

TESIS
ANALISA EKSERGI DAN *EXERGETIC*
SUSTAINABILITY INDEX* PADA *PACKAGE BOILER
PT. PUPUK SRIWIJAYA PALEMBANG



SERIGIANTO
03012622024001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023

TESIS
ANALISA EKSERGI DAN *EXERGETIC*
SUSTAINABILITY INDEX* PADA *PACKAGE BOILER
PT. PUPUK SRIWIJAYA PALEMBANG

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**



SERIGIANTO
03012622024001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISA EKSERGI DAN EXERGETIC
SUSTAINABILITY INDEX PADA PACKAGE BOILER
PT. PUPUK SRIWIJAYA PALEMBANG**

TESIS

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan
Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Palembang, Desember 2023
Menyetujui
Pembimbing I,

Pembimbing II,

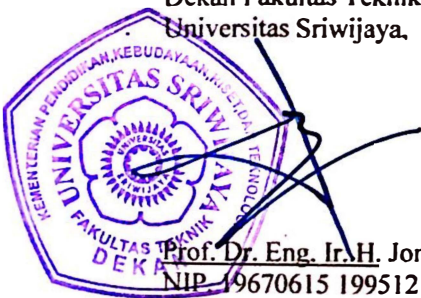
Prof. Dr. Ir. H.M. Djoni Bustan, M.Eng, IPU
NIP.19560307 198103 1010

Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Harwati, DEA, IPU
NIP. 19561024 198103 2001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arlians
NIP. 19670615 199512 1002

M.T



Dr. Tutur Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750201 200012 2001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Analisa Eksergi dan *Exergetic Sustainability Index* Pada *Package Boiler* PT. Pupuk Sriwijaya Palembang” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 21 Desember 2023.

Palembang, Desember 2023

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. H.M. Said, M.Sc
NIP. 19610812 198703 1003

(
.....)

Anggota :

1. Prof. Dr. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc
NIP. 19560604 198602 1001

(
.....)

2. Dr. David Bahrin, ST, M.T
NIP. 19801031 200501 1003

(
.....)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 19670615 199512 1002



Ketua Jurusan Teknik Kimia,

Dr. Futi Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750201 200012 2001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama Serigianto
NIM 03012622024001
Judul Analisa Eksergi dan Exergetic Sustainability Index Pada
Package Boiler PT. Pupuk Sriwijaya Palembang

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan 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, Desember 2023
Yang Membuat Pernyataan,



Serigianto
NIM. 03012622024001

Daftar Perbaikan Ujian Tesis

21 Desember 2023

Nama : Serigianto
NIM : 03012622024001
BKU : Teknologi Lingkungan
Judul Tesis : Analisa Eksergi dan *Exergetic Sustainability Index* Pada *Package Boiler* PT. Pupuk Sriwijaya Palembang
Dosen Penguji : 1. Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D
2. Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Said, M.Sc
3. Dr. David Bahrin, S.T., M.T

No	Pertanyaan/Komentar/ Masukkan Dosen	Jawaban/Tanggapan Mahasiswa	Halaman Perbaikan Ujian Tesis
1.	Hal.52 → 92,11 % dihilangkan saja	Sudah dihilangkan 92,11 %	Hal. 52
2.	Hal. 43 & 44 → penulisan kj seharusnya kJ	Sudah dilakukan perbaikan dari penulisan kj menjadi kJ	Hal. 43 dan 44
3.	Hal. 41 → dicari warna yang kontras (tidak terbaca)	Sudah dicetak menggunakan dengan warna yang jelas	Hal. 41
4.	Hal. 50 → dicari warna yang kontras	Sudah dicetak menggunakan dengan warna yang jelas	Hal. 50
5.	Beri penjelasan mendapatkan temp BFW = 161°C	Sudah ditambahkan penjelasannya	Hal 49 - 50
6.	Jurusan teknologi lingkungan diubah menjadi jurusan Teknik kimia pada cover	Sudah diubah pada cover	Hal i dan ii
7.			
8.			

Palembang, Desember 2023



Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D
NIP. 19560604 198602 1001

RINGKASAN

ANALISA EKSERGI DAN EXERGETIC SUSTAINABILITY INDEX PADA PACKAGE BOILER

Karya tulis ilmiah ini berupa tesis, Desember 2023

Serigianto, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H.M. Djoni Bustan, M.Eng. IPU dan Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU

