

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

TESIS

Disusun Untuk Sebagian Persyaratan Memcapai Gelar

Magister Teknik

Pada Program Studi Magister Teknik Mesin



Oleh:

GALIH MUJI TRI SUTRISNO

U 100 160 024

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN

SEKOLAH PASCASARJANA

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

Februari 2020

NOTA PEMBIMBING 1

Ir.Tri Widodo Besar Riyadi., M.Sc,Ph.D

Program Studi Teknik Mesin

Sekolah Pascasarjana

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Nota Dinas

Hal: Tesis Saudara Galih Muji Tri Sutrisno

Kepada Yth.

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Sekolah Pascasarjana

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Assalamu `alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, mengoreksi dan mengadakan perbaikan terhadap tesis saudara:

Nama : Galih Muji Tri Sutrisno

NIM : U 100160024

Program Studi : Magister Teknik Mesin

Konsentrasi : Konversi Energi

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

Dengan ini kami menilai tesis tersebut dapat disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian tesis pada Program Studi Teknik Mesin , Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Wassalamu `alaikum wr. wb.

Surakarta, 26 Februari 2020

Pembimbing,



Ir.Tri Widodo Besar Riyadi., M.Sc,Ph.D

NOTA PEMBIMBING 2

Ir. Agus Dwi Anggono, ST., M.Eng., Ph.D

Program Studi Teknik Mesin

Sekolah Pascasarjana

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Nota Dinas

Hal: Tesis Saudara Galih Muji Tri Sutrisno

Kepada Yth.

Ketua Program Studi Teknik Mesin

Sekolah Pascasarjana

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Assalamu `alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, mengoreksi dan mengadakan perbaikan terhadap tesis saudara:

Nama : Galih Muji Tri Sutrisno

NIM : U 100160024

Program Studi : Magister Teknik Mesin

Konsentrasi : Konversi Energi

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

Dengan ini kami menilai tesis tersebut dapat disetujui untuk diajukan dalam sidang ujian tesis pada Program Studi Teknik Mesin , Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Wassalamu `alaikum wr. wb.

Surakarta, 26 Februari - 2020

Pembimbing,



Ir. Agus Dwi Anggono, ST., M.Eng., Ph.D

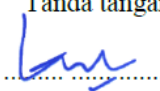

**PENGARUH JENIS MATERIAL *HOT-SIDE HEAT*
EXCHANGER (HX) TERHADAP KINERJA
THERMOELECTRIC GENERATOR (TEG) PADA
PEMANFAATAN PANAS TERBUANG KOMPOR GAS**

TESIS

Oleh

GALIH MUJI TRI SUTRISNO

U 100 160 024

| Pembimbing | Nama | Tanda tangan | Tanggal |
|--------------------------|--|--|--------------|
| Pembimbing Utama | <u>Ir. Tri Widodo Besar Riyadi,</u> ST, M.Sc, Ph.D NIDN : 0627017202 |  | 4 Maret 2020 |
| Pembimbing Pendamping | <u>Ir. Agus Dwi Anggono.,ST,</u> M.Eng, Ph. D NIDN : 0617067602 |  | 4 Maret 2020 |

Telah dinyatakan memenuhi syarat untuk diujikan
pada tanggal 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

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



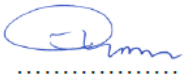
TESIS

Oleh

GALIH MUJI TRI SUTRISNO

U 100 160 024

TIM PENGUJI

| Tim Penguji | Nama | Tanda tangan | Tanggal revisi |
|--------------|---|--|----------------|
| KetuaPenguji | <u>Ir.Tri Widodo Besar Riyadi.,ST., M.Sc, Ph.D</u> NIDN : 0627017202 |  | 5 Maret 2020 |
| Anggota 1 | <u>Ir. Agus Dwi Anggono.,ST, M.Eng, Ph.D</u> NIDN : 0617067602 |  | 5 Maret 2020 |
| Anggota 2 | <u>Marwan Effendy,ST, M.Eng, Ph.D</u> NIDN : 0612107101 |  | 5 Maret 2020. |

Telah di pertahankan di hadapan tim penguji dan telah memenuhi syarat kelulusan
pada tanggal 5 Maret 2020

Direktur Sekolah Pascasarjana
Universitas Muhammadiyah Surakarta




Prof. Dr. Bambang Sumardjoko, M.Pd.

