



**ANALISIS KINERJA SISTEM PRODUKSI LISTRIK
BERBASIS EFISIENSI DAN DAMPAK LINGKUNGAN
MENGUNAKAN PENDEKATAN *LIFE CYCLE ASSESSMENT***

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

**AZZIRA NAYANI SHAFI
41622010019**

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK/PROGRAM SARJANA
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**ANALISIS KINERJA SISTEM PRODUKSI LISTRIK
BERBASIS EFISIENSI DAN DAMPAK LINGKUNGAN
MENGUNAKAN PENDEKATAN *LIFE CYCLE ASSESSMENT***

**TUGAS AKHIR
SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**
AZZIRA NAYANI SHAFIA
41622010019

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Azzira Nayani Shafa
NIM : 41622010019
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Industri
Judul Laporan Skripsi : Analisis Kinerja Sistem Produksi Listrik Berbasis Efisiensi dan Dampak Lingkungan Menggunakan Pendekatan *Life Cycle Assessment*

Menyatakan bahwa Laporan Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan bukan plagiat, serta semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar. Apabila ternyata ditemukan di dalam Laporan Skripsi saya terdapat unsur plagiat, maka saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Jakarta, 25 Maret 2026

UNIVERSITAS
MERCU BUANA



CAOX17464182
Azzira Nayani Shafa

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Jurnal / Karya Ilmiah / Laporan Tugas Akhir pada BAB I, BAB III, BAB IV, dan BAB V / Praktek Keinsinyuran atas nama:

Nama : **AZZIRA NAYANI SHAFa**
NIM : **41622010019**
Program Studi : **Teknik Industri**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **ANALISIS KINERJA SISTEM PRODUKSI LISTRIK
BERBASIS EFISIENSI DAN DAMPAK
LINGKUNGAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN
LIFE CYCLE ASSESSMENT**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Selasa, 28 Juli 2026** dengan hasil presentase sebesar **23 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 28 Juli 2026

Administrator Turnitin,

Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PENGESAHAN

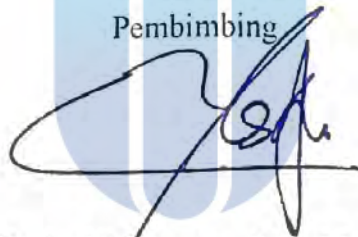
Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Azzira Nayani Shafa
NIM : 41622010019
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Industri
Judul Laporan Skripsi : Analisis Kinerja Sistem Produksi Listrik Berbasis Efisiensi dan Dampak Lingkungan Menggunakan Pendekatan *Life Cycle Assessment*

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 14 Juli 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing



(Dr. Ir. Uly Amrina S.T., M.M.)

NIDN/NUPTK: 0304037906

MERCU BUANA

Jakarta, 14 Juli 2026

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari M.T.)

NIDN/NUPTK: 0307037202

Ketua Program Studi

Teknik Industri



(Ir. Silvi Ariyanti, S.T., M.Sc.)

NIDN/NUPTK: 0130107201

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Bismillahirrahmanirrahim, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M. Eng, selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Ibu Dr. Ir. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana
3. Ibu Ir. Silvi Ariyanti, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri
4. Ibu Dr. Ir. Uly Amrina, S.T., M.M. selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran dan perhatian membimbing penulis hingga sampai pada titik ini. Terima kasih telah percaya, membantu dan selalu mendorong penulis untuk terus berkembang. Setiap saran dan masukan yang diberikan menjadi bekal yang sangat berharga bagi penulis hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat, kesehatan, keberkahan, kebahagiaan, serta membalas segala kebaikan Ibu dengan pahala yang berlipat ganda. Aamiin
5. Terima kasih kepada Bapak Prof. Herry Agung Prabowo, M.Sc., Ph.D. dan Ibu Dr. Defi Norita, S.T., M.T. selaku dosen penguji.
6. Teruntuk kedua orang tua tercinta, ayah dan mama. Dengan ketulusan, kesabaran, dan kasih sayang tak terhitung telah membimbing penulis hingga dapat mencapai bangku perguruan tinggi. Terima kasih atas segala doa yang dipanjatkan, setiap nasihat yang diberikan, dan setiap pengorbanan yang mengiringi langkah penulis hingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih pula atas cintanya yang tidak pernah berkurang dan dukungan

yang tidak pernah berhenti menguatkan penulis sepanjang perjalanan pendidikan ini. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan dengan keberkahan dan kesehatan sepanjang usia. Aamiin.

