

**STUDI INTEGRASI TEKNOLOGI WASTE HEAT RECOVERY  
DAN ENERGI TERBARUKAN DALAM PROSES PELEBURAN  
LOGAM ALMUNIAM UNTUK PENGURANGAN KONSUMSI  
ENERGI DAN PENURUNAN EMISI**

**TESIS**

**Karya tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari  
Universitas Darma Persada**

**Oleh  
Rifki Saiful  
NIM : 2023910001**

**(Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan)**



**SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS DARMA PERSADA  
JAKARTA  
2025**

## PERNYATAAN KEASLIAN

"Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan dan keyakinan saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagian bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Darma Persada atau Perguruan tinggi lainnya"

Jakarta, Mei 2025



Rifki Saiful

NIM : 2023-91-0001

## ABSTRAK

**RIFKI SAIFUL (2023910001).** Studi Integrasi Teknologi Waste Heat Recovery dan Energi Terbarukan dalam Proses Peleburan Logam Aluminium untuk Pengurangan Konsumsi Energi dan Penurunan Emisi Dibawah Bimbingan Dr. Andy Tirta S.T., M.Sc ; Dr. Ir. M Syukri Nur M. Si ; Ir. Erkata Yandri M.Sc. rar.net

Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan teknologi *waste heat recovery* (WHR) untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan dalam industri pengecoran logam dan otomotif dengan mengkombinasikan sumber energi yang fosil dan energi terbarukan. Industri ini memiliki konsumsi energi tinggi dan menghasilkan limbah panas dalam jumlah besar, terutama pada proses peleburan dan pengecoran. Jika tidak dimanfaatkan, panas limbah ini dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan inefisiensi ekonomi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem WHR yang dapat mengoptimalkan pemanfaatan panas limbah untuk pemanasan awal bahan baku. Selain itu, integrasi WHR dengan energi terbarukan, seperti panel surya, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil serta menurunkan emisi karbon. Dengan pendekatan ini, penelitian ini memberikan solusi berkelanjutan yang tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga memperkuat daya saing industri melalui pengurangan konsumsi energi dan emisi.

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dan simulasi untuk mengevaluasi efektivitas sistem WHR dalam industri pengecoran logam dan otomotif. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan panas limbah dari proses peleburan untuk meningkatkan suhu bahan baku dari 50°C menjadi 350°C sebelum dilebur, dengan tujuan mengurangi kebutuhan energi tambahan. Data operasional dikumpulkan melalui pengukuran suhu, konsumsi energi, dan emisi selama proses produksi. Selain itu, model simulasi termal digunakan untuk memprediksi efisiensi energi yang dapat dicapai dengan integrasi WHR dan energi terbarukan. Evaluasi ekonomi dilakukan dengan membandingkan konsumsi energi sebelum dan sesudah implementasi sistem WHR. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan bagi industri dalam mengoptimalkan pemanfaatan panas limbah, sehingga dapat meningkatkan efisiensi energi, menurunkan emisi, dan mendukung keberlanjutan industri secara keseluruhan.

**Kata kunci:** *Waste Heat Recovery (WHR), Efisiensi Energi, Industri Pengecoran Logam, Energi Terbarukan, Pengurangan Emisi.*

## ABSTRACT

**Rifki Saiful (2023910001).** Study on the Integration of Waste Heat Recovery and Renewable Energy Technologies in Aluminum Melting Processes for Energy Consumption Reduction and Emission Mitigation. Under the Guidance of Dr. Andy Tirta S.T., M.Sc ; Dr. Ir. M Syukri Nur M. Si ; Ir. Erkata Yandri M.Sc. rar.net.

