan oleh modul TEG tersebut dimungkinkan karena faktor besarnya kalor yang diserap oleh HHX pada bagian sisi panas modul semakin besar kalor yang diserap pada sisi panas TEG maka semakin besar kinerja berupa daya listrik yang dihasilkan modul TEG.

Kata Kunci: panas terbuang kompor gas lpg, *hot side heat exchanger* (hhx), thermoelectric generator (teg), perpindahan panas, kinerja teg.

Abstract

The purpose of this study was to determine the amount of heat absorbed from the combustion of LPG gas stoves by hot-side heatexchanger (HHX) installed on the TEG heat side but also to determine the effect of variations in the type of HHX material on the energy balance of the stove and TEG performance. Two types of hot side heatexchanget (HHX) material were used in this study. Temperature measurements were carried out on HHX fins, hot and cold side TEG walls, as well as inlet and outlet water temperatures on the waterblock using a K-type thermocouple combined with MAX6675 sensors and Arduino Mega2560 as data acquisition tools. TEG voltage and current are measured with a WH5000 multimeter connected to the computer. TEG loading is done using DC lights. The results of the study show that the type of hot-side heat-exchanger (HHX) material greatly influences the amount of heat absorbed by HHX, where when using HHX with copper heat absorbed material is 81.41 J / s while HHX uses lower aluminum heat absorbing material is 66.23 J / s. In addition, variations in the type of HHX compiler material also affect the performance in the form of electrical power generated by the TEG module, the highest electrical power generated by TEG when using copper material HHX that is equal to 3273 Watt. As for the variation of other HHX material, the TEG electrical output performance is lower. The difference in electrical power produced by the TEG module is possible because of the amount of heat absorbed by the HHX on the hot side of the module the more heat absorbed on the hot side of the TEG, the greater the performance in the form of electrical power generated by the TEG module.

Keywords: wasted heat from lpg gas stove, hot side heat exchanger (hhx), thermoelectric generator (teg), heat transfer, teg performance.

1. PENDAHULUAN

Pada era globalisasi ini energi listrik menjadi salah satu kebutuhan pokok yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat di dunia. Data yang disajikan oleh situs berita online menunjukkan bahwa kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat. Salah satu contoh di negara Indonesia, lebih dari 30 juta orang masih kekurangan energi listrik hal tersebut diperkuat dengan seringnya terjadi pemadaman bergilir yang terjadi di daerah-daerah dan perkotaan [1]. Energi listrik yang diproduksi rata-rata masih tergantung pada bahan bakar fosil sebagai sumber utama. Data pada tahun 2016 menyebutkan bahwa dalam memproduksi listrik di Indonesia 65 % berasal dari batu bara, 27,05 % gas alam, 6,16 % dari minyak solar dan 1,96 % dari minyak bakar [2].

Harus disadari bahwa, penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber utama pembangkit listrik di Indonesia memiliki dampak negative terhadap lingkungan. Oleh karena itu, perlu adanya pendekatan teknologi baru yang lebih inovatif dan lebih efektif untuk menghasilkan listrik yang bebas dari polusi dan pemanasan global serta biaya investasi yang rendah melalui pendekatan teknologi [3].

Salah satu teknologi yang bisa ditawarkan untuk dikembangkan dan memiliki kriteria tersebut diatas adalah *thermoelectric generator (TEG)*, dimana Teknologi TEG sendiri bekerja dengan cara memanfaatkan prinsip kerja dari efek seebeck, yaitu efek yang terjadi bila terdapat dua material yang berbeda dihubungkan dalam suatu rangkaian tertutup dan pada kedua sambungannya dipertahankan pada temperatur yang berbeda maka arus listrik akan mengalir dalam rangkaian tersebut [4].

Disisi lain, pada tahun 2007 Pemerintah Indonesia mengeluarkan kebijakan bahwa penggunaan minyak tanah bersubsidi akan di konversikan ke bentuk gas LPG (Liquid Petroleum Gas) sebagai bahan bakar untuk kebutuhan masyarakat. Disamping ramah lingkungan gas LPG memberikan efek pembakaran yang lebih optimal jika dibandingkan dengan minyak tanah [5]. Namun, efisiensi pembakaran pada kompor gas masih tergolong kecil karena hanya hanya 40% energi panas yang dimanfaatkan dari total energi dalam proses pembakaran pada kompor LPG sedangkan sisanya terbuang ke lingkungan dalam bentuk gas sehingga perlu adanya peningkatan efisiensi pemanfaatan energi panas hasil proses pembakaran kompor [6].

Berdasarkan keterangan diatas, teknologi TEG ini bisa di kolaborasikan dengan memanfaatkan panas yang terbuang hasil pembakaran kompor Gas LPG. Disamping

