

TESIS

**STUDI OPTIMALISASI KONVERSI PANAS SISA GAS
BUANG HRSG PLTGU KERAMASAN KE ENERGI
LISTRIK DENGAN TEKNOLOGI TERMOELEKTRIK
GENERATOR**



**HARI FIRMANSAH
03032622125007**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

TESIS

**STUDI OPTIMALISASI KONVERSI PANAS SISA GAS
BUANG HRSG PLTGU KERAMASAN KE ENERGI
LISTRIK DENGAN TEKNOLOGI TERMOELEKTRIK
GENERATOR**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik**



**HARI FIRMANSAH
03032622125007**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI OPTIMALISASI KONVERSI PANAS SISA GAS BUANG HRSG PLTGU KERAMASAN KE ENERGI LISTRIK DENGAN TEKNOLOGI TERMOELEKTRIK GENERATOR

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister
Teknik Mesin Pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

HARI FIRMANSAH
03032622125007

Palembang, Juni 2023

Menyetujui,

Pembimbing I



Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T
NIP. 196005281989031002

Pembimbing II



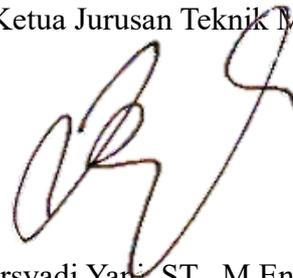
Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc
NIP. 195606041986021001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Prof. Dr. Eng Ir. H. Joni Arliansyah.
M.T
NIP. 196706151995121002

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Irsyadi Yanti, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 197112251997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Tesis dengan judul “STUDI OPTIMALISASI KONVERSI PANAS SISA GAS BUANG HRSG PLTGU KERAMASAN KE ENERGI LISTRIK DENGAN TEKNOLOGI TERMOELEKTRIK GENERATOR” telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Sidang Tesis Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 27 Mei 2023 dan dinyatakan sah.

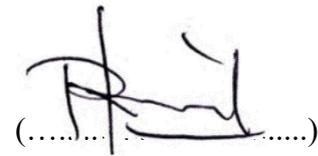
Palembang, 27 Mei 2023

Pembimbing:

1. Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T
NIP. 196005281989031002

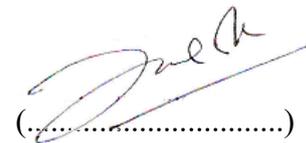


2. Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc
NIP. 195606041986021001

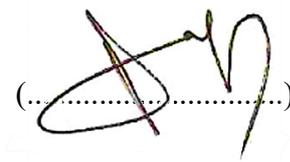


Tim Penguji :

1. Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T.
NIP. 197209021997021001



2. Dr. Ir. Darmawi bayin, M.T
NIP. 195806151987031002



Koordinator Program Studi
Magister Teknik Mesin



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197901052003121002

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf

NAMA : HARI FIRMANSAH

NIM : 03032622125007

JURUSAN : Teknik Mesin

BIDANG STUDI : Konversi Energi

**JUDUL TESIS : Studi Optimalisasi Konversi Panas Sisa Gas
Buang HRSG PLTGU Keramasan Ke Energi
Listrik Dengan Teknologi Termoelektrik
Generator**

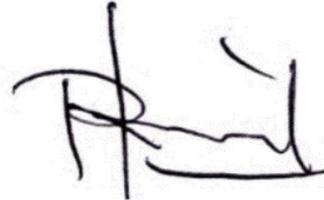
DIBUAT TANGGAL : 23 Desember 2023

SELESAI TANGGAL : 27 Mei 2023

Palembang, 23 Mei 2023

Menyetujui,
Pembimbing I

Menyetujui,
Pembimbing II



Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T

NIP. 196005281989031002

Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc

NIP. 195606041986021001

Koordinator Program Studi

Magister Teknik Mesin

Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D

NIP. 197901052003121002

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hari Firmansah

NIM : 03032622125007

Judul : Studi Optimalisasi Konversi Panas Sisa Gas Buang HRSG PLTGU
Keramasan Ke Energi Listrik Dengan Teknologi Termoelektrik
Generator

Memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Corresponding author*).