Exergy analysis and exergetic sustainability index of package boiler

xv + 57 halaman, 9 Tabel, 14 Gambar

RINGKASAN

Energi merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia. Pertumbuhan ekonomi dan penduduk dalam sebuah negara yang meningkat seiring dengan itu maka kebutuhan akan energi juga akan meningkat. Indonesia merupakan salah satu pengguna energi terbesar di Asia Tenggara dengan penggunaan kurang lebih 36% dari penggunaan energi utama di Asia Tenggara. Utilisasi penggunaan energi akan mengurangi kenaikan biaya produksi suatu industri yang dikenal dengan konservasi energi. Analisa energi dan eksergi berdasarkan hukum pertama dan kedua termodinamika yang dapat digunakan untuk menganalisa sistem termal dari suatu unit industri. Hal ini dapat diterapkan pada unit peralatan pada industri petrokimia yang dapat mengidentifikasi sumber dari ketidakefisienan, menentukan lokasi dan jumlah destruksi eksergi yang terjadi. Untuk mengurangi destruksi eksergi dapat dilakukan dengan melakukan modifikasi kondisi operasi peralatan dari package boiler. Hasilnya menunjukkan bahwa 94,3 % total destruksi eksergi dari package boiler PUSRI IB didapat dari komponen evaporator dengan nilai sebesar 2.7×10^8 kJ/hr. Modifikasi kondisi operasi dari evaporator dengan menurunkan temperatur Boiler Feed Water (BFW) masukan dengan ΔT 10^0 C (196 – 116°C). Dengan menurunkan temperatur BFW dapat meningkatkan sejumlah panas laten dan mengurangi panas konveksi yang berasal dari flue gas yang dapat membentuk superheated steam. Optimalisasi temperatur BFW didapat dengan melakukan perhitungan temperatur flue gas dan analisa exergoeconomic. Analisa Exergoeconomic didapat dengan melakukan perhitungan cost rate of exergy destruction ($\dot{C}_{D,k}$) and exergoeconomic factor (f_k). Hasil yang didapat bahwa temperature optimum BFW pada 161°C dimana menghasilkan mengurangi destruksi eksergi sebesar $6,2 \times 10^6$ kJ/hr dan seisi biaya yang hilang sesuai data aktual (196°C) sebesar Rp 1,370,354,743/hr. Exergetic Sustainability Index (ESI) menunjukkan bagaimana sistem environmental impact dapat dicapai dengan mengurangi konsumsi eksergi (destruction and losses) atau meningkatkan efisiensi eksergetik. Pada penelitian ini nilai ESI yang didapat sebesar 0,918.

Kata Kunci : Exergy destruction, Exergoeconomic analysis, Package boiler

SUMMARY

EXERGY ANALYSIS AND EXERGETIC SUSTAINABILITY INDEX OF PACKAGE BOILER

Scientific paper in the form of Tesis, Dec ,2023

Serigianto, Supervised by Prof. Dr. Ir. H.M. Djoni Bustan, M.Eng, IPU dan Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU

Analisa Eksergi dan Exergetic Sustainability Index Pada Package Boiler

xv + 57 Pages, 9 Tables, 14 Pictures

SUMMARY

Energy is one of the basic human needs. Economic growth and population growth in a country which continues to increase is directly proportional to the growth in energy needs required by society. Indonesia is the largest energy user in Southeast Asia, namely more than 36% of Southeast Asia's primary energy use. Utilization of the energy used will reduce the increase in production costs for an industry. The use of energy is better known as energy conservation. Energy and exergy analysis based on the first and second laws of thermodynamics is used to analyze the thermal system of industrial units. This can be applied to equipment units in the fertilizer industry to identify sources of inefficiency, determine their location and the amount of exergy destruction that occur. To reduce exergy destruction, this can be done by modifying the operating conditions of the package boiler. The results show that 94.3% of the total exergy destruction from the Pusri IB boiler package is obtained from the evaporator component with a value of 2.7×10^8 kJ/hr Modification of the operating conditions of the evaporator is carried out by reducing Boiler Feed Water (BFW) inlet temperature with ΔT 100C (196 – 116oC). The decrease BFW temperature will increase the amount of required latent heat and reduce the convection heat that will be carried by the flue gas to generate superheated steam. Optimization of the BFW temperature is performed by calculating the flue gas temperature and exergoeconomic analysis. Exergoeconomic analysis is performed by calculating the cost rate of exergy destruction (\dot{C}_D ,k) and exergoeconomic factor (fk). The results obtained were that the temperature was optimum of BFW is at 161°C which resulted the reduction of exergy destruction of $6,2 \times 10^6$ kJ/hr and resulting difference cost losses based on actual data (196°C) of Rp 1,370,354,743/hr. Exergetic Sustainability Index (ESI) used to demonstrate how reducing a system's environmental impact can be achieved by reducing its exergy consumption (destruction and losses) or increasing its exergetic efficiency. In this research, ESI Value was achieved at 0,918

Keywords: Exergy destruction, Exergoeconomic analysis, Package boiler

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kepada Allah Yang Maha Esa karena atas karunia-Nya, sehingga penyusunan laporan hasil penelitian dengan judul “**ANALISA EKSERGI DAN EXERGETIC SUSTAINABILITY INDEX PADA PACKAGE BOILER PT. PUPUK SRIWIJAYA PALEMBANG**” dapat diselesaikan dengan baik. Tak lupa sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan seluruh pengikutnya.

Hasil laporan tesis ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Magister Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dengan harapan isi tesis ini dapat bermanfaat secara nyata bagi kehidupan. Dalam pembuatan laporan hasil tesis ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, perkenankan penulis untuk menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Orang tua tercinta, istri, anak - anak dan keluarga tercinta yang telah memberikan do'a yang tiada henti, menyemangati selalu, dan selalu senantiasa memberikan motivasi.
2. Bapak Dr. David Bahrin, S.T., M.T., selaku ketua prodi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Djoni Bustan, M.Eng, selaku dosen pembimbing tesis utama
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, selaku dosen pembimbing tesis pendamping
5. Rekan-rekan di PT. Pusri Palembang dan PT. Pertamina Hulu Rokan Regional 1 Zona 4 yang telah banyak membantu dalam penyajian data
6. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Kimia 2019 serta semua pihak yang selalu memberikan dukungan dan semangat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
7. Dan seluruh pihak yang terkait yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu yang telah membantu kami selama melakukan penelitian dan pembuatan hasil penelitian tesis ini.