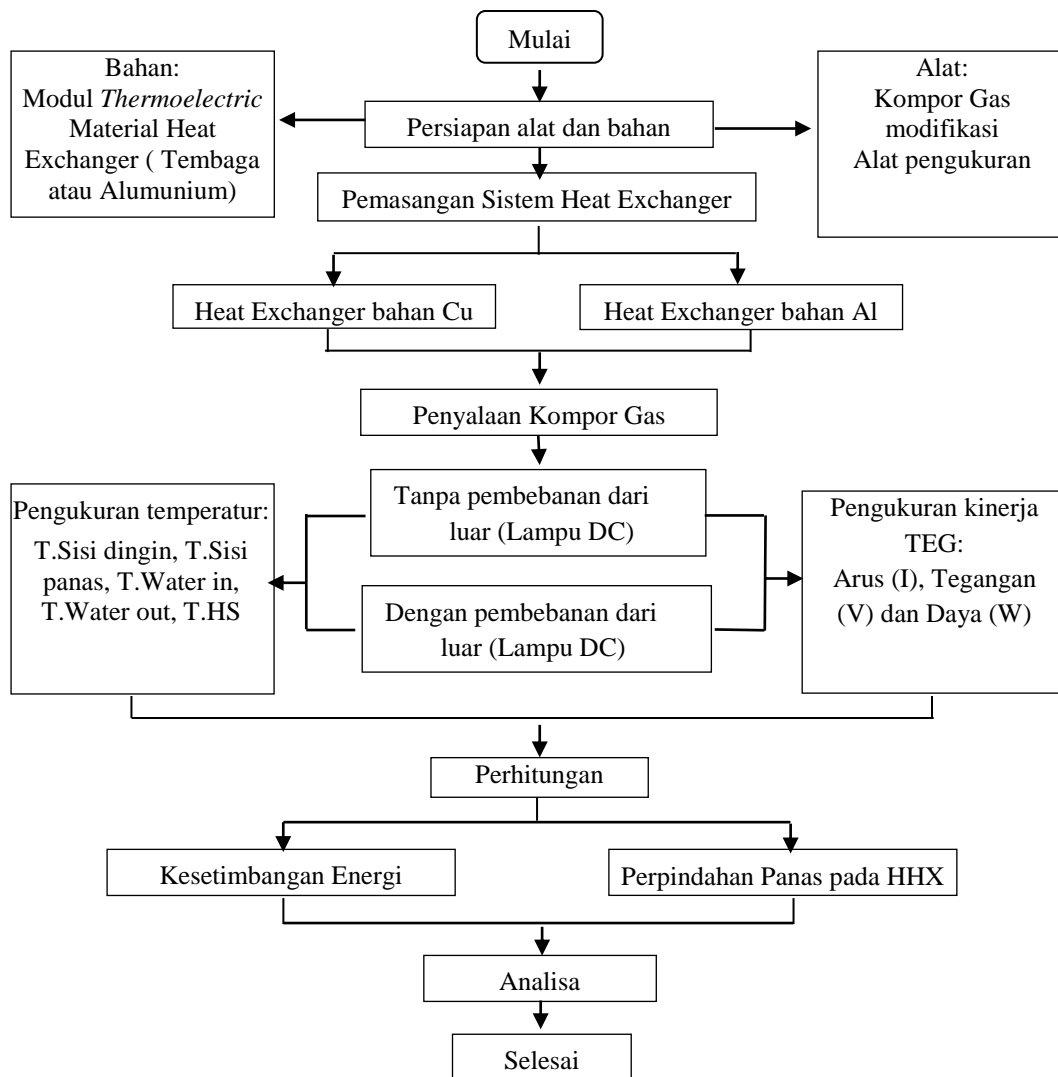
kompur LPG mudah didapatkan, kompor gas LPG tergolong ramah lingkungan sehingga dapat lebih di efisiensi penggunaannya sebagai sumber tenaga listrik alternative. Perlu diketahui bahwa terdapat tiga factor utama untuk meningkatkan kinerja dari TEG yakni penukar panas sisi panas, modul TEG, penukar paas sisi dingin. Untuk memaksimalkan kinerja perangkat secara keseluruhan, maka tiga komponen tersebut harus di perhatikan [7]. Karena faktor tersebut perlu adanya pengembangan serta penelitian yang berfokus pada sistem penukar panas pada sisi hot TEG agar dapat lebih maksimal dalam proses perpindahan panas. Adapun untuk memaksimalkan proses perpindahan panas dari sumber Panas menuju TEG diperlukan material khusus yang bertindak sebagai konduktor yang diharapkan akan menghasilkan perbedaan temperature antara Hot side TEG dan Cold Side TEG yang lebih besar sehingga akan mempengaruhi kinerja TEG untuk menghasilkan listrik dengan efek *seebeck*. Yang termasuk dalam material konduktor yang baik diantaranya berlian (*diamond*), Perak (*Silver*), Tembaga (*copper*), Emas (*Gold*), Alumunium, Baja (*Iron*) [8].

Berdasarkan latar belakang serta artikel yang dijumpai tersebut dapat disimpulkan bahwa material penukar panas memainkan peranan vital dalam proses perpindahan panas pada sisi hot TEG dan kinerja TEG, sehingga pada penelitian ini akan berfokus bagaimana pengaruh penggunaan variasi material penukar panas pada modul TEG yang memanfaatkan panas buang kompor gas terhadap perpindahan panas dan kinerja dari TEG. Sedangkan Tujuan dari penelitian ini antara lain:

Untuk mengetahui besarnya perpindahan energi panas pada *hot-side heatexchanger* dengan menggunakan variasi jenis material. Untuk mengetahui pengaruh variasi jenis material penukar panas terhadap kesetimbangan energi pada kompor, dan kinerja TEG.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1.