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Mei 2023

Penulis,



HARI FIRMANSAH
NIM. 03032622125007

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Hari Firmansah

NIM : 03032622125007

Judul : Studi Optimalisasi Konversi Panas Sisa Gas Buang HRSG PLTGU
Keramasan Ke Energi Listrik Dengan Teknologi Termoelektrik
Generator

Menyatakan bahwa tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Mei 2023



[Hari Firmansah]

RINGKASAN

STUDI OPTIMALISASI KONVERSI PANAS SISA GAS BUANG HRSG
PLTGU KERAMASAN KE ENERGI LISTRIK DENGAN TEKNOLOGI
TERMOELEKTRIK GENERATOR

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 27 Mei 2023

Hari Firmansah Dibimbing Oleh Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T dan Prof. Dr. Ir. Riman
Sipahutar, M.Sc

*Study Of Optimization Exhaust Gas Residual Heat Conversion HRSG PLTGU
Keramasan To Electrical Energy With Generator Thermoelectric Technology*

xxii + 44 halaman, 10 tabel, 28 gambar.

RINGKASAN

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) merupakan gabungan dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), pembangkit ini memanfaatkan gas buang dari PLTG untuk menghasilkan uap sebagai fluida kerja di dalam PLTU. Panas sisa dari proses pemanasan di HRSG disalurkan ke cerobong asap, dan sisa panas dari gas buang dapat diubah menjadi energi listrik dengan modul *Thermoelectric Generator* (TEG). Penelitian ini dilakukan dengan memasang modul TEG secara seri pada permukaan dinding cerobong HRSG, dengan menggunakan pengukuran skala laboratorium. Sumber panas menggunakan *heater* dengan total daya 2.000 W. Hasil penelitian menunjukkan bahwa modul TEG dapat mengubah energi panas sisa gas buang dari cerobong HRSG menjadi energi listrik. Empat modul TEG dipasang di permukaan cerobong dengan posisi yang berbeda serta disusun dengan rangkaian seri menghasilkan tegangan 0,83 V dan daya maksimum 2,79 mW. Hasil ini menunjukkan bahwa modul TEG merupakan peluang untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik untuk pengembangan lebih lanjut.

Kata Kunci : Energi panas, energi listrik, cerobong, HRSG, TEG.

SUMMARY

Study Of Optimization Exhaust Gas Residual Heat Conversion HRSG PLTGU Keramasan To Electrical Energy With Generator Thermoelectric Technology

Scientific papers in the form of a thesis, May 27, 2023

Hari Firmansah; Supervised by Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T and Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc

Studi Optimalisasi Konversi Panas Sisa Gas Buang HRSG PLTGU Keramasan Ke Energi Listrik Dengan Teknologi Termoelektrik Generator

xxii + 44 pages, 10 table, 28 picture

SUMMARY

The Heat Recovery Steam Generator (HRSG) is a combination of a Gas Power Plant (PLTG) and a Steam Power Plant (PLTU), this plant utilizes exhaust gas from the PLTG to produce steam as the working fluid in the PLTU. The residual heat from the heating process at the HRSG is channeled into the chimney, and the remaining heat from the exhaust gas can be converted into electrical energy with the Thermoelectric Generator (TEG) module. This research was carried out by installing the TEG module in series on the surface of the HRSG chimney wall, using laboratory scale measurements. The heat source uses a heater with a total power of 2,000 W. The results showed that the TEG module can convert the residual heat energy of the exhaust gas from the HRSG chimney into electrical energy. Four TEG modules are installed on the surface of the chimney in different positions and are arranged in series to produce a voltage of 0.83 V and a maximum power of 2.79 mW. These results indicate that the TEG module is an opportunity to convert heat energy into electrical energy for further development.

