



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



PENGARUH PEMASANGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE* TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MESIN *MELTING FURNACE* DENGAN KAPASITAS 1500 KG/JAM

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

**Nova Dwi Saputro
NIM. 2402415015**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2025**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



PENGARUH PEMASANGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE* TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MESIN *MELTING FURNACE* DENGAN KAPASITAS 1500 KG/JAM

SKRIPSI

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

Nova Dwi Saputro

NIM. 2402415015

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MANUFAKTUR
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
2025**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PERSETUJUAN
LAPORAN SKRIPSI**

PENGARUH PEMASANGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE* TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MESIN *MELTING FURNACE* DENGAN KAPASITAS 1500 KG/JAM

Oleh :

Nova Dwi Saputro

NIM. 2402415015

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Laporan Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Noor Hidayati , S.T., M.S.
NIP. 199008042019032019

Amalina Shomami , S.Pd., M.Hum.
NIP. 7302018050219911116

Kepala Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T
NIP. 199403192022031006



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN SKRIPSI**

PENGARUH PEMASANGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE* TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MESIN *MELTING FURNACE* DENGAN KAPASITAS 1500 KG/JAM

Oleh :

Nova Dwi Saputro

NIM. 2402415015

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Sarjana Terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 21 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Amalina Shomami, S.Pd., M.Hum.	Ketua		28 Juli 2025
2.	Azam Milah Muhammad, S.Tr.T., M.T	Anggota		28 Juli 2025
3.	Ratna Khoirunnisa, S.S., M.Hum.	Anggota		28 Juli 2025

Depok, 31 Juli 2025

Disahkan oleh :

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Ir. Muslih, S.T., M.T., IWE.

NIP. 197707142008121005



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Nova Dwi Saputro

NIM : 2402415015

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Manufaktur

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka. Dengan demikian saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur plagiasi dan apabila dokumen Skripsi ini dikemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan sengaja mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Depok, 28 Juli 2025



Nova Dwi Saputro

NIM. 2402415015



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PENGARUH PEMASANGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE* TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MESIN *MELTING FURNACE* DENGAN KAPASITAS 1500 KG/JAM

Nova Dwi Saputro¹⁾, Noor Hidayati²⁾, Amalina Shomami³⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425
E-mail: nova.dwi.saputro.tm24@stu.pnj.ac.id

ABSTRAK

Tingginya konsumsi bahan bakar pada proses peleburan aluminium di industri manufaktur berdampak langsung pada meningkatnya biaya operasional dan efisiensi energi yang rendah. Salah satu solusi potensial untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan memanfaatkan kembali panas buang dari mesin *melting furnace* melalui pemasangan *heat exchanger*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemasangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* terhadap efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar pada mesin *melting furnace* berkapasitas 1500 kg/jam. Metode yang digunakan melibatkan pengukuran konsumsi LNG menggunakan *gas flow meter* sebelum dan sesudah pemasangan, dengan material peleburan berupa aluminium ADC12. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi termal meningkat sebesar 14,89% dan efisiensi penggunaan LNG meningkat sebesar 20,79%, dengan penghematan konsumsi bahan bakar sebesar 11,2 Nm³/jam. Secara ekonomi, pemasangan *heat exchanger* menghasilkan pengembalian investasi dalam 3,64 tahun dan NPV positif sebesar Rp 2.090.938.820. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemasangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi energi, menurunkan konsumsi bahan bakar, serta memberikan keuntungan ekonomi yang signifikan bagi industri peleburan aluminium.

Kata Kunci: *Heat exchanger*, *melting furnace*, aluminium, LNG (*Liquefied Natural Gas*), efisiensi termal, analisis ekonomi

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

THE EFFECT OF INSTALLING A SHELL AND TUBE TYPE HEAT EXCHANGER ON FUEL CONSUMPTION IN A MELTING FURNACE MACHINE WITH A CAPACITY OF 1500 KG/H

Nova Dwi Saputro¹⁾, Noor Hidayati²⁾, Amalina Shomami³⁾

¹⁾Manufacturing Engineering Technology Study Program, Department of Mechanical Engineering, Jakarta State Polytechnic, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, UI Campus, Depok, 16425
E-mail: nova.dwi.saputro.tm24@stu.pnj.ac.id

ABSTRACT

The high fuel consumption in the aluminum smelting process in the manufacturing industry has a direct impact on increasing operational costs and low energy efficiency. One potential solution to overcome this problem is to reuse waste heat from the melting furnace machine by installing a heat exchanger. This study aims to analyze the effect of installing a shell and tube type heat exchanger on thermal efficiency and fuel consumption in a melting furnace machine with a capacity of 1500 kg/hour. The method used involves measuring LNG consumption using a gas flow meter before and after installation, with the melting material being ADC12 aluminum. The results show that thermal efficiency increased by 14.89% and LNG usage efficiency increased by 20.79%, with fuel consumption savings of 11.2 Nm³/hour. Economically, the installation of a heat exchanger resulted in a return on investment in 3.64 years and a positive NPV of Rp 2,090,938,820. Based on these results, it can be concluded that the installation of shell and tube type heat exchangers has proven effective in increasing energy efficiency, reducing fuel consumption, and providing significant economic benefits for the aluminum smelting industry.