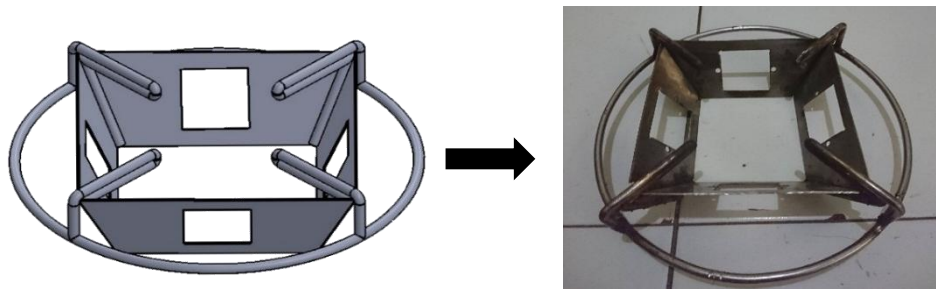
Gambar 1. Skema Penelitian Pemanfaatan Panas Terbuang Kompor Gas Dengan Modul TEG

Penelitian dimulai dengan membuat desain kompor gas LPG menggunakan *software solidworks 2016*, kemudian proses selanjutnya akan dijelaskan sesuai dengan langkah-langkah berikut ini:

2.1 Pembuatan Dudukan Kompor Gas

Gambar 2. Merupakan desain CAD dan hasil dari dudukan kompor gas yang dibuat ulang. Pembuatan ulang dudukan kompor gas dimaksudkan agar sistem TEG dapat terpasang dengan baik. Pembuatan dimulai dengan menyiapkan pipa *stainless steel* diameter 6 mm kemudian dibentuk dan dilas sesuai dengan desain yang sudah dibuat sebelumnya. Plat tipis *stainless steel* yang berlubang ditengahnya dengan bentuk persegi panjang untuk digunakan

pada bagian sisi-sisi dudukan yang nantinya akan ditempel material heat exchanger beserta rangkaian modul TEG.



Gambar 2. Desain dan produk dudukan kompor hasil modifikasi

2.2 Pemasangan Dudukan Kompor Gas Hasil Modifikasi

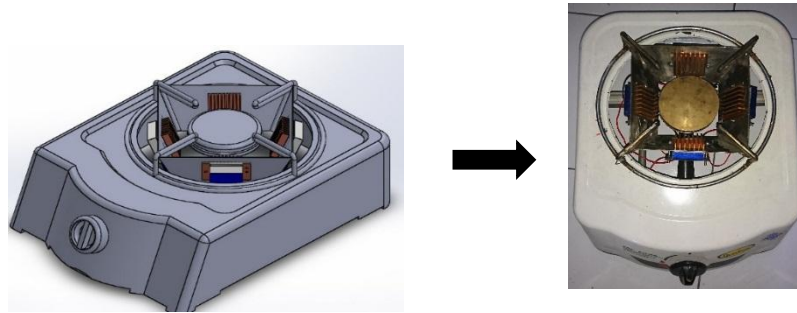
Pemasangan dudukan kompor gas hasil modifikasi dilakukan dengan cara melepas dudukan kompor gas pabrikan kemudian diganti dengan dudukan kompor gas hasil modifikasi. Hal ini bertujuan agar nantinya material heat exchanger dapat menyerap panas buang dengan optimal, serta untuk memudahkan pemasangan rangkaian modul TEG pada plat yang sudah terpasang.



Gambar 3. Kompor gas sebelum dan sesudah dipasang dudukan modifikasi

2.3 Proses pemasangan HHX pada kompor gas LPG

Proses pemasangan HHX dilakukan pada dinding kompor TEG sisi dalam dengan cara membautnya pada tempat yang sudah dibuat. Peneliti melakukan eksperimen dengan mendesain ulang dari bagian dudukan kompor Gas LPG dengan desain untuk memudahkan pemasangan TEG di area sumber panas. Sehingga Material Heat Exchanger dapat menyerap Panas buang dengan Optimal. Material Heat Exchanger yang digunakan dalam eksperimen ini berjumlah 4 buah yang diletakkan pada empat sisi Kompor. Dan untuk model rangkaian TEG peneliti menggunakan rangkaian yang disusun secara seri.

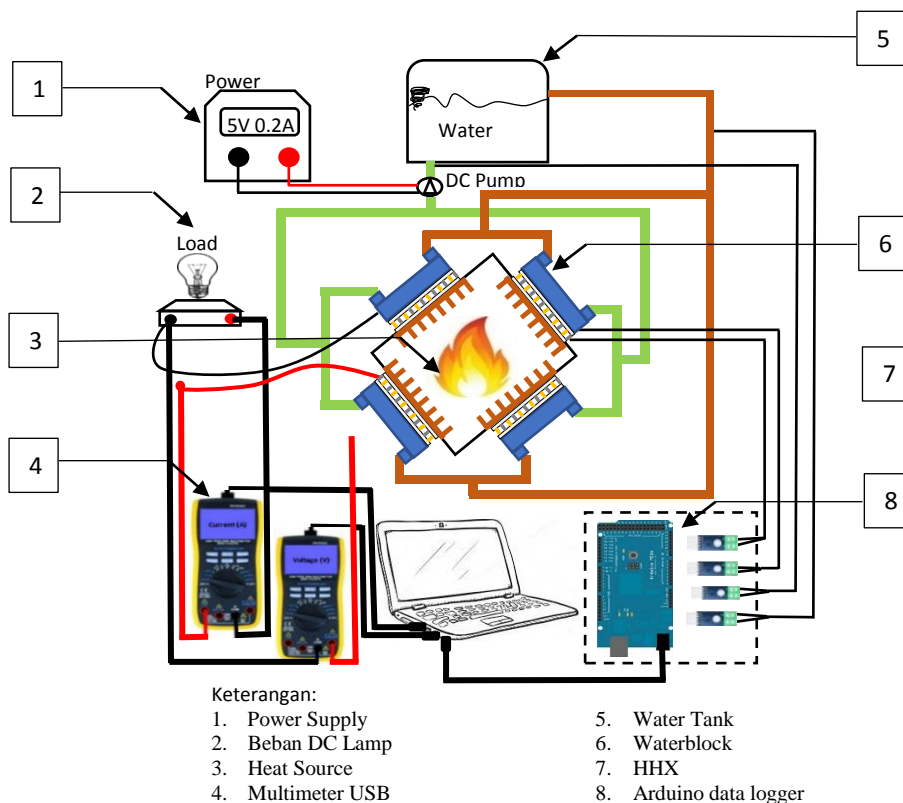


Gambar 4. Pemasangan HHX pada Dudukan Kompor

2.4 Proses Pengambilan Data

Setelah system terpasang maka langkah berikutnya adalah pengambilan data yang berupa suhu dan kinerja TEG dengan diberikan beban luaran berupa lampu DC yang dimana pembebanan ini memiliki tujuan untuk mengukur daya maksimal. Proses pengambilan data dari variasi material heat Exchanger akan dijelaskan sebagai berikut :