Keywords : *Heat energy, electric energi, chimney, HRSG, TEG.*

KATA PENGANTAR

Pertama, penulis mengucapkan syukur dan berterima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala rahmat, karunia, dan anugerah-Nya sehingga penyusunan tesis ini dapat diselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga akhirnya penulis dapat menyelesaikan proposal tesis ini, adapun pihak tersebut:

1. Kedua Orang tua yang selalu memberikan dukungan moral dan materi serta doanya yang tulus membimbing, mengarahkan, mendidik serta memotivasi penulis dari awal hingga selesainya tesis ini.
2. Bapak Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Dr. Ir. Irwin Bizzy, M.T selaku Dosen Pembimbing 1 Tesis dan Bapak Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc selaku Dosen Pembimbing 2 serta Bapak Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah ikhlas dan tulus telah membimbing, mengarahkan, mendidik, memotivasi serta banyak memberikan sarana kepada penulis dari awal hingga selesainya tesis ini.
4. Bapak Dr. H. Ismail Thamrin, S.T., M.T dan Bapak Dr.Ir. Darmawi bayin, M.T, selaku Tim Penguji Sidang Tesis Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang juga memberikan bimbingan serta arahan dalam ruang lingkup Jurusan Teknik Mesin.
5. Bapak Agung Kristian selaku Staf Administrasi Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu dalam proses administrasi.
6. Rekan-rekan sesama peneliti yang mengambil fokus di bidang topik penelitian yang sama yakni, Fadhil Fuad Rachman, S.T., M.T., dan Muhammad Zahir S.T., M.T yang telah membantu saya dalam menjalankan penelitian, menyusun tesis sehingga bersama-sama kami di berbagai kondisi suka dan duka.

Dalam penulisan proposal tesis ini, penulis sadar masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran serta masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan untuk membantu dalam perbaikan. Penulis juga mengharapkan tesis dengan judul “STUDI OPTIMALISASI KONVERSI PANAS SISA GAS BUANG HRSG PLTGU KERAMASAN KE ENERGI LISTRIK DENGAN TEKNOLOGI TERMOELEKTRIK GENERATOR” dapat memberikan manfaat untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi di Indonesia serta menjadi referensi bagi yang akan mengkaji di bidang topik penelitian yang sama dimasa yang akan datang.

Palembang, Mei 2023

Penulis



Hari Firmansah

NIM. 03032622125007

DAFTAR ISI

COVER TESIS	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
RINGKASAN.....	viii
SUMMARY.....	ix
KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Studi Literatur	5
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap.....	8
2.3 <i>Heat Recovery Steam Generator</i>	10
2.4 Efek Termoelektrik	11
2.5 Termoelektrik Generator	14
2.6 Konsep Dasar Perpindahan Panas	19
2.7 Teori Analisa Dimensi.....	22
BAB 3 METODE PENELITIAN	25
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	25
3.2 Pengumpulan Data.....	26
3.3 Pengolahan Data.....	26
3.4 Prototype Alat Uji Penelitian Modul TEG pada Cerobong HRSG	

3.5 Diagram Alir Tahapan Metode Penelitian	30
BAB 4 PEMBAHASAN.....	31
4.1 Analisa Dimensi Cerobong HRSG PLTGU	31
4.2 Analisa Hasil Penelitian Secara Eksperimental	32
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44