Keywords: Heat exchanger, melting furnace, aluminum, LNG (Liquefied Natural Gas), thermal efficiency, economic analysis

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga Skripsi yang berjudul **“PENGARUH PEMASANGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *SHELL AND TUBE* TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MESIN *MELTING FURNACE* DENGAN KAPASITAS 1500 KG/JAM”** ini dapat diselesaikan. Selama proses penulisan laporan skripsi ini terdapat berbagai kendala dan hambatan, namun berkat bimbingan dan arahan dari semua pihak, setiap kendala tersebut diselesaikan. Oleh karena itu dengan hormat diucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang sudah memberikan nikmat, rahmat dan keberkahan dalam mengerjakan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
3. Bapak Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta dan dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Noor Hidayati, S.T., M.S. selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Amalina Shomami, S.Pd., M.Hum. selaku Dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Teman-teman kelas RPL Teknologi Rekayasa Manufaktur yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyusunan skripsi.
7. Rekan kerja yang telah memberikan dukungan, semangat, dan kerja sama yang luar biasa selama proses penulisan skripsi ini.
8. Kedua orang tua serta keluarga yang memberikan doa dan dukungan kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Penulis sangat menyadari betapa banyak kesalahan dan kekurangan yang mungkin ada pada laporan ini. Oleh karena itu, jika pembaca memiliki pesan dan saran mohon disampaikan kepada penulis sebagai rujukan bagi penulis dimasa yang akan datang.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada pembaca yang telah meluangkan waktunya untuk membaca laporan ini dan berharap laporan yang disusun ini dapat bermanfaat bagi pembaca juga bagi penulis dan bagi ilmu pengetahuan.

Depok, Juli 2025

Nova Dwi Saputro

NIM. 2402415015





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Pertanyaan Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Manfaat Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II.....	5
2.1 Mesin <i>Melting Furnace</i>	5
2.2 <i>Heat Exchanger</i>	5
2.3 Perpindahan Panas.....	9
2.3.1 Perpindahan Panas Konduksi.....	9
2.3.2 Perpindahan Panas Konveksi	10
2.3.3 Perpindahan Panas Radiasi	11
2.4 <i>Quality Function Deployment (QFD)</i>	11



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.4.1	Langkah-Langkah Penerapan QFD.....	12
2.4.2	<i>House of Quality</i> (HoQ).....	12
2.4.3	Penerapan QFD pada Perancangan <i>Heat Exchanger</i>	13
2.5	Efisiensi Sistem	13
2.6	Metode <i>Log Mean Temperature Difference</i> (LMTD).....	14
2.7	Analisis Kelayakan Ekonomi	14
2.7.1	Proyeksi Aliran Kas (<i>Cash Flow</i>)	15
2.7.2	<i>Payback Period</i>	15
2.7.3	<i>Net Present Value</i> (NPV).....	15
2.7.4	<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	16
2.8	Kajian Literatur	16
BAB III		22
3.1	Jenis Penelitian	22
3.2	Objek dan Variabel Penelitian	24
3.3	Metode Perancangan	25
3.3.1	Identifikasi Kebutuhan Konsumen.....	25
3.3.2	Pembuatan <i>House of Quality</i>	26
3.3.3	Pembuatan Konsep Desain.....	30
3.4	Metode Pengambilan Sampel	30
3.4.1	Persiapan Pengambilan Data.....	31
3.3.2	Prosedur Pengambilan Data	32
3.5	Jenis dan Sumber Data Penelitian	32
3.6	Metode Pengumpulan Data	33
3.6.1	Pengambilan Data Berat Bahan Lebur sebelum Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	33
3.6.2	Pengambilan Data Konsumsi Bahan Bakar sebelum Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	33