NIDN : 0014056201

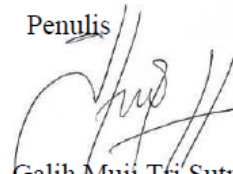
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 26 Februari 2020

Penulis



Galih Muji Tri Sutrisno

U100160024

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 aluminium 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.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan Syukur Alhamdulillah, Segala Puji bagi Allah SWT. Tuhan semesta alam yang hanya atas karena izin dan segala rahmat hidayah-Nya dapat menyelesaikan tesis dengan berjudul “Pengaruh daya dan diameter terhadap temperatur dan frekuensi pada prosesn pemanasan induksi pada baja aisi 440 ” diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Program Studi Magister Teknik Mesin Sekolah Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Surakarta. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa. Tugas akhir ini tidak akan terselesaikan tanpa Ridho mu ya Rabb.
2. Bapak Prof. Dr. Bambang Sumardjoko. Selaku Direktur Pascasarjana.
3. Bapak Ir.Tri Widodo Besar Riyadi, S.T, M.Sc, Ph.D. selaku Kaprodi Magister Teknik mesin .
4. Bapak Ir. Tri Widodo Besar Riyadi, ST, M.Sc, Ph.D Selaku pembimbing utama yang memberikan bimbingan dan motivasi sampai selesai tesis ini.
5. Bapak Ir. Agus Dwi Anggono, ST, MT, Ph.D. Selaku dosen Pembimbing pendamping membantu di dalam penulisan tesis.
6. Bapak Marwan Effendy, ST, MT, Ph.D selaku dosen penguji.
7. Kedua orang tua dan kakaku maupun keluarga tercinta yang selalu memberikan semangat dan doa kepada saya.
8. Nugroho Tri Atmoko, Bagus radiant, selaku partner tesis serta teman-teman MTM 4 yang selalu memberikan motivasi, berbagi keluh kesah dan dukungan, susah senang dikerjakan bersama-sama hingga selesai. Dan juga sahabat terbaik penulis.

Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang membutuhkan.

Surakarta, 4 Maret 2020
Penulis

Galih Muji Tri Sutrisno

DAFTAR ISI

| | Hal |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| NOTA PEMBIMBING I | ii |
| NOTA PEMBIMBING 2 | iii |
| HALAMAN PERSETUJUAN | iv |
| HALAMAN PENGESAHAN | v |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TESIS | vi |
| ABTRAK | vii |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Studi Literatur | 5 |
| 2.2 Dasar Teori | 8 |
| | |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 19 |
| 3.2 Tahapan Penelitian | 20 |
| 3.3 Alat dan Bahan | 21 |
| 3.4 Pengambilan Data | 27 |
| 3.5 Geometri Spesimen Uji | 29 |

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

| | |
|------------------------------|----|
| 4.1 Hasil dalam Grafik | 30 |
| 4.2 Pembahasan | 31 |

BAB V PENUTUP

| | |
|----------------------|----|
| 5.1 Kesimpulan | 38 |
| 5.2 Saran | 39 |

DAFTAR PUSTAKA**LAMPIRAN**

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 3.1 Koneksi Antara Sensor Max6675 dan Arduino Mega 2560 | 23 |
| Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Keseimbangan Energi Pada Kompor Gas LPG..... | 32 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| Gambar 2.1 Prinsip Dasar Termoelektrik (TE) Generator | 8 |
| Gambar 2.2 Modul Termoelektrik | 9 |
| Gambar 2.3 Skema Keseimbangan Energi Pada Kompor Gas LPG | 10 |
| Gambar 2.4 Perpindahan Panas pada HHX | 15 |
| Gambar 2.6 Sirkuit listrik pada system TEG | 16 |
| Gambar 2.7 geometri dimensi Waterblock | 17 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian | 19 |
| Gambar 3.4 Desain dan produk dudukan kompor hasil modifikasi..... | 21 |
| Gambar 3.5 Kompor gas sebelum dan sesudah dipasang dudukan modifikasi | 22 |
| Gambar 3.6 Pemasangan HHX pada Dudukan Kompor..... | 23 |
| Gambar 3.7 Skema rangkaian akuisisi data temperature menggunakan Arduino..... | 24 |
| Gambar 3.8 Diagram blok system pengukuran temperature..... | 24 |
| Gambar 3.9 Multimeter USB | 25 |
| Gambar 3.10 Material HHX..... | 25 |
| Gambar 3.11 Water tank | 26 |
| Gambar 3.12 Waterblock..... | 26 |
| Gambar 3.13 Pompa air DC | 27 |
| Gambar 3.14 TEG..... | 27 |
| Gambar 3.15 Skema penelitian | 28 |
| Gambar 3.16 geometri specimen uji dan penempatan <i>thermocouple</i> | 29 |
| Gambar 4.1 Hasil pengambilan data pada: (a) <i>Surface temperature HHX</i> , (b) <i>Surface Temperature TEG</i> dan <i>Electric Output TEG</i> | 31 |
| Gambar 4.2 Skema keseimbangan energi pada kompor gas LPG | 32 |
| Gambar 4.3 Hubungan antara jenis material HHX terhadap selisih suhu permukaan modul TEG..... | 33 |
| Gambar 4.4 Hubungan antara variasi jenis material HHX terhadap tegangan yang dihasilkan oleh TEG..... | 34 |
| Gambar 4.5 Hubungan antara variasi jenis material HHX terhadap arus yang dihasilkan oleh TEG..... | 35 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.6 Hubungan antara variasi jenis material HHX terhadap daya yang dihasilkan oleh TEG..... | 36 |
| Gambar 4.7 Hubungan antara variasi material HHX terhadap daya rata-rata yang dihasilkan TEG..... | 37 |