DAFTAR GAMBAR

	Hal
Gambar 2.1 State of the Art (SOTA) penelitian.....	8
Gambar 2.2 Skematik Pembangkit PLTGU Keramasan.....	9
Gambar 2.3 Unit Pembangkit PLTGU Keramasan.....	10
Gambar 2.4 <i>Heat Recovery Steam Generator</i> (HRSG).....	11
Gambar 2.5 Prinsip kerja <i>efek seebeck</i>	12
Gambar 2.6 Skematik diagram kerja TEC	14
Gambar 2.7 Struktur Modul Termoelektrik	14
Gambar 2.8 Mekanisme konversi energi TEG.....	15
Gambar 2.9 Cara kerja TEG.....	16
Gambar 2.10 Perangkat Modul TEG.....	17
Gambar 2.11 Klasifikasi Perpindahan Kalor.....	18
Gambar 2.12 Perpindahan panas Konduksi	19
Gambar 2.13 Proses perpindahan panas Konveksi	21
Gambar 2.14 Matriks bilangan berdimensi dan tak berdimensi.....	24
Gambar 3.1 Posisi Penempatan Lokasi Modul TEG dan Titik	29
Gambar 3.2 Alat uji dan komponen penelitian.....	29
Gambar 4.1 Skematik Analisa dimensi cerobong.	31
Gambar 4.2 Skala laboratorium cerobong.....	31
Gambar 4.3 Distribusi termal cerobong HRSG	33
Gambar 4.4 Perbandingan temperatur sisi panas modul TEG 1 s.d 4.....	37
Gambar 4.5 Perbandingan temperatur sisi dingin modul TEG 1 s.d 4.....	37
Gambar 4.6 Grafik (ΔT) terhadap variasi temperatur kerja heater 75°C...38	
Gambar 4.7 Grafik (ΔT) terhadap variasi temperatur kerja heater 85°C...38	
Gambar 4.8 Grafik (ΔT) terhadap variasi temperatur kerja heater 100°C.39	
Gambar 4.9 Perbandingan tegangan listrik secara seri.....	40
Gambar 4.10 Perbandingan kuat arus secara seri.....	40
Gambar 4.11 Perbandingan daya listrik secara seri modul TEG 1 s.d 4...41	
Gambar 4.12 Perbandingan tegangan individual modul TEG 1 s.d 4.....	41
Gambar 4.13 Perbandingan kuat arus individual modul TEG 1 s.d 4.....	42

Gambar 4.14 Perbandingan daya listrik individual modul TEG 1 s.d 4... 42

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Artikel Review	5
Tabel 2.2 Satuan dimensi.....	22
Tabel 3.1 timeline penelitian	25
Tabel 3.2 Tabel pengamatan uji	26
Tabel 3.3 Tabel data hasil produksi listrik permasing-masing modul TEG	27
Tabel 3.3 Hasil Pengujian modul TEG Rangkaian Seri	28
Tabel 4.1 Dimensional matriks.....	31
Tabel 4.2. Perbandingan ukuran aktual dan skala laboratorium.....	32
Tabel 4.3 Data hasil uji penyerapan temperatur sisi panas dan dingin modul TEG serta perbedaan temperatur.....	34
Tabel 4.4 Tabel data hasil produksi listrik permasing-masing modul TEG	35

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemakaian konsumsi bahan bakar fosil secara ekstensif menyebabkan permasalahan pada atmosfer dan berdampak kerusakan bagi lingkungan sekitar, seperti pemanasan global serta perubahan iklim (He et al., 2015). Energi alternatif merupakan sebuah energi yang dapat dimanfaatkan dan memiliki tujuan sebagai pengganti bahan bakar fosil tanpa mengakibatkan kerusakan lingkungan seperti penggunaan bahan bakar fosil. Sebagai contoh energi alternatif di negara Indonesia pada masa kini antara lain: energi matahari, energi angin dan energi geothermal yang menjadi andalan serta mempunyai keunggulan dibandingkan energi lain dikehidupan saat ini dan masa depan yang akan datang (Priyoatmojo & Margana, 2016). Pengembangan pemanfaatan panas sisa yang berbasis bebas emisi dan ramah lingkungan diperlukan dilakukan saat ini secara terus menerus agar kebutuhan energi bersih bagi makhluk hidup terpenuhi. PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap) memiliki beberapa *equipment* utama yaitu HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*), dimana gas panas yang terbuang dari turbin gas diteruskan menuju HRSG sebagai media pemanas untuk menghasilkan uap yang menggerakkan turbin uap (SAM, 2021).