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.6.3	Pengambilan Data Berat Bahan Lebur setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	34
3.6.4	Pengambilan Data Konsumsi Bahan Bakar setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	34
3.6.5	Pengambilan Data Temperatur Udara setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	34
3.6.6	Pengukuran Koefisiensi Konsumsi Bahan Bakar sebelum Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	34
3.6.7	Pengukuran Koefisiensi Konsumsi Bahan Bakar setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	35
3.6.8	Pengukuran Efisiensi Penambahan <i>Heat Exchanger</i>	35
3.7	Metode Analisis Data	36
BAB IV		37
4.1	Perancangan dengan <i>Quality Function Deployment (QFD)</i>	37
4.1.1	Hasil Matriks <i>House of Quality</i>	37
4.1.2	Hasil Perancangan Alat	38
4.2	Perhitungan dan Analisis Desain <i>Heat Exchanger</i>	39
4.2.1	Perhitungan Beban Panas (<i>Heat Duty</i>).....	41
4.2.2	Penentuan Kondisi Fluida dan Konfigurasi Aliran	41
4.2.3	Asumsi Nilai Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan (U).....	41
4.2.4	Perhitungan LMTD (<i>Log Mean Temperature Difference</i>)	42
4.2.5	Luas Permukaan Perpindahan Panas.....	42
4.2.6	Verifikasi Luas Permukaan Tube Aktual.....	42
4.2.7	Perhitungan Efisiensi Termal <i>Heat Exchanger</i>	43
4.2.8	Estimasi Penghematan Gas LNG	43
4.2.9	Verifikasi Desain dan Kelayakan	43
4.2.10	Skema <i>Heat Exchanger</i>	44
4.3	Data Sebelum Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	44



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3.1	Data Berat Bahan Lebur Sebelum Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	44
4.3.2	Data Konsumsi Bahan Bakar Sebelum Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	45
4.3.3	Data Temperatur Udara Sebelum Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	45
4.3.4	Data Koefisien Konsumsi Bahan Bakar Sebelum Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	45
4.4	Data Setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	46
4.4.1	Data Berat Bahan Lebur setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	46
4.4.2	Data Konsumsi Bahan Bakar setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i> ...	46
4.4.3	Data Temperatur Udara setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	47
4.4.4	Data Koefisien Konsumsi Bahan Bakar Setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	47
4.5	Hasil Efisiensi Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	48
4.6	Analisis Ekonomi Pemasangan <i>Heat Exchanger</i> pada Mesin <i>Melting Furnace</i>	49
4.6.1	Proyeksi Aliran Kas (<i>cash flow</i>).....	49
4.6.2	<i>Payback Period</i>	51
4.6.3	<i>Net Present Value</i> (NPV).....	51
4.6.4	<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	51
4.7	Perbandingan Hasil dengan Penelitian Terdahulu	52
BAB V		53
PENUTUP		53
5.1	Kesimpulan.....	53
DAFTAR PUSTAKA		54



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	17
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan	31
Tabel 3. 2 Koefisiensi Konsumsi Bahan Bakar sebelum Pemasangan HE	35
Tabel 3. 3 Koefisiensi Konsumsi Bahan Bakar setelah Pemasangan HE	35
Tabel 3. 4 Efisiensi Penambahan HE	36
Tabel 4. 1 Parameter <i>heat exchanger</i>	39
Tabel 4. 2 Berat bahan lebur sebelum pemasangan <i>heat exchanger</i>	44
Tabel 4. 3 Konsumsi bahan bakar sebelum pemasangan <i>heat exchanger</i>	45
Tabel 4. 4 Temperatur udara sebelum pemasangan <i>heat exchanger</i>	45
Tabel 4. 5 Koefisien konsumsi bahan bakar sebelum pemasangan <i>heat exchanger</i> ..	46
Tabel 4. 6 Berat bahan lebur setelah pemasangan <i>heat exchanger</i>	46
Tabel 4. 7 Berat bahan lebur setelah pemasangan <i>heat exchanger</i>	46
Tabel 4. 8 Berat bahan lebur setelah pemasangan <i>heat exchanger</i>	47
Tabel 4. 9 Koefisien konsumsi bahan bakar setelah pemasangan <i>heat exchanger</i>	47
Tabel 4. 10 Efisiensi Penambahan <i>Heat Exchanger</i>	48
Tabel 4. 11 <i>Cash flow heat exchanger</i> di mesin <i>melting furnace</i> 1500kg/jam	50

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Mesin <i>Melting Furnace</i>	5
Gambar 2. 2	<i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	6
Gambar 2. 3	<i>Compact Heat Exchanger</i>	7
Gambar 2. 4	<i>Finned Heat Exchanger</i>	7
Gambar 2. 5	Aliran <i>Counter Current</i>	8
Gambar 2. 6	Aliran <i>Co Current</i>	8
Gambar 2. 7	Aliran <i>Crossflow</i>	9
Gambar 2. 8	Aliran <i>Cross Counter</i>	9
Gambar 2. 9	Perpindahan Panas Konduksi pada Dinding	10
Gambar 2. 10	Perpindahan Panas Konveksi pada Pipa.....	10
Gambar 2. 11	Perpindahan Panas secara Radiasi.....	11
Gambar 3. 1	Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3. 2	Mesin <i>Melting Furnace</i>	25
Gambar 4. 1	Diagram Alir Perhitungan Efisiensi Termal	40
Gambar 4. 2	Nilai Standar Koefisien Perpindahan Panas.....	42
Gambar 4. 3	Skema <i>Heat Exchanger</i>	44
Gambar 4. 4	Grafik Efisiensi setelah Pemasangan <i>Heat Exchanger</i>	48