7. Fathin selaku saudari penulis yang selalu hadir membawa tawa, semangat, dan kebahagiaan di tengah proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih karena selalu mengajak penulis mencoba hal-hal baru, menjadi teman berbagi cerita, serta tanpa sadar membantu menghilangkan rasa jenuh dan penat ketika proses penyusunan skripsi terasa begitu berat.
8. Diri sendiri, terima kasih atas kegigihannya hingga sudah sampai ditahap ini
9. Saudara dan sepupu yang dengan telah memberikan dukungan dan semangat selama proses penyelesaian skripsi ini.
10. Rekan-rekan teknik industri 2022 yang telah kebersamai. Teruntuk 41622-33, 41622-07, terima kasih telah menjadi bagian dari cerita selama masa perkuliahan di tanah rantau, teman berbagi mimpi, yang selalu mengajak mencari angin saat penat, terima kasih untuk setiap obrolan larut malam, dan memori seru lainnya serta kenangan yang akan selalu menjadi bagian berharga dari perjalanan ini. See u in our brightest chapter!!
11. Terima kasih kepada grup "skripsiinii", yang telah menjadi teman seperjuangan penulis sejak SMA hingga proses penyusunan skripsi ini dan menjadi partner skripsian di Kopi Kenangan.
12. Terima kasih kepada grup "ANR", yaitu Novi dan Ratih, yang telah menjadi sahabat penulis selama 11 tahun hingga saat ini. Terima kasih atas persahabatan yang tulus, doa, dukungan, serta kebersamaan yang senantiasa diberikan kepada penulis termasuk selama penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Laporan Skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu

Jakarta, 15 Mei 2026

Azzira Nayani Shafa

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

Sebagai sivitas akademik Universitas Mercu Buana, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

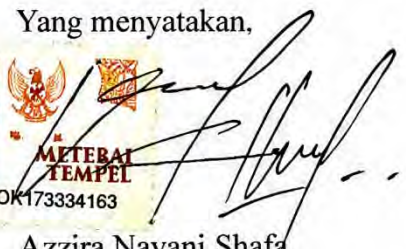
Nama : Azzira Nayani Shafa
NIM : 41622010019
Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Industri
Judul Laporan Skripsi : Analisis Kinerja Sistem Produksi Listrik Berbasis Efisiensi dan Dampak Lingkungan Menggunakan Pendekatan *Life Cycle Assessment*

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini memberikan izin dan menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Mercu Buana Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul di atas beserta perangkat yang ada (jika diperlukan).

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Mercu Buana berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 25 Maret 2026

Yang menyatakan,




Azzira Nayani Shafa

**ANALISIS KINERJA SISTEM PRODUKSI LISTRIK
BERBASIS EFISIENSI DAN DAMPAK LINGKUNGAN
MENGUNAKAN PENDEKATAN *LIFE CYCLE ASSESSMENT***

AZZIRA NAYANI SHAFa

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan industri dan penduduk, sementara produksi listrik nasional masih banyak ditopang oleh PLTU berbahan bakar batu bara kalori rendah (3.920–4.200 kcal/kg) yang memerlukan jumlah bahan bakar lebih besar untuk menghasilkan output listrik yang sama. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja sistem produksi listrik dari aspek efisiensi energi dan dampak lingkungan menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan batas sistem *gate-to-gate* dari *coal bunker* hingga generator, mengidentifikasi *critical process* (*hotspot*), serta merumuskan alternatif perbaikan untuk mendukung keberlanjutan operasional. Penelitian bersifat kuantitatif deskriptif menggunakan data sekunder operasional perusahaan periode Januari–Desember 2025, dengan perhitungan efisiensi energi melalui *Net Energy Ratio* (NER) dan *Net Energy Value* (NEV), serta analisis dampak lingkungan menggunakan metode ReCiPe 2016 *Midpoint* pada *software* OpenLCA yang dilengkapi *contribution analysis* dan diagram pareto. Hasil penelitian menunjukkan nilai NER sebesar 0.33 dan NEV sebesar –26,678.68 *Terajoule*, yang mengindikasikan defisit energi. Dari 18 kategori dampak LCIA, *Global Warming* menjadi dampak tertinggi (3,72196 kg CO₂ eq), diikuti *Fossil Resource Scarcity* (1,62881 kg oil eq). Boiler teridentifikasi sebagai *hotspot* utama dengan kontribusi 44.92%, sedangkan boiler bersama turbin-generator menyumbang 83.17% dampak total. Simulasi *co-firing* biomassa 10%–30% mampu menurunkan emisi *Global Warming* hingga 3,22036 kg CO₂ eq pada skenario 30%. Disimpulkan sistem produksi listrik memiliki efisiensi energi rendah dengan boiler sebagai prioritas utama perbaikan melalui *co-firing* biomassa.