Gambar 5. merupakan skema rangkaian alat penelitian. Proses pengukuran dilakukan pada temperatur air masuk *waterblock* ($T_{w.in}$), temperatur air keluar *waterblock* ($T_{w.out}$), Temperatur permukaan dingin TEG (T_C) dan permukaan sisi panas TEG (T_H). proses pengambilan data temperature tersebut dengan memanfaatkan alat akuisisi data berbasis Arduino mega (Arduino data logger). Sedangkan kinerja TEG berupa arus (I) dan tegangan (V) diukur menggunakan multimeter USB yang tersambung ke komputer

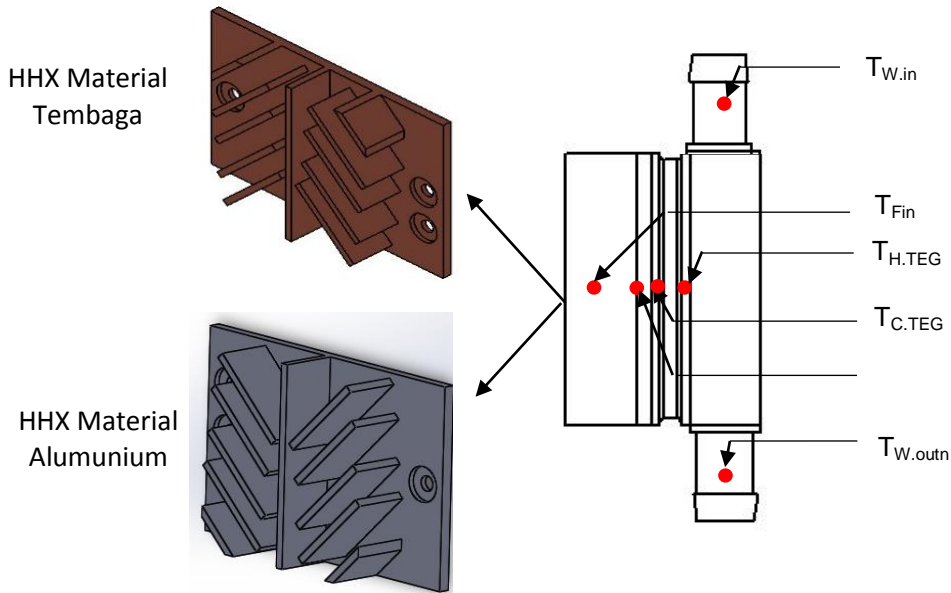


Gambar 5. Skema Rangkaian Alat penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Geometri Spesimen Uji

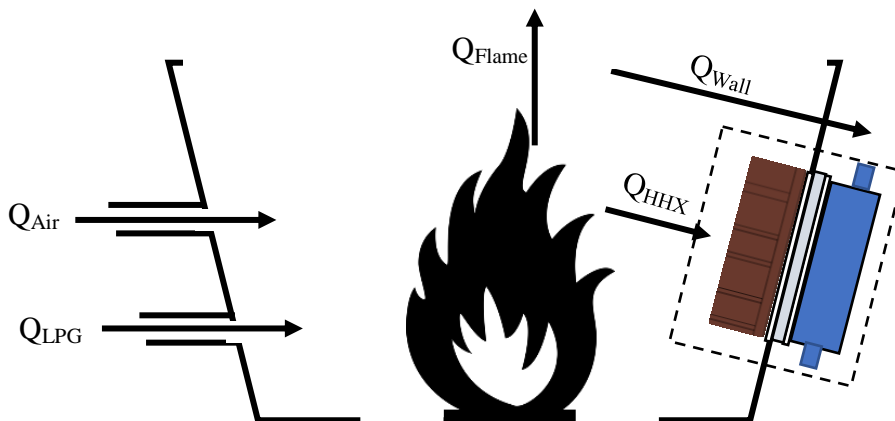
Gambar 6. Merupakan geometri specimen uji dan posisi pemasangan *thermocouple*. Untuk keperluan pengukuran suhu pada pelat HHX, TEG dan *Waterblock* maka dipasang beberapa termokopel yang dapat dilihat pada gambar 6. berikut:



Gambar 6. Gometri Specimen Uji Dan Penempatan *thermocouple*

3.2 Kestimbangan Energi

Gambar 7. Merupakan kestimbangan energy yang terjadi pada kompr gas LPG, dimana pada dinding sisi luar telah terpasang modul TEG dan *hot side heat exchanger* (HHX) pada dinding sisi dalam.