Akhir kata diharapkan kritik dan saran yang bersifat ilmiah dan membangun agar hasil laporan tesis ini dapat lebih bermanfaat sebagaimana mestinya.

Palembang, Desember 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL LUAR	i
HALAMAN JUDUL DALAM	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR SIMBOL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Ruang Lingkup	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 .Sejarah Penelitian Destruksi Eksergi Boiler	7
2.2 .Klasifikasi Boiler	14
2.2.1. <i>Fire Tube Boiler</i>	14
2.2.2. <i>Water Tube Boiler</i>	16
2.3 .Teori Dasar mengenai <i>Package Boiler</i>	17
2.1.1. Prinsip Dasar <i>Package Boiler</i>	18
2.1.2. Komponen <i>Package Boiler</i>	18
2.1.2.1. <i>Economizer</i>	19
2.1.2.2. <i>Steam Drum</i>	20
2.1.2.3. <i>Combustion Chamber</i>	20
2.1.2.4. <i>Superheater</i>	21
2.1.2.5. <i>Desuperheater</i>	21

2.4. Dasar Perhitungan <i>Package Boiler</i>	22
2.4.1. Analisa Energi	23
2.4.2. Analisa Eksergi	25
2.4.2.1. Eksergi Fisik	27
2.4.2.2. Eksergi Kimia	29
2.4.2.3. Destruksi Eksergi	30
2.4.3. Analisa <i>Exergoeconomic</i>	31
2.4.4. Analisa <i>Exergetic Sustainability Index (ESI)</i>	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Tempat Penelitian	35
3.2. Variabel Penelitian	35
3.3. Prosedur Penelitian	35
3.4. Deskripsi Proses <i>Package Boiler</i> PT PUSRI 1B Palembang...	36
3.5. Langkah Perhitungan Eksergi	38
3.6. Langkah Perhitungan <i>Exergoeconomic</i>	39
3.7. Langkah Perhitungan <i>Exergetic Sustainability Index (ESI)</i>	40
3.8. Diagram Alur Penelitian	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Neraca Massa dan Neraca Energi	43
4.2. Analisis Eksergi	44
4.3. Modifikasi Temperatur Input <i>Boiler Feed Water (BFW)</i> Pada Komponen <i>Evaporator</i>	47
4.4. Analisis <i>Exergoeconomic</i>	48
4.5. Analisis <i>Exergetic Sustainability Index (ESI)</i>	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	52
5.2. Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Fire Tube Boiler</i>	15
Gambar 2.2. <i>Water Tube Boiler</i>	16
Gambar 2.3. <i>Vertical Boiler, Stirling Boiler, Babcock and Wilcox Boiler</i>	17
Gambar 2.4. <i>Package Boiler Unit 1B PT PUSRI Palembang</i>	19
Gambar 2.5. <i>Spray Desuperheater</i>	22
Gambar 2.6. Grafik Hukum Termodinamika I	23
Gambar 3.1. <i>Flowsheet Package Boiler PT PUSRI Palembang</i>	37
Gambar 3.2. Diagram Alir Perhitungan Eksergi	39
Gambar 3.3. Diagram Alir Perhitungan <i>Exergoeconomic</i>	40
Gambar 3.4. Diagram Alir Perhitungan <i>Exergetic Sustainability Index (ESI)</i> ..	40
Gambar 3.5. Diagram Alir Penelitian	41
Gambar 4.1. Grafik Destruksi Eksergi Komponen <i>Package Boiler</i> PUSRI 1B Palembang	47
Gambar 4.2. Grafik Variasi Penurunan Temperatur Input BFW Komponen <i>Evaporator</i> terhadap Destruksi Eksergi	48
Gambar 4.3 Grafik Penurunan Temperatur Input BFW Komponen <i>Evaporator</i> terhadap <i>Cost rate of Exergy Destruction (CD)</i> dan <i>Exergoeconomic</i> <i>Factor (fk)</i>	50

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian	40
Tabel 4.1. Neraca Massa dan Neraca Energi <i>Economizer</i>	42
Tabel 4.2. Neraca Massa dan Neraca Energi <i>Steam Drum</i>	42
Tabel 4.3. Neraca Massa dan Neraca Energi <i>Evaporator</i>	43
Tabel 4.4. Neraca Massa dan Neraca Energi <i>Superheater</i>	43
Tabel 4.5. Neraca Massa dan Neraca Energi <i>Desuperheater</i>	43
Tabel 4.6. Neraca Massa dan Neraca Energi <i>Flash Drum</i>	43
Tabel 4.7. Neraca Eksergi dan Destruksi Eksergi	44
Tabel 4.8. Hasil Perhitungan Analisis <i>Exergoeconomic</i>	48