Panas sisa dari proses memanaskan air pada HRSG disalurkan secara langsung ke cerobong (*stack*), dimana panas ini dapat diubah menjadi energi listrik dengan modul TEG (*Thermoelectric Generator*). Pemanfaatan modul TEG secara langsung dapat menghasilkan tenaga listrik dari perbedaan temperatur di antara permukaan sumber benda kerjanya. Kelebihan penggunaan modul TEG antara lain: sangat andal dan tahan terhadap *fluks* termal yang tinggi (Lashin et al., 2020). Kemudian, modul TEG juga bebas dari emisi gas sehingga tidak menimbulkan polusi udara, tidak memiliki bagian yang bergerak, tidak ada reaksi kimia, perawatan minimal serta *life time* jangka panjang (Balkrishan et al., 2016).

Termoelektrik memiliki banyak aplikasi praktis mulai dari pemanfaatan energi terbarukan, limbah industri panas dan sebagainya. Pemanfaatan sumber panas buangan dari pemanas air rumah tangga (*water heater*) sebagai pembangkit

tenaga listrik menggunakan modul TEG dengan menggunakan modul TEG sebanyak 60 unit yang diuji terhadap variasi temperatur air panas sekitar 50°C sampai dengan 100°C sehingga menghasilkan daya listrik minimum 3.9 W dan maksimum 42.4 W serta efisiensi termal dari sistem ini adalah sekitar 0,37% hingga 1,03% (Ding et al., 2017). Penggunaan energi cahaya radiasi matahari pada *solar cell* untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan 3 (tiga) modul TEG yang dipasang dengan sumber panas dari dua intensitas cahaya terkonsentrasi menghasilkan daya 0,67 W dan 0,51 W (Lashin et al., 2020). Pengujian eksperimental modul TEG dengan memanfaatkan sumber panas limbah industri pada *hexagonal heat exchanger* menggunakan sebanyak 30 modul TEG tipe TEHP1-1264-0.8 yang disusun pada 6 permukaan sisi penukar panas *hexagonal heat exchanger* dengan temperatur sisi panas maksimum adalah 269,2°C menghasilkan daya keluaran maksimum TEG sekitar 11,5 W dan nilai efisiensi sistem 0,96% atau mendekati 1,0% (Quan et al., 2020). Sistem pembuangan mesin diesel juga dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dengan modul TEG hasilnya jika terjadi kenaikan putaran mesin diesel yang menyebabkan massa fluida terbuang dalam satuan periode menjadi tinggi sehingga menyebabkan kenaikan temperatur permukaan modul TEG dan meningkatkan tegangan dan arus listrik (Kunt & Gunes, 2020). Pada sistem uap panas sisa pengecoran perunggu menunjukkan bahwa daya modul TEG meningkat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kecepatan gas buang dan temperatur yang masuk. Secara keseluruhan, total TEG yang dipasang adalah 576 modul dengan kecepatan 4 m/s dan temperatur *input* 600°C, menghasilkan *output* daya neto mencapai 9,37 kW serta efisiensi 2,2% (Liu et al., 2022).

Pemanfaatan gas buang dari knalpot kendaraan bermotor untuk menjadi energi listrik melalui modul TEG menggunakan 3 (tiga) modul TEG yang memiliki tipe TE-MOD-5W5V-35S dan pemanas dengan temperatur maksimum 165°C. Peningkatan perbedaan temperatur akan meningkatkan daya listrik, rangkaian secara paralel akan menghasilkan daya yang tinggi tetapi tegangan listrik akan menjadi lebih rendah (Mirmanto et al., 2020). Pengujian eksperimental penggunaan panas buangan dari pabrik semen untuk membangkitkan energi listrik melalui modul TEG dengan memakai 2 (dua) sistem pendingin pada *heatsink* yaitu udara