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peleburan aluminium memiliki peran penting dalam berbagai sektor seperti manufaktur, otomotif, dan konstruksi. Proses peleburan aluminium meliputi proses pencairan bahan (*ingot*) dengan cara dipanaskan di dalam sebuah tungku peleburan pada mesin *melting furnace*, setelah bahan mencair kemudian dituang ke dalam cetakan [1]. Dalam operasionalnya, mesin *melting furnace* membutuhkan konsumsi bahan bakar yang tinggi, terutama pada kapasitas besar seperti 1500 kg/jam. Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh industri adalah tingginya biaya operasional akibat konsumsi bahan bakar yang tidak efisien. Upaya untuk meningkatkan efisiensi energi, salah satunya melalui pemasangan *heat exchanger*, menjadi sangat relevan untuk mengurangi penggunaan energi pada mesin *melting furnace*.

Heat Exchanger adalah alat penukar panas yang berfungsi untuk mengubah suhu dan bentuk suatu fluida. Proses tersebut terjadi dengan mengoptimalkan proses perpindahan panas dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah [2]. Dalam ilmu termodinamika, perpindahan panas berkaitan dengan transisi kuantitatif dan penata energi sebagai panas dalam benda. *Heat exchanger* memiliki prinsip dasar perpindahan panas umum yaitu: konduksi dan konveksi [3].

Berbagai penelitian telah membahas efisiensi energi pada mesin *melting furnace* dan peran *heat exchanger* dalam meningkatkan performa termal. Penelitian oleh Kumar et al (2021) menunjukkan bahwa penerapan *heat exchanger* mampu meningkatkan efisiensi termal hingga 15% pada sistem industri. Analisis numerik berdasarkan jenis dan geometri *heat exchanger* serta kondisi proses manufaktur untuk memperoleh kembali panas terbuang dari proses pengecoran billet menggunakan sistem TEG. Berdasarkan Kang & Kim, (2019) total penyerapan panas meningkat hingga 10,0%.

Meskipun berbagai penelitian telah menunjukkan potensi *heat exchanger* dalam meningkatkan efisiensi energi, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait implementasi pada mesin *melting furnace* dengan kapasitas besar. Penelitian terdahulu cenderung lebih banyak membahas aplikasi *heat exchanger* pada sistem dengan kapasitas lebih kecil atau pada jenis *furnace* yang berbeda. Selain itu, belum banyak penelitian yang secara spesifik mengevaluasi dampak pemasangan *heat exchanger* tipe



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

shell and tube terhadap konsumsi bahan bakar pada kapasitas produksi yang tinggi seperti 1500 kg/jam. Penelitian ini penting dilakukan karena memberikan solusi nyata bagi industri peleburan logam untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi biaya operasional. Selain itu, hasil penelitian ini juga relevan dalam mendukung inisiatif global untuk pengurangan emisi karbon dan pengelolaan energi berkelanjutan yang dikutip pada International Energy Agency, (2022).

Penelitian ini membahas pemanfaatan suhu panas pada mesin *melting furnace* dengan pemasangan *heat exchanger*, maka penelitian ini berjudul “Pengaruh Pemasangan *Heat Exchanger* tipe *Shell and Tube* terhadap Konsumsi Bahan Bakar pada Mesin *Melting Furnace* dengan Kapasitas 1500 kg/jam”. Judul penelitian ini dipilih karena relevansinya dengan kebutuhan industri peleburan logam yang terus berkembang, khususnya dalam efisiensi energi. Pemilihan mesin *melting furnace* dengan kapasitas 1500 kg/jam digunakan sebagai objek penelitian yang didasarkan pada tingginya kebutuhan akan optimasi energi di sektor ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan didalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Peningkatan efisiensi termal pada *heat exchanger* tipe *shell and tube* hasil fabrikasi yang dipasang pada mesin *melting furnace*.
2. Pengaruh pemasangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* hasil fabrikasi terhadap konsumsi bahan bakar pada mesin *melting furnace* berkapasitas 1500 kg/jam.
3. Dampak terhadap biaya operasional mesin *melting furnace* setelah pemasangan *heat exchanger*.

1.3 Pertanyaan Penelitian

Adapun rumusan pertanyaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar peningkatan efisiensi termal dari *heat exchanger* tipe *shell and tube* hasil fabrikasi yang dipasang pada mesin *melting furnace*?
2. Bagaimana pengaruh pemasangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* terhadap konsumsi bahan bakar pada mesin *melting furnace* berkapasitas 1500 kg/jam?
3. Bagaimana dampak terhadap biaya operasional mesin *melting furnace* setelah pemasangan *heat exchanger*?