This research focuses on the utilization of waste heat recovery (WHR) technology to improve energy efficiency and reduce environmental impacts in the metal casting and automotive industries by combining fossil and renewable energy sources. These industries have high energy consumption and generate substantial waste heat, particularly during melting and casting processes. If not utilized, this waste heat can lead to environmental degradation and economic inefficiencies. Therefore, this research aims to develop a WHR system that optimizes waste heat utilization for preheating raw materials. Additionally, integrating WHR with renewable energy sources, such as solar panels, is expected to reduce reliance on fossil fuels and lower carbon emissions. This approach provides a sustainable solution that not only improves energy efficiency but also enhances industrial competitiveness by reducing energy consumption and emissions.

This study employs both experimental and simulation approaches to evaluate the effectiveness of the WHR system in the metal casting and automotive industries. The developed system utilizes waste heat from the melting process to increase the raw material temperature from 50°C to 350°C before melting, aiming to reduce additional energy requirements. Operational data, including temperature measurements, energy consumption, and emissions, are collected during the production process. Furthermore, a thermal simulation model is used to predict the energy efficiency achievable through WHR and renewable energy integration. Economic evaluation is conducted by comparing energy consumption before and after WHR system implementation. The findings of this study are expected to provide guidance for industries in optimizing waste heat utilization, thereby improving energy efficiency, reducing emissions, and supporting overall industrial sustainability.

**Keywords:** *Waste Heat Recovery (WHR), Energy Efficiency, Metal Casting Industry, Renewable Energy, Emission Reduction.*

## LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**Judul Tesis** : Studi Integrasi Teknologi Waste Heat Recovery dan Energi Terbarukan dalam Proses Peleburan Logam Aluminium untuk Pengurangan Konsumsi Energi dan Penurunan Emisi  
**Nama** : Rifki Saiful  
**NIM** : 2023910001

### Telah disetujui oleh komisi pembimbing dan penguji

Bapak Dr. Andy Tirta S.T., M.Sc .  
(Pembimbing Utama/Penguji)

Bapak Dr. Ir. M Syukri Nur M. Si  
(Anggota/Penguji)

Bapak Ir. Erkata Yandri M.Sc. rar.net  
(Anggota/Penguji)

Bapak Dr. Eng Aep Saepul Uyun S.Tp. M. Eng  
(Penguji)

Mengetahui

Ketua Program Studi

(Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp, M.Eng)

Direktur Pascasarjana

(Dr.Ir. As Natio Lasman)

Tanggal Ujian :  
Tanggal Yudisium :

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga tesis dengan judul “Studi Integrasi Teknologi Waste Heat Recovery dan Energi Terbarukan dalam Proses Peleburan Logam Aluminium untuk Pengurangan Konsumsi Energi dan Penurunan Emisi” ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Teknik Energi Terbarukan pada program studi Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan Universitas Darma Persada (UNSADA).

Hasil dari riset ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi industri peleburan logam khususnya aluminium untuk bisa meningkatkan efisiensi energi dan penurunan emisi melalui sistem pemanfaatan panas buang yang ada. Teknologi Konversi Energi merupakan salah satu mata kuliah yang diajarkan di Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan Universitas Darma Persada (UNSADA). Dalam berbagai penelitiannya, Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan (UNSADA) belum ada yang secara spesifik membahas tentang pemanfaatan panas buang secara langsung untuk menaikkan suhu awal *raw material ingot*. Untuk pemanfaatan panas terbuang lebih banyak dikonversikan menjadi energi listrik yang merupakan teknologi pembangkit listrik yang umum yang menggunakan *Teknologi Organic Rankine Cycle*. Oleh karena itu, penulis memutuskan untuk mengambil penelitian ini sebagai upaya untuk mengisi kekosongan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem emulihan panas limbah, mengevaluasi potensi penghematan energi, serta memberikan solusi untuk meningkatkan keberlanjutan di sektor ini. Dengan mengembangkan desain sistem hibrida yang menggabungkan energi fosil dan energi terbarukan, seperti panel surya (*PV*), industri ini dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil, sekaligus meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. Penelitian tentang

sistem *hybrid* di atas merupakan upaya penulis untuk mempraktikkan hasil belajar dari materi kuliah Teknologi Konversi Energi yang didapatkan selama masa perkuliahan. Dengan potensi energi surya yang cukup besar di Indonesia, diharapkan pemanfaatan energi surya dapat dimaksimalkan sebagai energi yang ramah lingkungan untuk menggantikan atau mengurangi penggunaan energi fosil yang cadangannya terus menurun.