Gambar 7. Skema kestimbangan energi pada kompor gas LPG

Dimana kestimbangan energi yang terjadi pada kompor gas berasal dari adanya kalor yang masuk (Q_{in}) yaitu reaksi antara kalor bahan bakar berupa gas LPG (Q_{LPG}) dengan kalor udara (Q_{air}) di dalam tungku, sebagian energi kalor tersebut keluar (Q_{out}) dalam bentuk energi nyala api (Q_{flame}) dan lainnya menjadi energi panas yang terbuang ke lingkungan

berupa, energi yang masuk ke dinding kompor (Q_{wall}) serta energi panas yang dimanfaatkan kembali menggunakan modul TEG (Q_{use}). Namun karena nilai kalor udara yang masuk kompor terlalu kecil sehingga dapat diabaikan dan terdapat efisiensi pembakaran dalam kompor gas [9]. Formulasi dari kesetimbangan energi pada kompor gas TEG adalah sebagai berikut:

$$Q_{in} = Q_{out}$$

$$\mu_c \cdot Q_{LPG} = Q_{flame} + Q_{wall} + Q_{hhx} \quad (1)$$

Berikut merupakan penjabaran rumus yang digunakan untuk menghitung kesetimbangan energi kompor gas LPG:

$$Q_{LPG} = \dot{m}_{LPG} \cdot LHV \quad (2)$$

$$Q_{wall.in} = h_{in} A_1 T_f - T_s + \varepsilon_f \sigma A_1 T_f^4 - T_s^4 \quad (3)$$

$$Q_{flame} = \dot{m}_f C p_f (T_f - T_a) \quad (4)$$

$$Q_{HHX} = (A_{unfin} \cdot h_i \cdot T_f - T_{fin} + \mu_{fin} \cdot A_{fin} \cdot h_i \cdot (T_f - T_{fin})) + (\varepsilon_f \cdot \sigma \cdot A_{fin} \cdot T_f^4) \quad (5)$$

Dimana \dot{m}_{LPG} adalah laju aliran rata-rata bahan bakar gas LPG [15], LHV merupakan kepanjangan dari *low heating value*/titik nyala bahan bakar terendah [16], sedangkan h_{in} merepresentasikan koefisien perpindahan panas di dalam kompor gas [17], A_1 yaitu luas dinding kompor, T_f merupakan suhu nyala api pada tekanan konstan, ε_f adalah emisifitas gas [18] dan σ yakni ketetapan Stefan boltzman.

Dengan menggunakan formulasi (2), (3), (4), dan (5) maka hasil perhitungan kesetimbangan energi yang terjadi pada kompor gas LPG dengan tambahan *hot-side heat-exchanger* pada bagian dinding kompor dapat dilihat pada table 1 berikut:

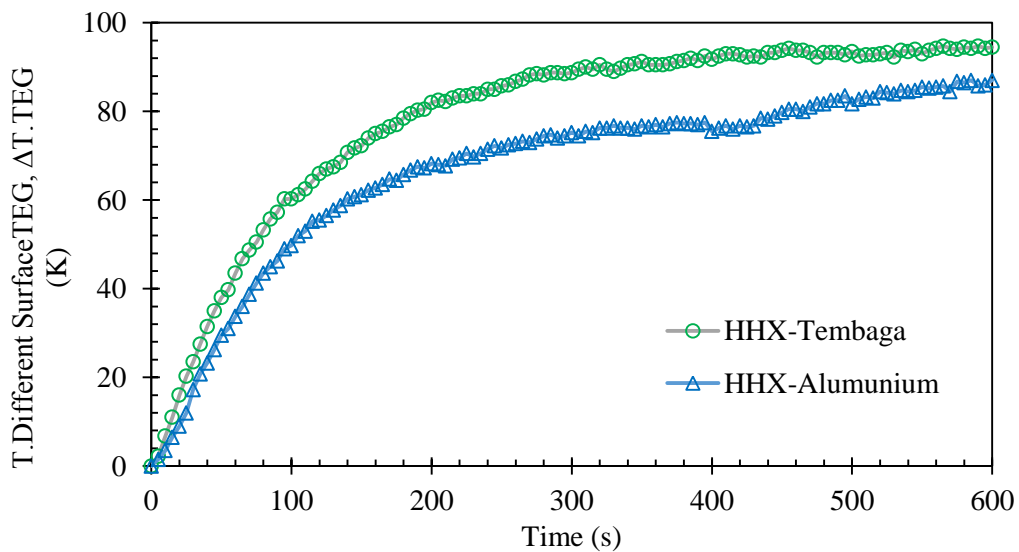
Tabel 1. Hasil Perhitungan Kesetimbangan Energi pada Kompor Gas LPG

No	Variasi Hot-side Heat-exchanger (HHX)	Hasil Pengukuran		Hasil Perhitungan Kesetimbangan Energi				
		T.Wall (K)	T.Ambient (K)	Efisiensi pembakaran kompor (μ_c , %)	Energi Kalor masuk kompor (Q_{in} , J/s)	Energi Kalor bahan bakar (Q_{LPG} , J/s)	Energi Kalor keluar kompor (Q_{out} , J/s)	Energi Kalor dinding kompor (Q_{wall} , J/s)
1	HHX-Tembaga	421	305	52	9321	4490.44	265.88	81.41
2	HHX- Alumunium	400	305	46	9321	3985.06	216.29	66.23

3.3 Pengaruh Variasi Material Penukar Panas Terhadap Selisih Temperatur Permukaan TEG

Gambar 4.7 Menunjukkan pengaruh jenis material penukar panas terhadap selisih suhu pada permukaan hot dan cold TEG. Dari gambar tersebut didapat info Trend curva pada tiap-tiap