Kata Kunci : *Life Cycle Assessment*, efisiensi energi, dampak lingkungan, PLTU batu bara, *co-firing* biomassa

ANALYSIS OF ELECTRICITY PRODUCTION SYSTEM PERFORMANCE BASED ON EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL IMPACT USING A LIFE CYCLE ASSESSMENT APPROACH

AZZIRA NAYANI SHAFa

ABSTRACT

Electricity demand in Indonesia continues to rise in line with industrial and population growth, while national electricity production still heavily relies on coal-fired power plants (PLTU) using low-calorie coal (3,920–4,200 kcal/kg), which characteristically requires a larger amount of fuel to produce the same electricity output. This study aims to analyze the performance of the electricity production system in terms of energy efficiency and environmental impact using a Life Cycle Assessment (LCA) approach with a gate-to-gate system boundary from the coal bunker to the generator, to identify critical processes (hotspots), and to formulate improvement alternatives that can support the sustainability of operations. This is a quantitative descriptive study using secondary operational data from the company for the period January–December 2025, with energy efficiency calculated using the Net Energy Ratio (NER) and Net Energy Value (NEV), and environmental impact analyzed using the ReCiPe 2016 Midpoint method in OpenLCA software, supported by contribution analysis and Pareto diagrams. The results show an NER value of 0.33 and an NEV of –26,678.68 Terajoule, indicating an energy deficit since energy output is smaller than energy input. Among the 18 LCIA impact categories, Global Warming was the highest impact (3.72196 kg CO₂ eq), followed by Fossil Resource Scarcity (1.62881 kg oil eq). The boiler was identified as the main hotspot, contributing 44.92%, directly, while the boiler and turbine-generator together accounted for 83.17% of the total environmental impact. Biomass co-firing simulations at 10%, 20%, and 30% were able to reduce Global Warming emissions to as low as 3.22036 kg CO₂ eq under the 30% scenario. It is concluded that the electricity production system has low energy efficiency, with the boiler as the top priority for improvement through the implementation of biomass co-firing to reduce environmental impact.

Keywords: Life Cycle Assessment, energy efficiency, environmental impact, coal-fired power plant, biomass co-firing

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	0
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KARYA SENDIRI.....	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSTUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Konsep dan Teori.....	6
2.1.1. Sistem Produksi Listrik.....	6
2.1.1 Efisiensi Sistem Produksi.....	15
2.1.2 Dampak Lingkungan Sistem Produksi Listrik.....	17
2.1.3 <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA).....	21
2.1.4 Diagram Pareto.....	29
2.2 Penelitian Terdahulu.....	30
2.2.1 Kajian Penelitian Terdahulu.....	30
2.2.2 <i>State of The Art</i> (SOTA).....	35