Penelitian ini tentunya masih memerlukan perbaikan, namun dapat dijadikan referensi bagi siapa saja, khususnya mahasiswa/i Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan (UNSADA) yang tertarik melakukan penelitian tentang pemanfaatan panas buangan di kombinasikan dengan energi listrik tenaga surya dalam industri. Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu, maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki banyak kekurangan dan memerlukan pengembangan lebih lanjut agar benar-benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta menjadi masukan bagi penulis dalam penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa mendatang. Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Andy Tirta, M.Sc, selaku pembimbing utama yang telah memberikan arahan, saran, dan dukungan yang sangat berarti selama proses penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp, M.Eng, selaku Kepala Jurusan Pascasarjana Teknik Energi Terbarukan, Universitas Darma Persada. yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan studi ini.
3. Istri dan anak keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan moril serta materiil yang tiada henti.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan tangan terbuka menerima segala bentuk saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan karya ini. Akhir kata, penulis berharap tesis ini

memberikan manfaat bagi kita semua, terutama untuk pengembangan ilmu pengetahuan yang dapat mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia.



## RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 23 Juni 1973 dan menghabiskan masa kecil di Jakarta sampai saat ini. Lulus dari Sekolah Menengah Atas (SMA), penulis melanjutkan studi di Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta dengan program studi Teknik Mesin.

Saat ini penulis merupakan seorang *Plant Manager Body Group* di *PT Yamaha Indonesia Motor Manufacturing* Jakarta dengan pengalaman kerja selama dua puluh delapan tahun. Dalam perjalanan karirnya, penulis aktif berkecimpung dalam dunia *manufacturing* khususnya untuk *PT Yamaha Indonesia Group* baik skala nasional maupun internasional.

Pada tahun 2023, penulis menempuh studi magisternya di Universitas Darma Persada dengan program studi Teknik Energi Terbarukan. Selama menjadi mahasiswa pascasarjana di Unsada, penulis aktif terlibat dalam pembuatan buku serta publikasi ilmiah. Adapun beberapa karya ilmiah yang penulis hasilkan selama menjadi mahasiswa pascasarjana adalah sebagai berikut:

### **Sebagai Penulis Utama (Jurnal)**

- Optimizing Motorcycle Manufacturing Sustainability through Integrating Waste Heat Recovery and Metal Scrap Recycling: A Process Engineering Approach. DOI: 10.60084/ljes.v2i2.225
- Design and Concept Development for Waste Heat Recovery in Metal Casting Industry: Exploring Energy Saving Potentials
- Bioenergy as a Key Driver of Energy Transition: A Case Study of Emission Reduction and Energy Security dipublikasikan di jurnal JMEMME Edisi Desember 2025 (Vol. 9, No. 2)

### **Sebagai Penulis Pendamping (Jurnal)**

- Hybrid Energy Solutions for Sustainable Offshore Oil and Gas Operations: Leveraging Thermoelectric, Solar, and Wind Potential. DOI: 10.60084/ljes.v2i2.218

- Potential for Electrical Energy Savings in AC Systems by Utilizing Exhaust Heat from Outdoor Units. DOI: 10.60084/hjas.v2i2.223
- Optimizing Compressed Air Operations for Electrical Energy Savings: A Case Study in Pharmaceutical Packaging Manufacturing . DOI: 10.61975/gjsetv2i2.58
- Hybrid Energy Systems for Offshore Oil & Gas: Integrating Thermoelectric and Solar Technologies (SINERGY)
- Economic Study of Hybrid Systems Combining TEG and PV for Offshore Oil and Gas Operations
- Evaluating effect of Biodiesel Blend On Engine Durability And Maintenance Strategies In Heavy Equipment Application (SSRN)
- An Energy Efficiency Strategy in Manufacturing Industry Through Implementation of Automation Technology. DOI: 10.31289/jmemme.v9i1.13998

#### **Buku**

- System Management Energy: Inovasi Teknologi untuk Efisiensi Energi Terbaru. (ISBN : 978-623-297-669-6) ITB Press.
- Integrasi Teknologi dan Manajement Untuk Efisiensi Energi Baru Terbaru (ISBN: 978-623-297-670-2) ITB Press.

Demikian riwayat hidup singkat penulis, yang memuat perjalanan pendidikan dan profesional serta beberapa karya tulis yang sudah dipublikasikan.

*Dipersembahkan untuk .....*

*Husnawati (Istri)  
Shanaya Rifiana Dewi (Anak)  
Vanessa Armeta (Anak)*

*Terima kasih sudah menjaga semangat untuk tetap belajar di usia yang tidak muda lagi*



## UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur dan bangga, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusinya dalam penyusunan tesis ini.

Pertama, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan kekuatan yang telah diberikan kepada saya sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Selanjutnya, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada pembimbing tesis saya, Dr. Andy Tirta S.T., M.Sc ; Dr. Ir. M Syukri Nur M. Si ; Ir. Erkata Yandri M.Sc. atas bimbingan, nasihat, dan motivasinya yang tiada henti selama proses penelitian dan penulisan tesis ini. Tanpa bimbingan beliau, tesis ini tidak akan bisa terselesaikan dengan baik. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada para dosen di Pascasarjana Teknik Energi Terbarukan Universitas Darma Persada yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa studi saya.

Tidak lupa, saya mengucapkan terima kasih kepada keluarga tercinta, terutama almarhum orang tua dan istri serta anak saya, yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan kasih sayang yang tak terhingga. Dukungan mereka adalah sumber kekuatan terbesar bagi saya.

Terima kasih juga kepada teman-teman sejawat dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penyusunan tesis ini. Akhir kata, saya berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan dapat menjadi referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya. Semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu saya.

# DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN TESIS .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>viii</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I      PENDAHULUAN .....</b>	<b>19</b>
1.1      Latar Belakang .....	19
1.2      Perumusan Masalah .....	20
1.3      Tujuan Penelitian.....	21
1.4      Ruang Lingkup Penelitian.....	22
1.5      Kerangka Penulisan Tesis .....	22
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>24</b>