paksa dan air. Metode sistem pendingin udara paksa rata-rata menghasilkan temperatur sisi panas maksimum adalah 284°C dan temperatur sisi *heatsink* pendingin 29°C menghasilkan tegangan listrik maksimum 7,4 V dan kuat arus 1,6 A. Sedangkan metode pendingin kedua dengan air rata-rata menghasilkan temperatur sisi panas maksimum adalah 288°C dan temperatur sisi *heatsink* pendingin 31°C menghasilkan tegangan listrik maksimum 7,5 V dan arus 1,65 A (Gomaa et al., 2022). Penggunaan kedua sistem pendingin tersebut membutuhkan energi listrik tambahan yang menyebabkan biaya kebutuhan sistem tersebut menjadi lebih mahal dan kurang efisien. Dari berbagai aplikasi pemanfaatan teknologi modul TEG untuk mengubah energi panas menjadi energi listrik serta berdasarkan potensi energi panas sisa yang terbuang dengan temperatur berkisar $\pm 100^\circ\text{C}$ dari cerobong HRSG PLTGU Keramasan, dengan demikian dalam penelitian ini dilakukan pengembangan studi penelitian optimalisasi pemanfaatan panas sisa gas buang HRSG PLTGU Keramasan menjadi energi listrik dengan teknologi termoelektrik generator.

1.2 Rumusan Masalah

Teknologi modul TEG telah mengalami perkembangan besar saat ini dengan beberapa metode dalam memanfaatkan modul TEG menjadi energi listrik seperti pemanfaatan modul TEG di pemanas air rumah tangga, panel surya (*solar cell*), limbah panas dari pabrik semen dan gas buang knalpot kendaraan bermotor. Penelitian ini difokuskan pada karakteristik hasil tegangan dan kuat arus listrik yang diproduksi oleh modul TEG terhadap variasi temperatur cerobong HRSG PLTGU Keramasan antara 75°C, 85°C dan 100°C serta mengetahui tingkat efektifitas penempatan titik lokasi pemasangan modul TEG di permukaan cerobong HRSG. Kemudian, pengaruh temperatur udara luar (udara natural) sebagai media pendingin *heatsink* terhadap nilai perbedaan temperatur (ΔT) dan daya yang dihasilkan oleh modul TEG.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi dari beberapa permasalahan agar terarah dan tidak menyimpang dari apa yang diteliti. Adapun batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan data parameter operasi PLTGU Keramasan saat unit dalam kondisi normal beroperasi.
2. Penelitian difokuskan pada energi gas buang dari *stack* HRSG yang terbang ke atmosfer
3. Parameter termodinamika ditetapkan untuk menganalisis pengaruh temperatur gas buang *stack* HRSG.
4. Pengukuran dan perhitungan hanya pada daya, tegangan dan arus yang dihasilkan dari modul TEG.
5. Skala dimensi peralatan uji diperkecil dari ukuran aktualnya dengan metode dimensional analisis.

1.4 Tujuan

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, antara lain:

1. Mengoptimalkan energi panas gas buang dari *stack* HRSG PLTGU Keramasan menjadi energi listrik dengan menggunakan modul TEG.
2. Menganalisis pengaruh temperatur udara luar terhadap daya yang dihasilkan dari modul TEG.
3. Menganalisis tegangan dan kuat arus listrik yang dihasilkan modul TEG terhadap variasi temperatur cerobong 75°C, 85°C dan 100°C.
4. Menganalisis kinerja yang dihasilkan modul TEG terhadap variasi penempatan lokasi pemasangan modul TEG di permukaan cerobong HRSG.