2.3 Kerangka Pemikiran.....	39
BAB III METODE PENELITIAN.....	41
3.1 Jenis Penelitian.....	41
3.2 Jenis Data dan Informasi.....	41
3.3 Metode dan Pengumpulan Data.....	43
3.5 Metode Pengolahan dan Analisis Data.....	45
3.5.1 Perhitungan Efisiensi Energi.....	45
3.5.2 Pengolahan Data dengan <i>Life Cycle Impact Assessment</i> (LCIA).....	46
3.5.3 Diagram Pareto	47
3.5.4 <i>Contribution Analysis / Hotspot</i>	47
3.5.5 Analisis Interpretasi	47
3.6 Langkah-langkah Penelitian	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1 Pengumpulan Data	49
4.1.1 <i>Input-Output Sistem</i>	49
4.2 Pengolahan Data.....	54
4.2.1 Perhitungan Efisiensi Sistem.....	54
4.2.2 <i>Life Cycle Inventory</i>	56
4.3 Hasil.....	60
4.3.1 <i>Life Cycle Impact Assessment</i>	60
4.3.2 <i>Contribution Analysis/Hotspot</i>	63
4.3.3 Diagram Pareto.....	64
4.4 Pembahasan	65
4.4.1 Interpretasi ilmiah	65
4.4.2 Faktor yang Mempengaruhi Hasil Penelitian	67
4.4.3 Usulan Perbaikan	67
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Kapasitas Jenis Energi Tahun 2013-2022 pada listrik.....	1
Gambar 2. 1 Siklus Rankine.....	6
Gambar 2. 2 Proses perubahan energi di PLTU.....	8
Gambar 2. 3 Coal Bunker.....	9
Gambar 2. 4 Coal Mill.....	10
Gambar 2. 5 Boiler.....	11
Gambar 2. 6 Turbin Uap PLTU.....	12
Gambar 2. 7 Generator.....	13
Gambar 2. 8 Emisi CO ₂ per sektor 2013-2022	19
Gambar 2. 9 Bagan Alir Tahapan LCA.....	23
Gambar 2. 10 Kategori Dampak Metode ReCiPe2016.....	25
Gambar 2. 11 Kerangka Pemikiran.....	39
Gambar 3. 1 Langkah-langkah penelitian.....	48
Gambar 4. 1 Aliran massa <i>coal bunker</i>	55
Gambar 4. 2 Aliran massa <i>coal mill</i>	56
Gambar 4. 3 Aliran massa boiler.....	57
Gambar 4. 4 Aliran massa turbin dan generator.....	58
Gambar 4. 5 Diagram Sankey.....	62
Gambar 4. 6 Diagram Pareto.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Aliran <i>input-output</i>	14
Tabel 2. 2 Hubungan Jenis Emisi dan Dampak Lingkungan.....	21
Tabel 2. 3 Penelitian Terdahulu.....	31
Tabel 2. 4 <i>State of The Art</i> (SOTA).....	35
Tabel 3. 1 Data yang diperlukan.....	41
Tabel 3. 2 Variabel penelitian.....	42
Tabel 4. 1 Karakteristik batu bara yang digunakan.....	49
Tabel 4. 2 Data Konsumsi batu bara pada proses produksi listrik.....	50
Tabel 4. 3 Data beban emisi pada Proses Produksi Listrik.....	51
Tabel 4. 4 Total emisi tahunan.....	53
Tabel 4. 5 Data Perhitungan Efisiensi Energi.....	53
Tabel 4. 6 Hasil Analisis Efisiensi Energi Berdasarkan NER dan NEV.....	54
Tabel 4. 7 Data inventori <i>input output</i> kegiatan coal bunker tahun 2025.....	55
Tabel 4. 8 Data inventori <i>input output</i> kegiatan coal mill tahun 2025.....	56
Tabel 4. 9 Data inventori <i>input output</i> kegiatan boiler tahun 2025.....	57
Tabel 4. 10 Data inventori <i>input output</i> turbin dan generator tahun 2025.....	58
Tabel 4. 11 Hasil Karakterisasi Dampak Lingkungan	60
Tabel 4. 12 Perbaikan penurunan emisi dengan metode <i>co-firing</i> pada boiler.....	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Karakteristik Batubara yang Digunakan sebagai Bahan Bakar.....	78
Lampiran 2 Data Konsumsi Batubara dan Energi Bahan Bakar.....	79
Lampiran 3 Data Beban Emisi per Bulan (Januari–Desember 2025).....	79
Lampiran 4 Data Inventori Input-Output Coal Bunker per Bulan Tahun 2025.....	80
Lampiran 5 Data Inventori Input-Output Coal Mill per Bulan Tahun 2025.....	81
Lampiran 6 Data Inventori Input Boiler per Bulan Tahun 2025.....	81
Lampiran 7 Data Beban Emisi Output Boiler per Bulan Tahun 2025.....	82
Lampiran 8 Data Output Lain Boiler per Bulan Tahun 2025.....	82
Lampiran 9 Data Inventori Turbin dan Generator per Bulan Tahun 2025.....	82
Lampiran 10 Form Persetujuan Revisi Sidang Skripsi 1	83
Lampiran 11 Form Persetujuan Revisi Sidang Skripsi 2.....	84
Lampiran 12 Form Persetujuan Revisi Sidang Skripsi 3.....	85