DAFTAR SIMBOL

CRF	<i>Capital Recovery Factor</i>	
C_p	Kapasitas panas	kJ/kg°C
C_v	<i>Specific Heat at Constant Volume</i>	kJ/kmol.K
C_p	<i>Specific Heat at Constant Pressure</i>	kJ/kmol.K
$\dot{C}_{D,k}$	<i>Cost rate of exergy destruction</i>	Rp
$C_{F,k}$	<i>Unit exergy cost</i>	Rp/kJ
E_k	Energi system	Joule
E_p	Energi potensial	Joule
$\dot{E}_{D,k (total)}$	Destruksi eksergi total	kJ
E^{PH}	Eksergi fisik	kJ
E^{KN}	Eksergi system	kJ
E^{PT}	Eksergi potensial	kJ
E^{CH}	Eksergi kimia	kJ
E_D	Destruksi Eksergi	kJ
E_{in}	Eksergi input	kJ
E_{out}	Eksergi output	kJ
$\dot{E}_{D,k}$	Destruksi Eksergi	kJ
e^{PH}	<i>Specific molar physical exergy</i>	kJ/kmol
e^{KN}	<i>Specific molar kinetic exergy</i>	kJ/kmol
e^{PT}	<i>Specific molar potensial exergy</i>	kJ/kmol
e^{CH}	<i>Specific molar chemical exergy</i>	kJ/kmol
e_x^{CH}	<i>Specific molar chemical exergy</i>	kJ/kmol
e_i^{CH}	<i>Specific molar chemical exergy for product</i>	kJ/kmol
e_j^{CH}	<i>Specific molar chemical exergy for reactant</i>	kJ/kmol
$\varepsilon_{in (total)}$	Eksergi masuk total	kJ

f_k	<i>Exergoeconomic Factor</i>	
g	Gaya gravitasi	m/s ²
h	Ketinggian	m
h	Entalpi	kJ/kmol
h_o	Entalpi referensi	kJ/kmol
h^o	<i>Methalpy</i>	kJ/kmol
h_o^o	<i>Methalpy reference</i>	kJ/kmol
i	<i>Interest Rate</i>	
MW	<i>Molecular weight</i>	kg/kmol
m	Massa	kg
m	Laju alir massa	kg/jam
N	<i>Annual Number of Operation Hours</i>	jam
n	<i>Equipment Life Time</i>	tahun
P_o	Tekanan Referensi	bar
P_v	<i>Flow work</i>	kJ
P^o	<i>Ambient pressure</i>	bar
P_o^o	Tekanan parsial	bar
Q	Kalor	Joule
R	Tetapan gas ideal	kJ/kmol.K
S	Entropi	kJ/kmol.K
S_o	Entropi Referensi	kJ/kmol.K
T_o	Temperatur Referensi	25°C
T	Temperatur	K
T^o	<i>Ambient temperature</i>	K
U	Energi Dalam	kJ/kmol
U_o	Energi Dalam Referensi	kJ/kmol
v	Kecepatan	m/s
v_i	Koefisien stoikiometri produk	
v_j	Koefisien stoikiometri reaktan	

V	<i>Specific Volume</i>	m^3/kmol
V_0	<i>Specific Volume Reference</i>	m^3/kmol
W	Usaha	Joule
\dot{Z}_k	<i>Capital Investment Rate</i>	Rp
Z_k	<i>Purchase Equipment Cost</i>	Rp
$(\Delta G_0)_x$	<i>Molar Gibbs function of reaction</i>	kJ/kmol
$(\Delta G_0)_x$	<i>Molar Gibbs function of reaction</i>	kJ/kmol
Δg_{fi}	<i>Molar Gibbs formation of product</i>	kJ/kmol
Δg_{fj}	<i>Molar Gibbs formation of reactant</i>	kJ/kmol
ΔH	Perubahan entalpi	kJ
ΔT	Perubahan temperatur	$^{\circ}\text{C}$
ΔU	Perubahan energi dalam sistem	Joule
φ	<i>Maintenance Factor</i>	
λ	<i>Exergetic Sustainability Index (ESI)</i>	
γ	<i>Specific Heat Ratio</i>	
γ_{eef}	<i>Environmental effect factor</i>	
τ	<i>Waste exergy ratio</i>	
η_2	<i>Exergy efficiency</i>	%

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan mendasar manusia. Pertumbuhan ekonomi dan pertumbuhan penduduk di suatu negara yang terus meningkat berbanding lurus dengan pertumbuhan kebutuhan energi yang dibutuhkan oleh masyarakat dalam kehidupan berbangsa dan bernegara. Indonesia merupakan pengguna energi terbesar di Asia Tenggara, yaitu lebih dari 36% penggunaan energi primer Asia Tenggara. Penggunaan sumber energi fosil masih memegang urutan pertama dalam memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Dalam Outlook Energi Indonesia 2019 Dewan Energi Nasional, kebutuhan energi Indonesia pada 2025 diprediksikan akan mencapai 238,8 juta ton setara barrel minyak (SBM) dengan skenario *Business as Usual* (BaU). Jumlah tersebut akan meningkat menjadi 682,3 juta SBM pada 2050, dengan asumsi rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi selama periode 2015-2050 sekitar 4,9 persen per tahun. Kebutuhan pada 2050 tersebut berupa energi batubara mencapai 86 juta SBM, gas 96 juta SBM, minyak 260 juta SBM. Kemudian Energi Baru Terbarukan (EBT) mencapai 48 juta SBM, dan energi listrik sebesar 196 juta SBM

Industri pupuk dinilai sebagai salah satu sektor strategis yang dapat memacu perekonomian nasional. Sebab, industri pupuk berperan penting dalam mendorong peningkatan produksi sektor pertanian yang mendukung program ketahanan pangan nasional di masa datang. Penggunaan energi di industri pupuk merupakan faktor dominan dan vital, jika ketersediaan energi terganggu maka industri pupuk tidak dapat beroperasi secara normal. Sedangkan industri pupuk pada tahun 2020 menempati urutan kedua setelah industri keramik dalam penggunaan energi sebesar kurang lebih 40 MTOE yang digunakan sebagai bahan baku pupuk dan kebutuhan ini diperkirakan akan terus meningkat sebesar 180 MTOE pada tahun 2050 seiring dengan pertumbuhan ekonomi.