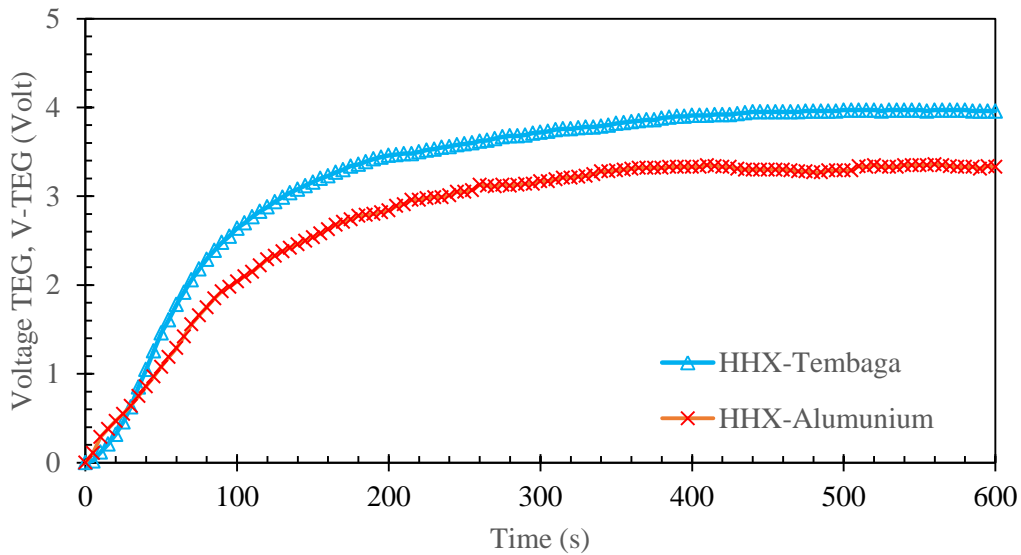
variasi jenis material HHX cenderung sama pada awal eksperimen, yakni mengalami peningkatan yang cukup signifikan pada 150 detik pertama. Selanjutnya untuk semua variasi jenis material HHX kurva yang terbentuk akan cenderung konstan. Akan tetapi pada variasi HHX material aluminium mengalami sedikit penurunan pada detik ke 400, selanjutnya kurva akan cenderung konstan kembali. Hal ini dimungkinkan karena terjadinya sirkulasi udara yang cukup tinggi disekitar kompor gas yang menyebabkan sumber panas tidak stabil sehingga menyebabkan selisih suhu juga tidak stabil. Dengan demikian jenis material HHX yang menghasilkan selisih temperatur antara sisi panas dan sisi dingin TEG tertinggi yaitu pada variasi HHX bahan tembaga.



Gambar 8. Hubungan antara jenis material HHX terhadap selisih suhu permukaan modul TEG

3.4 Pengaruh Variasi Material Terhadap Kinerja TEG

Gambar 8 Terlihat bahwa selisih suhu permukaan antara hot dan cold TEG berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan TEG, semakin baik material menghantarkan energi panas maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan oleh modul. Dari gambar 4.4 didapat info Trend kurva hasil pengukuran tegangan listrik yang dihasilkan modul TEG cenderung akan mengikuti trend kurva selisih suhu permukaan antara sisi panas dan sisi dingin TEG pada gambar 8 diatas. Semakin besar selisih suhu yang diukur maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan oleh modul TEG. Hal tersebut dikarenakan salah satu faktor penentu besarnya tegangan listrik yang dihasilkan TEG adalah selisih suhu diantara kedua permukaan modul.

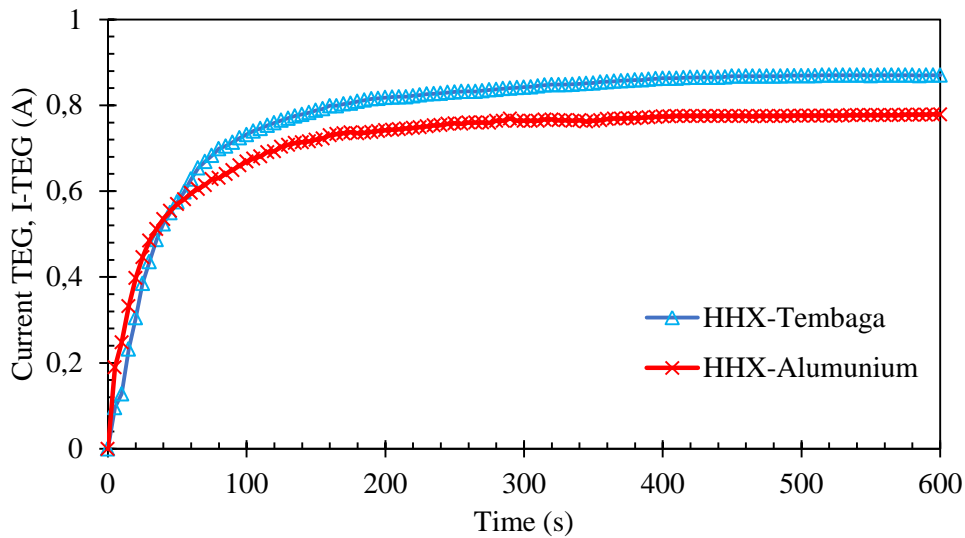


Gambar 9. Hubungan antara variasi jenis material HHX terhadap tegangan yang dihasilkan oleh TEG

Gambar 9 Menunjukkan hubungan antara variasi jenis material penyusun HHX terhadap arus yang dihasilkan oleh modul TEG. Dari hasil pengukuran tersebut maka diperoleh bahwa Semua variasi jenis material penyusun HHX akan menghasilkan trend curva yang sama pada 100 detik pertama dan selanjutnya akan cenderung konstan. Trend curva yang terbentuk juga akan mengikuti trend curva pada gambar 9 dimana semakin besar selisih suhu yang dihasilkan antara permukaan hot dan TEG, maka semakin besar pula arus yang akan mengalir di system TEG ini. Formulasi yang digunakan untuk mengetahui arus listrik yang keluar dari TEG dengan pembebanan bohlam DC atau hambatan luar sebagai berikut [19]:

$$I = a \cdot \Delta T / (R_i + R_L) \quad (6)$$

Dimana a adalah koefisien Seebeck dari material penyusun TEG, ΔT merupakan selisih suhu antara sisi panas dan dingin modul TEG, R_i yaitu hambatan listrik penyusun modul, sedangkan R_L adalah hambatan listrik dari luar (beban dari luar).