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka didapatkan tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung peningkatan efisiensi termal dari *heat exchanger* yang dipasang pada mesin *melting furnace*.
2. Menganalisis pengaruh pemasangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* terhadap konsumsi bahan bakar pada mesin *melting furnace* berkapasitas 1500 kg/jam
3. Menganalisis dampak terhadap biaya operasional mesin *melting furnace* setelah pemasangan *heat exchanger*

1.5 Batasan Masalah

Untuk lebih memfokuskan permasalahan agar tidak melebar, maka diperlukan batasan masalah yang meliputi hal-hal dibawah ini, yaitu:

1. Mesin *melting furnace* yang digunakan memiliki kapasitas 1500 kg/jam dengan material leburnya yaitu aluminium ADC12
2. *Heat exchanger* yang digunakan dengan tipe *shell and tube*.
3. Penelitian dilakukan dengan perhitungan pemakaian bahan lebur (*ingot*) dan konsumsi bahan bakar LNG (*liquified natural gas*) pada *gas flow meter* secara langsung/pengujian lapangan.
4. Pengujian difokuskan pada pengukuran *gas flow meter* akibat proses pembakaran pada mesin *melting furnace* sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan unit *heat exchanger*.
5. Penelitian tidak mencakup desain dan pembuatan mesin *melting furnace*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Gas sisa pembakaran pada proses peleburan aluminium dapat dimanfaatkan kembali, sehingga konsumsi bahan bakar dan biaya operasional pada mesin *melting furnace* dapat berkurang.
2. Berkontribusi dalam pengurangan emisi karbon melalui optimalisasi penggunaan energi.
3. Mendukung penerapan teknologi hemat energi dalam sektor industri manufaktur dan peleburan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan hasil penelitian ini dibagi dalam beberapa bab yang saling berhubungan. Adapun urutan dalam penulisan laporan ini terlihat pada uraian dibawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang pendahuluan yang membahas tentang latar belakang pemilihan topik pengaruh *heat exchanger* pada mesin *melting furnace*, rumusan masalah penelitian, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang studi pustaka yang menunjang penyusunan skripsi meliputi landasan teori dan kajian literatur sebagai pendukung dalam penelitian ini. Teori yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, sebagai berikut: teori perpindahan panas, teori *log mean temperature difference* (LMTD), teori koefisien perpindahan panas keseluruhan, teori desain dan konstruksi *shell and tube heat exchanger*, teori efisiensi termal *heat exchanger*, teori perancangan, dan teori *quality function deployment* (QFD).