Sehubungan dengan itu perlu adanya peningkatan pemanfaatan energi yang digunakan pada industri pupuk.

Pemanfaatan dari energi yang digunakan akan menekan peningkatan biaya produksi suatu industri. Pemanfaatan energi yang dilakukan lebih dikenal dengan istilah konservasi energi. Salah satu bentuk konservasi energi yang dapat menekan peningkatan biaya produksi suatu industri adalah dengan analisa eksergi.

Analisa energi dan eksergi berdasarkan hukum pertama dan kedua termodinamika digunakan untuk menganalisa sistem termal dari unit dalam industri. Hal ini dapat diaplikasikan pada unit-unit peralatan diindustri pupuk untuk mengidentifikasi sumber ketidakefisienan, menentukan lokasinya dan besarnya kerugian eksergi yang terjadi. Selain itu, hal lain yang perlu diperhatikan adalah menentukan kondisi kerja peralatan yang paling optimal agar dapat mencapai nilai efisiensi paling tinggi.

Salah satu unit yang memiliki tingkat penurunan efisiensi tertinggi terhadap kinerjanya yaitu boiler. Penurunan kinerja dapat diukur dari seberapa besar energi yang diperlukan untuk menjalankan peralatan tersebut. Tingkat kebutuhan energi yang besar menandakan terjadinya penurunan kinerja pada unit yang ditinjau (Utomo dan Siswanto, 2015).

PT. Pupuk Sriwijaya Palembang merupakan salah satu pabrik pupuk di Indonesia yang memegang peranan yang sangat penting dalam memproduksi pupuk berkualitas yang mempunyai peralatan boiler sebagai salah satu penunjang utilitas dalam memproduksi steam. PT. Pupuk Sriwijaya Palembang menggunakan dua macam boiler, yaitu *waste heat boiler* (WHB) dan *package boiler* (PB) untuk memproduksi steam. WHB sumber panasnya berasal dari natural gas dan pemanfaatan gas buang dari Gas Turbin Generator (GTG), Sedangkan *package boiler* sumber panasnya berasal dari pembakaran natural gas dan udara. *Package boiler* merupakan bagian dari boiler dalam rancangan *fire tube* dengan transfer panas baik secara radiasi konveksi maupun konduksi yang tinggi. Umpan dari *package boiler* adalah yang tinggi. Umpan dari *package boiler* adalah *Boiler Feed Water* (BFW). diketahui juga bahwa pembakaran yang terjadi pada alat *package boiler* ini berlangsung secara tidak sempurna sehingga dapat menyebabkan pembuangan panas yang berlebih sehingga menimbulkan polusi panas (*thermalpollution*)

Muhamad Difa Dharmakusuma, dkk. 2020 melakukan analisa eksergi pada boiler PLTU. Hasil analisa energi boiler PLTU memiliki nilai efisiensi energi dan eksergi masing - masing 96,88% dan 34,62%. Efisiensi eksergi bernilai lebih kecil dibandingkan efisiensi energi dikarenakan efisiensi eksergi memasukkan faktor lingkungan dalam perhitungannya sedangkan efisiensi energi tidak. *Combustor* dan *heat exchanger* memiliki kontribusi kerusakan eksergi yang besar yaitu masing - masing 86,87 MW dan 31,56 MW. Hal ini terjadi dikarenakan proses *Irreversibility* pada pembakaran batu bara. Eksergi yang terbuang pada *flue gas* sebesar 6,12 MW dikarenakan temperatur *flue gas* yang keluar masih besar. Semakin besar *flow steam* yang mengalir pada boiler maka efisiensi eksergi dan kerusakan eksergi boiler akan berkurang.

Oruye, dkk, 2019 berdasarkan hasil analisa eksergi power plant, eksergi input karena kerja kompressor (Actual kerja kompressor) adalah sebesar 43.57MW, eksergi output dari kompressor adalah sebesar 37.75MW dan destruksi eksergi dalam kompressor adalah sebesar 5.82MW. besarnya destruksi eksergi dan kerja kompressor yang masuk dalam proses kompresi disebabkan oleh *intake mass flow rate* udara yang tidak memadai yang masuk ke kompressor dikarenakan *malfunction* sistem filtrasi udara yang disebabkan penyumbatan dan kerusakan element filter dengan adanya kotoran yang menempel pada *blade* kompressor sehingga menghalangi proses kompresi. Pada proses pembakaran, total eksergi yang masuk *combustion chamber* didapat sebesar 37.75MW dimana 71.70 MW adalah *flow* eksergi keluaran dari *combustion chamber* dan 58.073 MW adalah eksergi bahan bakar untuk proses pembakaran. Ditemukan juga 24.12 MW sebagai destruksi eksergi dalam *combustion chamber* yang berhubungan dengan proses *irreversibility* tinggi yang disebabkan oleh fluktuasi tekanan gas dari sumber utama, inefisiensi operasi dan peralatan proses kontrol serta hambatan metalurgi. Demikian pula, hasil analisa eksergi turbin menunjukkan bahwa 71.70 MW didapatkan sebagai total aliran eksergi yang masuk ke turbin, eksergi turun sebesar 23.84 MW dalam turbin dan bahwa total eksergi yang meninggalkan turbin menyebabkan *friction losses*, *heat generation* dan kebocoran seal.