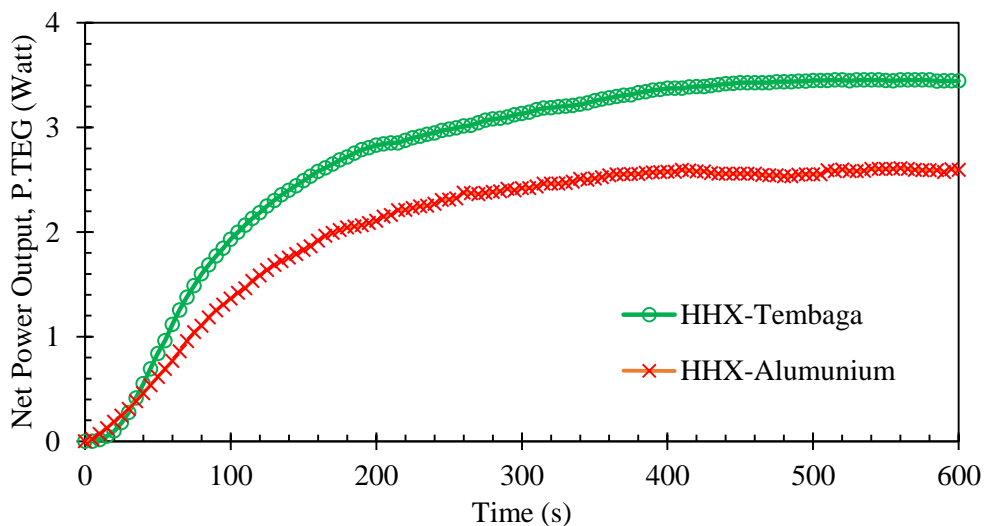


Gambar 10. Hubungan antara variasi jenis material HHX terhadap arus yang dihasilkan oleh TEG

Gambar 10. Merupakan hasil dari perkalian antara tegangan dan arus yang dihasilkan TEG hal itu sesuai dengan rumus berikut:

$$P = I \times V \quad (7)$$

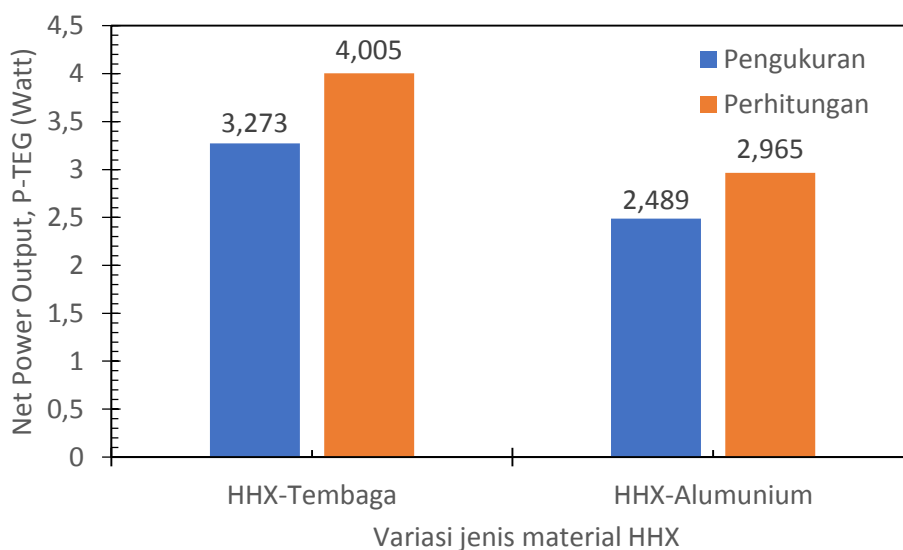
Dimana P merupakan daya yang dihasilkan oleh TEG, I adalah arus yang mengalir pada rangkaian TEG serta V merepresentasikan tegangan yang dihasilkan oleh modul.



Gambar 11. Hubungan antara variasi jenis material HHX terhadap daya yang dihasilkan oleh TEG

Untuk memudahkan analisa kinerja TEG maka gambar 11 Merupakan perbandingan hasil kinerja berupa daya rata-rata yang dihasilkan oleh modul TEG antara perhitungan menggunakan formulasi dengan pengukuran pada saat eksperimen, dimana pada variasi HHX menggunakan material aluminium daya listrik yang dihasilkan 2.489 Watt ketika

pengukuran dan 2.965 Watt daya listrik yang dihasilkan ketika perhitungan menggunakan rumus, sedangkan daya listrik meningkat ketika variasi sirip HHX menggunakan material tembaga dimana daya yang dihasilkan pada saat pengukuran 3.273 Watt, namun ketika perhitungan daya yang dihasilkan lebih besar yakni 4.005 Watt. Hal ini dikarenakan laju perpindahan panas yang paling optimal terjadi pada variasi HHX dengan jenis material tembaga selain itu perbedaan antara hasil pengukuran dan perhitungan pada kinerja TEG berupa daya dimungkinkan karena adanya *heatloss* yang terjadi ketika eksperimen berlangsung yang dimana pada saat perhitungan *heatloss* serta rugi listrik pada kabel diabaikan.