BAB III METODOLOGI

Bab ini membahas mengenai diagram alir proses yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian, metode yang digunakan, tahapan penelitian dan pengujian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil penelitian berupa pengumpulan data dan pengolahan data beserta pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari hasil dan pembahasan penelitian *heat exchanger* yang telah dilakukan beserta saran untuk penelitian selanjutnya dengan topik yang terkait.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil dari eksperimen pengaruh pemasangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* terhadap konsumsi bahan bakar pada mesin *melting furnace* dengan kapasitas 1500 kg/jam, berdasarkan pada tujuan penelitian maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Efisiensi termal *heat exchanger* tipe *shell and tube* hasil fabrikasi menunjukkan peningkatan yang signifikan. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi termal sebesar 14,89%, yang membuktikan bahwa panas buang berhasil dimanfaatkan secara optimal untuk memanaskan udara masuk pada mesin *melting furnace* dengan pemasangan *heat exchanger*.
2. Pemasangan *heat exchanger* berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar LNG. Efisiensi konsumsi bahan bakar LNG meningkat sebesar 20,79%, dan pengurangan penggunaan gas LNG sebesar 11,2Nm³/jam yang menandakan bahwa penggunaan LNG lebih efisien setelah pemasangan *heat exchanger*.
3. Pemasangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* pada mesin *melting furnace* secara signifikan menurunkan biaya operasional melalui penghematan bahan bakar LNG, menghasilkan *net saving* tahunan yang konsisten, dengan pengembalian investasi selama 3,64 tahun, serta menunjukkan kelayakan finansial yang kuat dengan NPV positif sebesar Rp 2.090.938.820 yang mengindikasikan penelitian ini memberikan nilai tambah ekonomi bersih dan merupakan investasi yang sangat menguntungkan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. T. Utomo and H. Pranoto, "MENGOPTIMALKAN EFISIENSI TUNGKU PELEBURAN ALUMINIUM :," vol. 13, no. 1, pp. 56–63, 2024.
- [2] B. Septian, A. Aziz, and P. D. Rey, "Desain Dan Rancang Bangun Alat Penukar Kalor (Heatexchanger) Jenis Shell Dan Tube," *J. Baut dan Manufaktur*, vol. 03, no. 1, pp. 53–60, 2021.
- [3] A. Shahab, Aliyah & Wahyuningsih, "EVALUASI KINERJA HEAT EXCHANGER - 003 DI PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA MINYAK DAN GAS BUMI (PPSDM MIGAS CEPU)," *J. Innov. Res. Knowl. Vol.2, No.8, Januari 2023*, vol. 2, no. 8, pp. 3229–3242, 2023.
- [4] J. O. Kang and S. C. Kim, "Heat transfer characteristics of heat exchangers for waste heat recovery from a billet casting process," *Energies*, vol. 12, no. 14, 2019, doi: 10.3390/en12142695.
- [5] K. W. Al-Helal, J. Lazaro-Nebreda, J. B. Patel, G. M. Scamans, and Z. Fan, "Melt conditioned direct chill (MC-DC) casting of AA-6111 aluminium alloy formulated from incinerator bottom ash (IBA)," *Recycling*, vol. 4, no. 3, 2019, doi: 10.3390/recycling4030037.
- [6] R. Manikandan, "Process Parameters Analysis of Ethylene Glycol-Water and Air-Glycol System in Shell and Tube Heat Exchanger," *Interantional J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 07, no. 06, pp. 1–9, 2023, doi: 10.55041/ijsrem21917.
- [7] Daffa Dwi Saputra, "Perancangan Alat Penukar Kalor Untuk Pemanas Udara di Greenhouse dengan Memanfaatkan Kondensat Panas Bumi Dieng PT.XYZ," *Progr. Stud. Teknol. Rekayasa Konversi Energi, Jur. Tek. Mesin, Politek. Negeri Jakarta*, no. 2024, pp. 7–84, 2024.
- [8] Y. Mulyani, "Analisa Efisiensi Kinerja Heat Exchanger 31-E-102 Ab Naptha Hydrotreating Unit Pt. X," *J. Tek. Mesin dan Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 10–17, 2024, doi: 10.55331/jutmi.v3i1.44.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [9] D. Derry, D. Danial, and G. S. Lubis, "Studi Eksperimen Perpindahan Panas Konveksi Paksa Dengan Variasi Tekanan Udara Pada Benda Uji Pipa Stainless," *JTRAIN J. Teknol. Rekayasa ...*, vol. 3, no. 1, pp. 52–55, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/51391%0Ahttps://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/download/51391/75676591511>