A. Behbahaninia, dkk, 2019, melakukan studi menggunakan metode baru yang digunakan untuk audit eksergi pada *steam boiler*. Pada metode ini, eksergi

loss pada boiler dibagi menjadi 6 (enam) komponen. Pada boiler ini ditunjukkan bahwa source utama yang menyebabkan eksergi yang hilang adalah proses *irreversibility* dalam boiler. Sumber proses *irreversibility* yang kedua adalah eksergi *flue gas* yang keluar boiler sebesar 4.24 %. proses *irreversibility gas air heater* adalah 2.69 % dan eksergi tercover oleh gas air heater sebesar 2.35 % yang mana sebagai potensi yang perlu dipertimbangkan dalam *gas air heater* untuk meningkatkan performa dari boiler. Eksergi yang hilang dari hidrokarbon yang tidak terbakar dan radiation diabaikan yang pertama karena performa yang sempurna dari *burner* dan beberapa boiler serta yang kedua karena insulasi yang bagus dari boiler.

Zecheng Liu, dkk, 2020, melakukan simulasi proses yang melibatkan *combustion* dan *heat exchange boiler* didapatkan efisiensi eksergi sistem 600 MW SeCO₂ *coal-fired CFB generation* mencapai kurang lebih 46%, yang menyumbang 77 % destruksi eksergi dari keseluruhan sistem. Boiler CFB mempunyai efisiensi eksergi sebesar 57.7%, dimana lebih besar daripada *pulverized coal boilers* dengan *steam cycle* atau SeCO₂ cycle sekitar 3-5%, meskipun efisiensi termal former sedikit lebih rendah daripada SeCO₂ *pulverized coal boiler*. Berdasarkan hasil analisa eksergi, menyesuaikan dan mengoptimalkan posisi dan *flow rate reheater* dan *air preheater* mempunyai kemungkinan terbesar untuk melakukan improve terhadap efisiensi eksergi sistem boiler.

Peneliti perlu mengetahui besarnya *thermal pollution* secara kualitatif dengan menggunakan analisa eksergi dan juga untuk mengetahui jumlah konsumsi energi pada masing-masing alat di dalam *package boiler*. Sehubungan dengan itu peneliti akan melakukan penelitian terhadap kinerja pada *package boiler* PUSRI 1B Palembang dengan metode analisis eksergi termasuk terhadap *thermal pollution*.

1.2. Rumusan Masalah

1. Tingginya nilai destruksi eksergi akan yang menyebabkan rendahnya efisiensi *package boiler*. Rendahnya efisiensi *package boiler* akan meningkatkan biaya produksi untuk kebutuhan bahan bakar pada PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. Sehingga perlu merumuskan masalah yaitu

bagaimana modifikasi yang dilakukan untuk menurunkan destruksi eksergi untuk dapat meningkatkan efisiensi *package boiler*.

2. Buangan panas dari boiler yang dapat menyebabkan polusi panas disekitar (*thermal pollution*) dikarenakan rasio *waste exergy* yaitu perbandingan antara fraksi total destruksi eksergi berbanding dengan total eksergi sistem dimana berdampak kepada *environmental effect factor* dengan semakin tingginya rasio *waste exergy* sehingga perlu dilakukan analisa terhadap dampak kepada lingkungan.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Menganalisa dan mengkaji modifikasi yang dapat dilakukan untuk menurunkan nilai destruksi eksergi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi *package boiler*.
2. Menganalisa dan mengkaji *environmental effect factor* dan eksergi *sustainability index* pada peralatan boiler

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup ini antara lain :

1. Penelitian ini menggunakan data aktual *Package Boiler PUSRI 1B*.
2. Data tersebut akan dianalisis berdasarkan eksergi untuk mengetahui destruksi eksergi pada *package boiler*, *environmental effect factor* dan *eksergi sustainability index*. Setelah diketahui destruksi eksergi yang tertinggi, maka dilakukan modifikasi kondisi operasi untuk menurunkan destruksi eksergi dan dilakukan analisa *exergoeconomic* untuk mengetahui pengaruh modifikasi kondisi operasi terhadap jumlah biaya operasional *package boiler*.

1.5. Manfaat Penelitian

1. Jika penelitian ini berhasil, maka metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam peningkatan efisiensi *package boiler* dengan menurunkan nilai destruksi eksergi, sehingga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar pada *package boiler*. Pengurangan konsumsi bahan bakar berdampak pada menurunnya biaya operasi industri.

-
2. Dapat dijadikan acuan dalam menurunkan *thermal pollution* pada peralatan industri *package boiler* dan peralatan lain.

Daftar Pustaka

- Almotalip, Elfeituri, I. A., & Abd, A. (2017). Energy and Exergy Analysis of a Steam Power Plant at Part Load Conditions. *Port Said Engineering Research Journal, Volume (21) No. (2)*, pp. 181:192.
- Arif, A., Nugraha, R. A., & Chandra, D. (2015). *Deskripsi Proses Operasi Pusri-1B*. PAlembang: Departemen Operasi Pusri-1B.
- Azami, S., Taheri, M., Pourali, O., & Torabi, F. (2018). Energy and Exergy Analyses of a Mass-fired Boiler for a Proposed Waste-to-Energy Power Plant in Tehran. *Applied Thermal Engineering*.
- Bai, W., Li, H., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, Y., Zhang, C., & Yao, M. (2021). Energy and exergy analyses of an improved recompression supercritical CO₂ cycle for coal-fired power plant. *Energy*.
- Behbahaninia, A., Ramezani, S., & hejrandoost, M. L. (2017). A Loss Method for Exergy Auditing of Steam Boilers. *Energy*. doi:10.1016/j.energy.2017.08.090
- Bejan, A. (1996). *Thermal Design and Optimization*. New York: John Wiley and Sons, INC.
- Bhaskaran, H. (2016). Influence of Flue Gas and Feed Water Temperatures on Boiler Efficiency – An Analysis. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 5(1): 94-109*.
- Bouapetch, W., Srinophakun, R. T., Prakaypan, W., & Paterson, A. (2014). Energy and Exergy Analysis of Steam Boiler and Autoclave in Fiber Cement Process. *IJAST, Vol.7, No.2*, pp. 37-46.
- Bustan, D. M., Caesaranty, P. F., & Sari, P. F. (2020). *Exergy Analysis Of Package Boiler PT Pupuk Sriwidjaja IB Palembang*. Palembang: University of Sriwijaya.
- Cavaseno, V. (1979). *Process Heat Exchange*. New York: McGraw-Hill Book.
- Compton, M., & Rezaie, B. (2017). Enviro-exergy sustainability analysis of boiler evolution in district energy system. *Energy*.
- Costa, V., Tarelho, L., & Sobrinhoa, A. (2019). Mass, energy and exergy analysis of a biomass boiler: A portuguese representative case of the pulp and paper industry. *Applied Thermal Engineering*.
- Dharmakusuma, D. M., Belyamin, & Widiyatmoko. (2020). Analisis Eksergi Pada Boiler PLTU. *Jurnal Mekanik Terapan*.
- Dincer, I., Hamus, H. S., & Javani, N. (2017). *Thermal Management of Electric Vehicle Battery Systems*. United States: John Wiley & Sons Ltd.
- E, M., & Peabody, C. H. (2016). *Steam Boiler*. Manhattan: Wiley.
- Eke, N. M., Egonu, A. O., Njuku, O. H., Onyjekwe, C. D., Ekechukwu, V. O., Omah, D. A., & Offor, O. P. (2019). Reduction Of Environmental Pollution From Steam Power Plant Using Exergy Analysis. *NIEEE Nsuka Chapter Conference*.

- Eke, N. M., Onyejekwe, C. D., Iloeje, C. O., Ezekwe, I. C., & Akpan, U. P. (2018). Energy and Exergy Evaluation of a 220 MW Thermal Power Plant. *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*.
- Elhelw, M., Al Dahma, S. K., & Attia, H. A. (2019). Utilizing exergy analysis in studying the performance of steam power plant at two different operation mode. *Applied Thermal Engineering*.
- El-Wakil, M. (1988). *Powerplant Technology*. New York: McGraw-Hill Book.
- Ginting, H. M., Suryo, T. M., & Rozi, K. (2014). Analisa Efisiensi Exergi Boiler di PLTU Unit 3 PT. Indonesia Power Semarang – Jawa Tengah. *Jurnal Teknik Mesin S-1*.
- Gulhane, J. S., & Thakur, K. A. (2013). Exergy Analysis of Boiler In cogeneration Thermal Power Plant. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, Volume-02, Issue-10, pp-385-392.
- Gurturk, M., & Oztop, Z. H. (2016). Exergy analysis of a circulating fluidized bed boiler cogeneration power plant. *Energy Conversion and Management*.
- Hossain, S., Chowdhury, H., Chowdhury, T., Ahamed, J., Saidur, R., Sait, M. S., & Rosen, A. M. (2020). Energy, exergy and sustainability analyses of Bangladesh's power generation sector. *Energy Reports*.
- Idehai, O. O., M, A. W., & Simeon, O. J. (2013). Methodology for the physical and chemical exergetic analysis of steam boilers. *Energy*, pp. 153-164.
- Idehai, O. O., M, A. W., & Simeon, O. J. (2015). Methodology for Energy and Exergy Analysis of Steam Boilers. *Journal of Energy Technologies and Policy*, Vol.5, No.1.
- Ismawati, A. (2012). Analisis Eksergi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Siklus Biner dengan Regenerative Organic Rankine Cycle (RORC). *Skripsi*.
- Jin, Y., Lu, W., & Jiang, Z. (2020). Study on Exergy Distribution Characteristics of 1110t/h Power Plant Boiler Furnace. *IEEE Xplore*.
- Kotas, T. (1995). *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*. Florida: Krieger.
- Kumar, K., Patel, D., Sehravat, V., & Gupta, T. (2013). Performance and Exergy Analysis of the Boiler. *International Journal of Science and Research (IJSR)*.
- L, P., & K, A. (2014). Use of Energy and Exergy Analysis in Coal Fired Boiler. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, Vol. 5(3): 17 dan 20.
- Li, H. (2017). Exergy analysis on industrial boiler energy conservation and emission evaluation applications. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. doi:10.1088/1757-899X/207/1/012097
- Liu, Z., Zhong, W., Shao, Y., & Liu, X. (2020). Exergy analysis of supercritical CO₂ coal-fired circulating fluidized bed boiler system based on the combustion process. (Elsevier, Ed.) www.elsevier.com/locate/energy.
- Mallick, A. R. (2015). *Practical Boiler Operating Engineering and Power Plant*. New Delhi: PHI Learning Private Limited.

- Martinson, A. C., Schoor, V. G., & Uren, R. K. (2017). Energy and exergy analyses of a subcritical pulverised coal-fired boiler based on the effects of slagging and fouling. *International Federation of Automatic Control*.
- Mitrovic, M. D., Stojanovic, V. B., Janevski, N. J., Ignjatovic, G. M., & Vuckovic, D. G. (2018). Exergy and Exergoeconomic Analysis of a Steam Boiler. *Thermal Science, Vol. 22(5): S1601 dan S1611*.
- Mohammed, K. M., Al Doori, H. W., Jassim, H. A., Ibrahim, K. T., & Al-Sammarraie, T. A. (2019). Energy and Exergy Analysis of the Steam Power Plant Based On Effect the Numbers of Feed Water Heater. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*.
- National Energy Council, Sekretariat General. (2019, September). *Indonesia Energy Outlook 2019*. National Energy Council. Jakarta: National Energy Council. Retrieved from <https://www.den.go.id/index.php/publikasi/documentread?doc=buku-outlook-energi-2019-id.pdf>
- Oruye, Gift, Ideriah, K, J. F., Nikoi, & Barinyima. (2019). Exergy Based Thermodynamic Performance Analysis of Gas Turbine Power Plant in Nigeria. *American Journal of Engineering Research (AJER)*.
- Pal, K. M., Kumar, A., & Chandra, H. (2013). Energy And Exergy Analysis Of Boiler And Turbine Of Coal Fired. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), Vol. 2 Issue 6*.
- Pambudi, A. N., Laurensia, R., Wijayanto, S. D., Perdana, L. V., Fasola, M., Imran, M., . . . Handogo, R. (2017). Exergy Analysis Of Boiler Process Powered By Biogas Fuel in Ethanol Production Plant. *9th International Conference on Applied Energy*. UK.
- Pupo, R. (2011). Adiabatic Flame Temperature for Combustion of Methane. *Undergraduate Journal of Mathematic Modeling, Vol. 3(2): 8*.
- Saidur, R., Ahamed, J. J., & Masjuki, H. H. (2010). Energy, exergy and economic analysis o findustrial boilers. *Energy Policy, Vol. 38(1): 2188-2197*.
- Salehia, S., Yaria, M., & Rosenb, A. M. (2019). Exergoeconomic comparison of solar-assisted absorption heat pumps, solar heaters and gas boiler systems for district heating in Sarein Town, Iran. *Applied Thermal Engineering*.
- Shimpi, D. V., Yadav, M. M., Bhuva, V. B., & Patel, M. S. (2014). A Review: Energy and Exergy Analysis of High Pressure steam Boiler. *International Journal for Scientific Research & Development, Vol. 2, Issue 10*.
- Siddiqui, P. (2021). Energy and exergy analyses of a large capacity supercritical utility boiler system. *Int. J. Exergy, Vol. 34, No. 1*, pp.103–124.
- Suryo U, T. M., Yohana, E., Priyanto, D. S., M, A. I., & Taufiqurrahman. (2019). Energy and Exergy Analysis of Steam Power Plant 3rd Unit PT PLN (PERSERO) Centre Unit Generation Tanjung Jati B Use BFP-T Modification Cycle. *E3S Web of Conferences 125*.
- Terhan, M., & Comakli, K. (2017). Energy and exergy analyses of natural gas-fired boilers in a district heating system. *Applied Thermal Engineering*.

- Tsatsaronis, G. (2007). Definitions and nomenclature in exergy analysis and exergoeconomics. *Energy*, pp. 249–253.
- Ucar, M., & Arslan, O. (2021). Assessment of improvement potential of a condensed combi boiler via advanced exergy analysis. *Thermal Science and Engineering Progress*.
- Utomo, S., & E, S. (2015). Analisa Efisiensi Exergi Boiler Wanson III pada Unit Kilang di Pusat Pendidikan dan Pelatihan Minyak dan Gas Bumi (PUSDIKLAT MIGAS) Cepu. *Jurnal Teknik Mesin, Vol. 3(2): 127-137*.
- Wilcox, B. a. (2012). *Steam, Its Generation and Use*. Australia: Emereo Pty Limited.
- Yazici, M., Bayraktar, S. F., & Kose, R. (2021). Identifying the Improvement Possibilities of A Fluidized Bed Boiler With Exergy Analysis. *Engineering Sciences and Design*.
- Zhang, Q., Yi, H., Yu, Z., Gao, J., Wang, X., & Lin, H. (2018). Energy-Exergy analysis and energy efficiency improvement of coal-fired industrial. *Applied Thermal Engineering*.