2.1	Panas Buangan Dalam Proses Industri dan Teknologi pemanfaatannya .....	25
2.2	Integrasi Energi Terbarukan dan Panas Terbuang .....	27
2.3	Efisiensi Energi dan Pengurangan Emisi .....	29
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>30</b>
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	30
3.2	Peralatan dan Bahan .....	30
3.3	Alur dan Skema Penelitian.....	32
3.4	Identifikasi Sumber Energi Surya .....	33
3.5	Perancangan Sistem Pemanfaatan Panas terbuang dengan sumber <i>Energi Hybrid</i> menggunakan Solar Panel .....	35
3.5.1	Heat Storage .....	36
3.5.2	Metode Perhitungan.....	37
3.5.3	Analisis Ekonomi .....	38
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>39</b>
4.1	Hasil.....	39
4.2	Desain Pemanfaatan Panas Untuk Penghematan Energi .....	39
4.3	Perancangan Sistem Energi <i>Hybrid</i> .....	45
4.4	Performance Ratio Dan Solar Fraction .....	46
4.5	Cost Analysis.....	52
4.5.1	CAPEX (Capital Expenditure) .....	53
4.5.2	OPEX (Operational Expenditure).....	54
4.5.3	ROI ( Return Of Investment) .....	55
4.6	Dampak Lingkungan.....	56
4.7	Pembahasan.....	58
4.8	Analisis Sistem dan Teknologi.....	59
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>60</b>
5.1	Kesimpulan .....	60
5.2	Saran .....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>63</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Proses Die Casting .....	20
Gambar 1. 2 Sumber Energi Hybrid.....	21
Gambar 2. 1 Alur Proses Dari Raw Material.....	26
Gambar 2. 2 Skema Pemulihan Panas ORC.....	27
Gambar 2. 3 Konsep Rangkaian Solar Panel.....	28
Gambar 3. 1 Alur Skema Penelitian.....	32
Gambar 3. 2 Solar Panel.....	35
Gambar 3. 3 Grafik Suhu Melting Furnace .....	36
Gambar 4. 1 Desain Baru Mesin Melting.....	40
Gambar 4. 2 Perbandingan Konsumsi Energi Dalam kWh/Pcs.....	43
Gambar 4. 3 Konsumsi Energi (kWh).....	44
Gambar 4. 4 System Hybrid Untuk Sumber Energi.....	46
Gambar 4. 6 Hasil evaluasi potensi sinar matahari di lokasi.....	47
Gambar 4. 7 Produksi Energi Normal dalam Satu Tahun .....	48
Gambar 4. 8 Performance Ratio pada Hybrid System .....	50
Gambar 4. 9 Data pada Loss System.....	50
Gambar 4. 10 Perbandingan Sebelum Dan Sesudah Penerapan Hybrid .....	51
Gambar 4. 11 Hasil Emisi Sebelum Aplikasi WHR .....	57
Gambar 4. 12 Simulasi Emisi Setelah Aplikasi WHR .....	58

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Identifikasi Sumber Energi.....	26
Tabel 2. 2 Implementasi Penggunaan Panas Terbuang .....	29
Tabel 4. 1 Spesifikasi Alat Pemanfaatan Panas .....	41
Tabel 4. 2 Konsumsi Energi Sebelum Penerapan WHR .....	42
Tabel 4. 3 Konsumsi Energi Setelah Penerapan Konsumsi WHR.....	42
Tabel 4. 4 Hasil Efisiensi Gas LNG.....	45
Tabel 4. 5 Penjelasan dari grafik produksi energi.....	49
Tabel 4. 6 Hasil Efisiensi Energi .....	51
Tabel 4. 7 Hasil Simulasi Hybrid.....	52
Tabel 4. 8 Perincian Biaya Untuk Tahap Pertama Yaitu Pemanfaatan WHR.....	53
Tabel 4. 9 Biaya Pemasangan Solar Panel .....	54
Tabel 4. 10 Operational Expenditure .....	54
Tabel 4. 11 Return Of Investment.....	56
Tabel 4. 12 Hasil Simulasi Pemakaian WHR.....	56
Tabel 5. 1 Hasil Efisiensi Untuk Energi Gas .....	61
Tabel 5. 2 Efisiensi Untuk Pemakaian Listrik .....	61
Tabel 5. 3 Hasil Penurunan Emisi.....	62

## DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Arti	Pemakaian pertama kali pada halaman
WHR	Waste Heat Recovery	Abstrak
LNG	Liquid Natural Gas	18
PV	Photovoltaic	19
kWh/Pcs	Kilowatthour per pieces	21
ECMS	Energi Management Control System	22
kW	KiloWatt	24
kW/Month	KiloWatt per Month	24
PLN	Perusahaan Listrik Negara	26
DC	Direct Current	26
AC	Alternating Current	26
IDR	Indonesian Rupiah	27
ORC	Organic Rankine Cycle	27
PR	Performance Ratio	31
SF	Solar Fraction	31
MMBTu	Millions of British Thermal Units	33
GJ	Giga Joule	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data PVSys .....	66
Lampiran 2. Data Helioscope .....	73
Lampiran 3. Gambar struktur WHR.....	75
Lampiran 4. Gambar Struktur Solar Panel.....	76