- [10] M. Siagian, "Pengaruh Model Pembelajaran Contextual Teaching and Learning (Ctl) Terhadap Hasil Belajar Fisika Pada Materi Pokok Kalor Siswa Kelas X Sma Negeri," *J. PhysEdu (PHYSICS Educ.*, vol. 6, no. 1, pp. 31–40, 2024, doi: 10.37081/physedu.v6i1.5089.
- [11] S. Amna, "Studi Numerik Perpindahan Panas pada Corrugated Plate Heat Exchanger Chevron Type dengan Variasi Corrugation Angle pada Aliran Turbulen," *Dep. Tek. Mesin, Inst. Teknol. Sepuluh Nop. Surabaya*, vol. 10, no. 2, pp. 1–6, 2021.
- [12] A. Wibowo, "ANALISIS PERFORMANCE HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE KAPASITAS OUTPUT 22000 kg/h UNTUK PROSES PRODUKSI ETHYLENE DICHLORIDE," *Progr. Stud. Tek. MESIN Fak. Tek. Univ. MERCU BUANA JAKARTA* 2022, vol. 9, pp. 356–363, 2022.
- [13] J. Sudrajat, "ANALISIS KINERJA HEAT EXCHANGER SHELL & TUBE PADA SISTEM COG BOOSTER DI INTEGRATED STEEL MILL KRAKATAU," *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 3, p. 174, 2017.
- [14] M. Mukhtar *et al.*, "Building retrofit and energy conservation/efficiency review: A techno-envirom-economic assessment of heat pump system retrofit in housing stock," *Sustain.*, vol. 13, no. 2, pp. 1–23, 2021, doi: 10.3390/su13020983.
- [15] T. Yasui, M. Aoki, T. Uchino, and C. Fushimi, "Energy Efficiency and Techno-Economic Analysis of a Thermochemical Energy Storage System by Using a Fluidized Bed Reactor Integrated with a Steam Rankine Cycle of a Biomass Power Plant," *ACS Eng. Au*, vol. 3, no. 6, pp. 498–511, 2023, doi: 10.1021/acsengineeringau.3c00029.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [16] T. Gil, M. Ilchenko, B. Kaldybaeva, A. Mironov, and S. Boldyryev, "Economic Assessment of Heat Exchanger Network Retrofit Options Based on Historical Data of Energy Price Trends," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 88, no. November, pp. 343–348, 2021, doi: 10.3303/CET2188057.
- [17] I. Isah, M. S. Umar, and M. M. Muhammad, "Economic Analysis of Heat Exchanger for a Simple Cycle Gas Turbine Power Plant," vol. 10, no. 3, 2025.
- [18] M. Andayesh, D. A. Flórez-Orrego, R. Germanier, M. Gatti, and F. Maréchal, "Improved Waste Heat Management and Energy Integration in an Aluminum Annealing Continuous Furnace Using a Machine Learning Approach," *Entropy*, vol. 25, no. 11, 2023, doi: 10.3390/e25111486.
- [19] M. Neri, A. M. Lezzi, G. P. Beretta, and M. Pilotelli, "Energy- and Exergy-Based Analysis for Reducing Energy Demand in Heat Processes for Aluminum Casting," *J. Energy Resour. Technol. Trans. ASME*, vol. 141, no. 10, pp. 1–10, 2019, doi: 10.1115/1.4043389.
- [20] H. Habibi, M Yusuf; Saptoadi, "Studi Eksperimental Emisi Gas Buang dan Temperatur Dapur Pembakaran Tempurung Kelapa pada Fixed Grate Furnace dengan Variasi Temperatur Udara Primer," *Univ. Gadjah Mada, 2020* | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>, pp. 63–65, 2020.
- [21] V. D. Pratiwi, J. P. Sutikno, and R. Handogo, "Efisiensi Energi dalam Pemanfaatan Limbah Panas dengan Boiler Heat Recovery Steam Generator," *Semin. Nas. Tek. Kim. Eosmart 2018*, pp. 28–35, 2018.
- [22] Harun N and Yandri V. R, "Pemanfaatan Gas Buang pada Waste Heat Recovery Power Generation untuk dikonversi menjadi Energi Terbarukan di Indarung V, PT. Semen Padang, Indonesia," *Elektron J. Ilm.*, vol. 12, no. 1, pp. 28–31, 2020.
- [23] F. G. Sasmita, A. D. Yulianto, A. F. Huda, and H. P. Sudarminto, "Efektivitas Kinerja Heat Exchanger Shell and Tube 1- 2 Dengan Variasi Flow Rate Natural Gas Pada Shell Dan Reformer Pada Tube Di Unit Hydrogen Plant 8 Pt Pertamina (Persero) Ru V Balikpapan," *DISTILAT J.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Teknol. Separasi, vol. 7, no. 2, pp. 179–189, 2023, doi: 10.33795/distilat.v7i2.213.