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah untuk mengembangkan ilmu pengetahuan mengenai pemanfaatan modul TEG yang dapat digunakan untuk mengubah energi panas gas buang dari *stack* atau cerobong HRSG PLTGU menjadi energi listrik. Selain itu, pemanfaatan modul TEG dapat mengoptimalkan energi panas yang terbang begitu saja ke atmosfer tanpa dimanfaatkan atau dikelola menjadi sebuah sistem yang lebih berguna menjadi energi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhidayat, Bakhri Syaiful, D. S. (2021). *View of Rancang Bangun Generator Thermal Dengan Pemanfaatan Limbah Panas Knalpot Motor Replika.pdf*.
- Atmojo, P. S., Sachro, S. S., & Budienny, H. (2014). Penggunaan Analisis Dimensi untuk Mencari Korelasi Antar Variabel pada Uji Model Hidrolik. *Jurnal Teknik Sipil*, 21(3), 221. <https://doi.org/10.5614/jts.2014.21.3.5>
- Balkrishan, Chand, S., Soni, A., Gupta, A., & Patel, N. K. (2016). A Review on Thermoelectric Cooler. *IJIRST –International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2(11), 674–679.
- Bensaada, M. (2019). *Experimental Investigation of Thermal Effect on the Characteristic Behavior of Thermoelectric Generators: Applicable as a Power Source for Low Earth Orbit Satellites*. 28(4), 569–577. <https://doi.org/10.1134/S181023281904012X>
- Burlian, F., & Ghafara, A. (2013). Perancangan Ulang Heat Recovery Steam Generator Dengan Sistem Dual Pressure Melalui Pemanfaatan Gas Buang Sebuah Turbin Gas Berdaya 160 Mw. *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, 13(1), 21–33.
- Burlian, F., & Khoirullah, M. I. (2014). Pengaruh Variasi Ketebalan Isolator Terhadap Laju Kalor dan Penurunan Temperatur pada Permukaan Dinding Tungku Biomassa. *Seminar Nasional Mesin Dan Industri, November*, 208–214.
- Cahyani, I. E., & Wibowo, A. (2011). Penggunaan Teorema Pi Buckingham Pada Penyelidikan Lost Head Untuk Pipa Mendatar Dengan Aliran Tak Kompresibel Turbulen. *Jurnal Oseatek*, 3(2), 1–5.
- Ding, L. C., Meyerheinrich, N., Tan, L., Rahaoui, K., Jain, R., & Akbarzadeh, A. (2017). Thermoelectric Power Generation from Waste Heat of Natural Gas Water Heater. *Energy Procedia*, 110(December 2016), 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.101>
- Ginanjari, Hiendro, A., & Suryadi, D. (2019). Perancangan dan Pengujian Sistem Pembangkit Listrik Berbasis Termoelektrik Dengan Menggunakan Kompor Surya Sebagai Media Pemusat Panas. *Jurnal Teknik Elektro Universitas*

Tanjungpura, 2(1).

- Gomaa, M. R., Murtadha, T. K., Abu-jrai, A., Rezk, H., Altarawneh, M. A., & Marashli, A. (2022). Experimental Investigation on Waste Heat Recovery from a Cement Factory to Enhance Thermoelectric Generation. *Sustainability*, 14(16), 10146. <https://doi.org/10.3390/su141610146>
- Hakim, L. (2019). Analisa Teoritis Laju Aliran Kalor Pada Ketel Uap Pipa Api Mini Industri Tahu Di Tinjau Dari Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh. *Jurnal Surya Teknika*, 1(04), 50–55. <https://doi.org/10.37859/jst.v1i04.1188>
- He, W., Zhang, G., Zhang, X., Ji, J., Li, G., & Zhao, X. (2015). Recent development and application of thermoelectric generator and cooler. *Applied Energy*, 143, 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.12.075>
- Ibrahim, K. M. (2020). *Pembangkit Tenaga Surya Menggunakan Rancangan Panel Surya Hybrid dengan Thermoelectric Generator*. 2–7. <http://repository.untag-sby.ac.id/id/eprint/5333>
- Jouhara, H., Zabnie, A., Ahmad, L., Norman, L., Axcell, B., Wrobel, L., & Dai, S. (2021). *International Journal of Thermo fluids Thermoelectric generator (TEG) technologies and applications*. 9.
- Khalid, M., Syukri, M., & Gapy, M. (2016). Pemanfaatan Energi Panas Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Berskala Kecil Dengan Menggunakan Termoelektrik. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 1(3), 57–62.
- Kunt, M. A., & Gunes, H. (2020). Comparing the recovery performance of different thermoelectric generator modules in an exhaust system of a diesel engine both experimentally and theoretically. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 234(1), 183–190. <https://doi.org/10.1177/0954407019837786>
- Lashin, A., Turkestani, M. Al, & Sabry, M. (2020). Performance of a thermoelectric generator partially illuminated with highly concentrated light. *Energies*, 13(14), 1–12. <https://doi.org/10.3390/en13143627>
- Liu, J., Shin, K.-Y., & Kim, S. C. (2022). Comparison and Parametric Analysis of Thermoelectric Generator System for Industrial Waste Heat Recovery with Three Types of Heat Sinks: Numerical Study. *Energies*, 15(17), 6320.

- <https://doi.org/10.3390/en15176320>
- Lv Song, Qian, Z., Hu, D., Li, X., & He, W. (2020). *A Comprehensive Review of Strategies and Approaches for Enhancing the Performance of*.
- Mahoney, J. F., & Yeralan, S. (2019). Dimensional analysis. *Procedia Manufacturing*, 38(2019), 694–701. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.094>
- Miragliotta, G. (2011). The power of dimensional analysis in production systems design. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.08.009>
- Mirmanto, M., Tira, H. S., & Pabriansyah, A. (2020). Effect of motorcycle exhaust pipe temperature and electrical circuit on harvested dc power from thermoelectric generators. *Dinamika Teknik Mesin*, 10(1), 41. <https://doi.org/10.29303/dtm.v10i1.319>
- Pras Ley Bustomy, M. W. (2020). Generator Termoelektrik Dengan Memanfaatkan Panas. *Jurnal Teknik Elektro*, 09(02), 451–457.
- Priyoatmojo, S., & Margana. (2016). Analisa Efisiensi Hrsg Unit 1 Di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon. *Jurnal Teknik Energi*, 12(2), 43–49. <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi/article/view/287>
- Quan, R., Li, T., Yue, Y., Chang, Y., & Tan, B. (2020). Experimental study on a thermoelectric generator for industrialwaste heat recovery based on a hexagonal heat exchanger. *Energies*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/en13123137>
- Rafika, H., Mainil, R. I., & Aziz, A. (2017). Kaji Eksperimental Pembangkit Listrik Berbasis Thermoelectric Generator (Teg) Dengan Pendinginan Menggunakan Udara. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 15(1), 7–11. <https://ejournal.unri.ac.id/index.php/JST/article/view/3990/3874>
- Rahardja, I. B., & Paryatmo, W. (2017). Analisa Dan Optimasi Sistem Pltgu Biomassa Gas Metan Dengan Daya 20 Mw. *Jurnal Teknologi*, 9(2), 65. <https://doi.org/10.24853/jurtek.9.2.65-76>
- Ryanuargo, Anwar, S., & Sari, S. P. (2014). Generator Mini dengan Prinsip Termoelektrik dari Uap Panas Kondensor pada Sistem Pendingin. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 180–185. <https://doi.org/10.17529/jre.v10i4.1108>

- SAM, H. (2021). Design and Modeling of a Carbon Capturing Membrane for Integrated Gasification Combined Cycle Power Plant. *Austin Chemical Engineering*, 8(1), 0–11. <https://doi.org/10.26420/austinchemeng.2021.1084>
- Setiawan, A., ZAKARIA, N. A., MUSAFA, A., & SUJONO, S. (2021). Perancangan Pembangkit Listrik Termoelektrik pada Proses Refrigerasi Air Conditioner dengan Metode Fuzzy Logic. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v9i1.1>
- Soebiyakto, G., Finahari, N., & Rubiono, G. (2021). *Analisis Dimensional Pemodelan Keseimbangan Berjalan di Atas Balok Titian*. 1–5.
- Tiasmoro, I. B., & Noor, D. Z. (2015). Analisis Termodinamika Performa Hrsg Pt . Indonesia Power Ubp Perak-Grati Sebelum Dan Sesudah Cleaning Dengan Variasi Beban. *Traksi*, 7, 64–73.
- Tohidi, F., Ghazanfari Holagh, S., & Chitsaz, A. (2022). Thermoelectric Generators: A comprehensive review of characteristics and applications. *Applied Thermal Engineering*, 201(PA), 117793. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117793>
- Zheng, X. F., Liu, C. X., Yan, Y. Y., & Wang, Q. (2014). A review of thermoelectrics research - Recent developments and potentials for sustainable and renewable energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 32(April 2014), 486–503. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.053>