Gambar 12. Hubungan antara variasi material HHX terhadap daya rata-rata yang dihasilkan TEG

4. PENUTUP

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa variasi jenis material *hot-side heat-exchanger* (HHX) sangat mempengaruhi perpindahan panas pada kesetimbangan energy kompor dan juga perpindahan panas pada HHX, dari hasil analisa di dapat info bahwa: Laju perpindahan panas yang paling banyak diserap oleh HHX dari sumber energi panas adalah ketika menggunakan HHX dengan material tembaga, yakni sebesar 81.41 J/s sedangkan laju perpindahan panas untuk HHX menggunakan material aluminium lebih rendah yakni 66.23 J/s Selain itu variasi jenis material penyusun HHX juga mempengaruhi kinerja yang dihasilkan TEG dimana kinerja TEG tertinggi ketika menggunakan variasi HHX material tembaga yang menghasilkan daya 3.273 Watt pada saat pengukuran. Sedangkan untuk variasi yang lain menghasilkan kinerja luaran listrik TEG berupa daya yang lebih rendah. Namun, ketika perhitungan daya menggunakan formulasi rumus, daya yang dihasilkan lebih

besar. Hal ini dikarenakan laju perpindahan panas yang paling optimal terjadi pada variasi HHX dengan jenis material tembaga selain itu perbedaan antara hasil pengukuran dan perhitungan pada kinerja TEG berupa daya dimungkinkan karena adanya *heatloss* yang terjadi ketika eksperimen berlangsung yang dimana pada saat perhitungan *heatloss* serta rugi listrik pada kabel diabaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- S. M. and H. M. Citraningrum, "Beyond A Connection: Improving Energy Access in Indonesia with Open Data," *World Resources Institute*. 2017.
- R. Tondang, "Pilih mana, Energi Fosil atau Energi terbarukan," *25 Agustus*, no. August, pp. 4–7, 2018.
- B. Orr and A. Akbarzadeh, "Prospects of Waste Heat Recovery and Power Generation Using Thermoelectric Generators," *Energy Procedia*, vol. 110, no. December 2016, pp. 250–255, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.135.
- D. Champier, "Thermoelectric generators: A review of applications," *Energy Convers. Manag.*, vol. 140, pp. 167–181, 2017, doi: 10.1016/j.enconman.2017.02.070.
- K. Thoday, P. Benjamin, M. Gan, and E. Puzzolo, "The Mega Conversion Program from kerosene to LPG in Indonesia: Lessons learned and recommendations for future clean cooking energy expansion," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 46, pp. 71–81, 2018, doi: 10.1016/j.esd.2018.05.011.
- P. P. Gohil and S. A. Channiwal, "Experimental Investigation of Performance of Conventional LPG Cooking Stove," *Fundam. J. Therm. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–34, 2011.
- M. I. Hasan, "Investigation of flow and heat transfer characteristics in micro pin fin heat sink with nanofluid," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 63, no. 2, pp. 598–607, 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2013.11.059.
- Y. A. C. M. A. Boles, *Thermodynamics an Engineering Approach*, vol. 66. 2012.
- Y. S. H. Najjar and M. M. Kseibi, "Heat transfer and performance analysis of thermoelectric stoves," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 102, no. March, pp. 1045–1058, 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.03.114.
- N. Kempf and Y. Zhang, "Design and optimization of automotive thermoelectric generators for maximum fuel efficiency improvement," *Energy Convers. Manag.*, vol. 121, pp. 224–231, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.05.035.
- D. R. Karana and R. R. Sahoo, "Effect on TEG performance for waste heat recovery of

- automobiles using MgO and ZnO nanofluid coolants,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 12, no. May, pp. 358–364, 2018, doi: 10.1016/j.csite.2018.05.006.
- X. Liu, Y. D. Deng, K. Zhang, M. Xu, Y. Xu, and C. Q. Su, “Experiments and simulations on heat exchangers in thermoelectric generator for automotive application,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 71, no. 1, pp. 364–370, 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.07.022.
- J. Sumarjo, A. Santosa, and M. I. Permana, “Pemanfaatan Sumber Panas Pada Kompor Menggunakan 10 Termoelektrik Generator Dirangkai Secara Seri,” *J. Mesin Teknol. (SINTEK Jurnal)*, vol. 11, no. 2, pp. 123–128, 2017.
- S. Siswanto, “Pemanfaatan Panas Pada Kompor Gas Lpg Untuk Pembangkitan Energi Listrik Menggunakan Generator,” *Teknologi*, vol. 7, pp. 100–105, 2014.
- M. S. Rocha, E. P. Neto, and S. Panella, “CONVERSION METHODS FOR COMMERCIAL STOVES FROM LPG TO NATURAL GAS FIRING,” no. April 2015, 2010.
- C. J. R. de Moura, “Lower and Higher Heating Values of Gas, Liquid and Solid Fuels Fuels,” *Phys. Rev. E*, p. 53, 2011.
- Kharia Salman Hassan, “Comparative of Wear resistance of low carbon steel pack carburizing using different media,” *Int. J. Eng. Technol.*, 2014.
- O. D. M. Service, “Emissivity Coefficients Materials The radiation heat transfer emissivity coefficient of some common materials as aluminum , brass , glass and many more { Keyword : Small Quiet Water Pump } - Flexible OEM /,” pp. 1–10, 2019.
- A. Marvão, P. J. Coelho, and H. C. Rodrigues, “Optimization of a thermoelectric generator for heavy-duty vehicles,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 179, no. June 2018, pp. 178–191, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2018.10.045.
- H. Lee, “Appendix E: Thermoelectric Properties,” *Thermoelectr. Des. Mater.*, pp. 391–398, 2016, doi: 10.1002/9781118848944.app5.