- [24] T. S. Adella, “Pengaruh Pelatihan K3 , Perilaku Karyawan , dan Pengawasan Terhadap Kecelakaan Kerja Pada Bagian Produksi The Influence of K3 Training , Employee Behavior , and Supervision of Work Accidents in the Production Department (Case Study : PT . Surya Karya Set,” *Jur. Tek. Ind. Sains dan Teknol. Univ. Teknol. Yogyakarta*, pp. 2–4, 2022.





LAMPIRAN

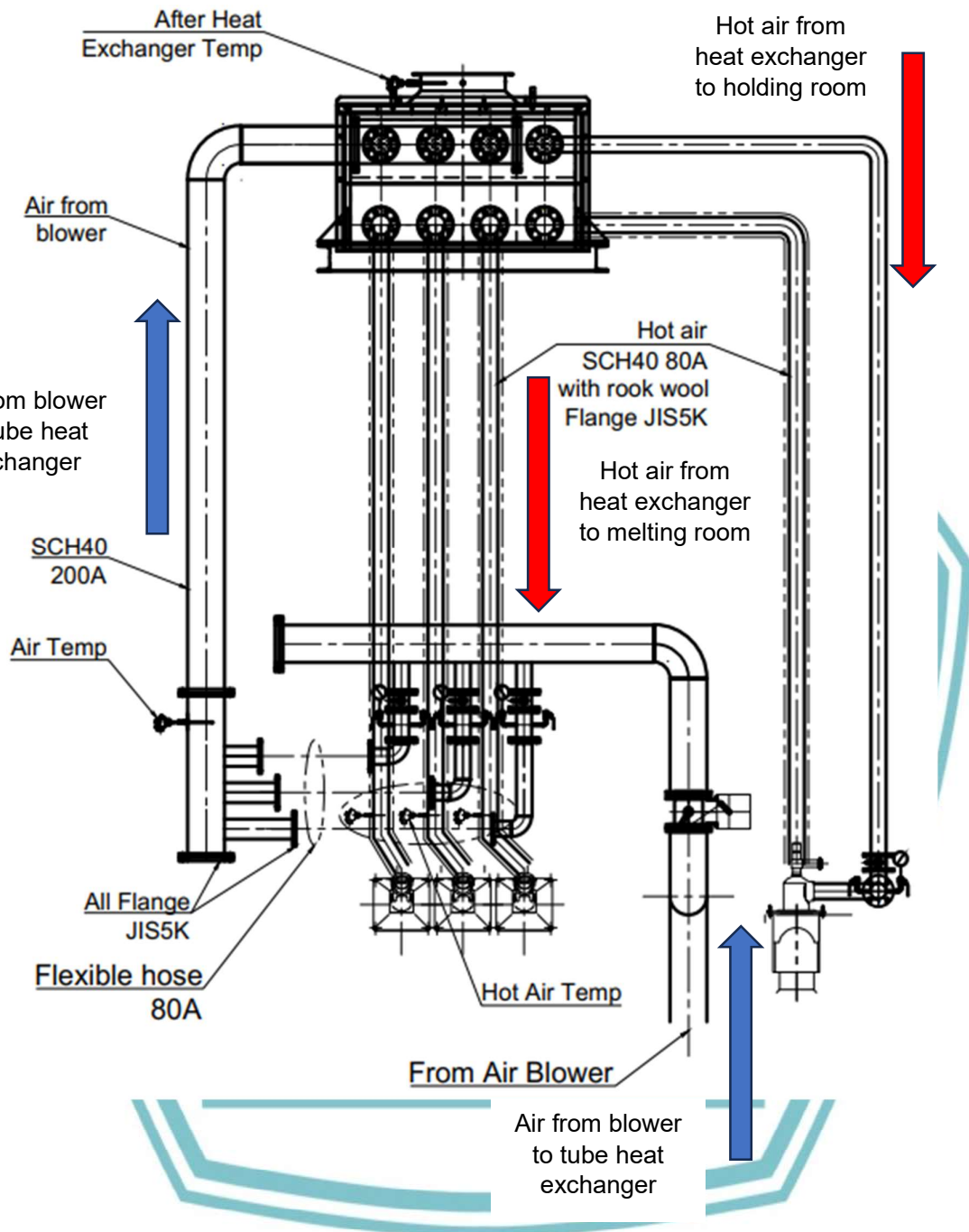
Kategori Perawatan	Item Pekerjaan	Deskripsi Detil Pekerjaan	Biaya (IDR)
1. Pembersihan (Cleaning)	Pembersihan Mekanis	Penggunaan sikat, scraper, atau tube cleaner untuk menghilangkan kerak, sedimen, atau endapan padat dari dalam tube dan shell side.	IDR 5,000,000.00
	Pembersihan Kimia	Sirkulasi larutan kimia (asam/basa) untuk melarutkan kerak, karat, atau endapan yang sulit dijangkau secara mekanis.	IDR 10,000,000.00
	Inspeksi Visual Setelah Pembersihan	Pemeriksaan visual menyeluruh setelah pembersihan untuk memastikan tidak ada sisa fouling dan mengidentifikasi potensi kerusakan.	Termasuk dalam biaya pembersihan
2. Inspeksi & Pengujian Integritas	Inspeksi Visual Menyeluruh	Pemeriksaan shell, tube, tube sheet, baffle, dan nozzle untuk tanda-tanda korosi, erosi, retakan, atau deformasi.	Termasuk dalam biaya pembongkaran
	Uji Kebocoran (Leak Test)	Uji tekanan hidrostatik atau pneumatis pada tube, sambungan tube-to-tube sheet, atau flange untuk mendeteksi kebocoran.	IDR 7,500,000.00
	Pengujian Non-Destruktif (NDT)	Pengujian seperti Eddy Current Testing (ECT) untuk mendeteksi retakan/pemipisan tube, atau Ultrasonic Testing (UT) untuk ketebalan dinding shell (jika diperlukan).	IDR 10,000,000.00
	Penggantian Gasket & Seal	Menganti semua gasket pada flange dan seal lainnya setiap kali HE dibuka untuk memastikan kerapatan.	IDR 3,000,000.00
3. Penggantian Komponen Aus/Rusak	Penggantian Anoda Korban	Memeriksa dan mengganti anoda korban (jika ada) yang berfungsi melindungi HE dari korosi galvanik.	IDR 2,500,000.00
	Perbaikan/Penggantian Tube (Retubing)	(Non-tahunan, namun penting jika terjadi) Menutup tube yang bocor (plugging) atau mengganti tube secara keseluruhan (retubing). Ini pekerjaan besar.	IDR 85,000,000.00
	Pembongkaran & Pemasangan Kembali	Proses membuka HE, melepas tube bundle, membersihkan, dan memasang kembali semua komponen dengan benar.	IDR 10,000,000.00
4. Pekerjaan Pendukung	Pengecatan & Perlindungan Korosi	Membersihkan dan mengecat ulang bagian eksternal shell untuk mencegah korosi.	IDR 2,000,000.00
	Kalibrasi Instrumentasi	Memastikan akurasi sensor tekanan dan suhu yang terhubung ke HE.	IDR 2,000,000.00
Total Estimasi Biaya Tahunan (Minimum - Tanpa Retubing/NDT Mayor)			IDR 52,000,000.00
Total Estimasi Biaya Tahunan (Dengan potensi Retubing/NDT Mayor)			IDR 137,000,000.00

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



SCHEMATIC DIAGRAM HEAT EXCHANGER



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta