

**ANALISIS KINERJA OPERASIONAL DAN DAMPAK
LINGKUNGAN SISTEM *CO-FIRING* PADA
INDUSTRI KERTAS PT. FAJAR SURYA WISESA
CIBITUNG BEKASI**

TESIS

Diajukan untuk memenuhi persyaratan akademik guna memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.)
pada Program Studi Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia.

Oleh

YARNIS HARUN

2305190015



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
JAKARTA
2026**



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yarnis Harun

NIM : 2305190015

Progran Study : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Program Pascasarjana

Dengan ini menyatakan bahwa Tesis yang berjudul **“Analisis Kinerja Operasional dan Dampak Lingkungan Sistem Co-Firing pada Industri Kertas PT. Fajar Surya Wisesa Cibitung Bekasi”** adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku-buku dan jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada Tesis saya.
2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana/magister di universitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
3. Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada tugas.

Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka Tesis ini dianggap batal.

Jakarta, 30 April 2026



Yarnis Harun



PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING TESIS

“ANALISIS KINERJA OPERASIONAL DAN DAMPAK LINGKUNGAN SISTEM CO-FIRING PADA INDUSTRI KERTAS PT. FAJAR SURYA WISESA CIBITUNG BEKASI”

Oleh:

Nama : Yarnis Harun

NIM : 2305190015

Program Study : Magister Teknik Elektro

Peminatan : Energi Terbarukan

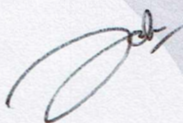
telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Sidang Tesis, guna mencapai gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia.

Jakarta, 30 April 2026

Menyetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ichsan, ST, BSc.h, M.Sc

NIDN:


Dr. Rismen Sinambela, S.T., M.T., IPM.

NIDN:0137116903

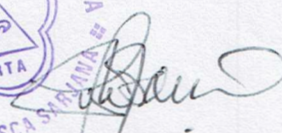
Ketua Program Studi,

Direktur

Magister Teknik Elektro

Pascasarjana UKI




Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., PhD.

NIP/NIDN: 191633/32704625




Prof. Dr. dr. Bernadetha Nadeak, M.Pd., P.A.

NIP/NIDN: 001473/0320116402



PERSETUJUAN TIM PENGUJI TESIS

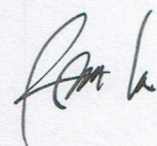
Pada 9 Mei 2026 telah diselenggarakan Sidang Tesis untuk memenuhi Sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, atas nama:

Nama : Yarnis Harun
NIM : 2305190015
Progran Study : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Program Pascasarjana

Termasuk ujian Tesis yang berjudul

“ANALISIS KINERJA OPERASIONAL DAN DAMPAK LINGKUNGAN SISTEM CO-FIRING PADA INDUSTRI KERTAS PT. FAJAR SURYA WISESA CIBITUNG BEKASI”,

Oleh tim penguji yang terdiri dari :

Nama Penguji	Jabatan dalam Tim Penguji	Tanda Tangan
1 Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., PhD.	Sebagai Ketua	
2 Dr. Ichsan, ST, BSc (Hons), Msc,	Sebagai Anggota	
3 Dr. Rismen Sinambela, S.T., M.T., IPM.	Sebagai Anggota	

Jakarta, 30 April 2026



Yarnis Harun



PERNYATAAN & PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS

Saya bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yarnis Harun
NIM : 2305190015
Fakultas : Program Pascasarjana
Progran Study : Magister Teknik Elektro
Jenis Tugas Akhir : Tesis

Judul :

“ANALISIS KINERJA OPERASIONAL DAN DAMPAK LINGKUNGAN SISTEM CO-FIRING PADA INDUSTRI KERTAS PT. FAJAR SURYA WISESA CIBITUNG BEKASI”

Menyatakan bahwa:

1. Tesis tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun;
2. Tesis tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya pihak lain, dan apabila saya/kami mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku;
3. Saya memberikan Hak Noneksklusif Tanpa Royalti kepada Universitas Kristen Indonesia yang berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilih hak cipta.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundangan-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum dan sanksi akademis yang timbul serta membebaskan Universitas Kristen Indonesia darisegala tuntutan hukum yang berlaku.

Dibuat di Jakarta,
Pada Tanggal 30 April 2026

Yang Menyatakan,



Yarnis Harun

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul **“Analisis Kinerja Operasional dan Dampak Lingkungan Sistem *Co-Firing* pada Industri Kertas PT. Fajar Surya Wisesa Cibitung Bekasi”**.

Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar akademik pada program studi yang penulis tempuh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja operasional dan dampak lingkungan sistem *Co-firing* pada industri kertas PT. Fajar Surya Wisesa Bekasi dengan *Co-Firing* Batubara dengan Sampah Plastik & Biomasa

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

- **Dr. Ichsan, ST, BSc (Hons), Msc**, selaku dosen, Pembimbing I dan penguji, atas bimbingan teknis, masukan konseptual, serta diskusi akademik yang konstruktif selama proses penyusunan dan pengujian tesis.
- **Dr. Rismen Sinambela, S.T., M.T., IPM** selaku dosen, Pembimbing II dan penguji, atas bimbingan teknis, masukan konseptual, serta diskusi akademik yang konstruktif selama proses penyusunan dan pengujian tesis.
- **Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., PhD** selaku dosen pengampu perkuliahan, Pembimbing I, penguji, serta selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia, atas bimbingan, arahan, dukungan akademik, serta kontribusi yang sangat berarti sejak proses perkuliahan, pelaksanaan penelitian, hingga penyelesaian tesis ini.
- Pimpinan Universitas Kristen Indonesia, pimpinan fakultas, serta jajaran pengelola Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia, atas dukungan kelembagaan, fasilitas akademik, dan lingkungan pembelajaran yang kondusif selama penulis menempuh pendidikan dan menyelesaikan tesis ini.
- Keluarga, **istri** dan **anak-anak tercinta** atas doa, kesabaran, pengertian, serta dukungan moral yang senantiasa diberikan selama proses studi dan penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan penelitian selanjutnya. Semoga tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya pada sistem energi terbarukan berbasis tenaga surya.

Jakarta, 30 April 2026

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING	ii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI.....	iii
PERNYATAAN PUBLIKASI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
ABSTRAK	xii
ABSTRACT.....	xiii
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	 7
2.1 Industri Kertas	7
2.2 Pemanfaatan Energi	7
2.2.1 Definisi Energi	8
2.2.2 Hukum Termodinamika	8
2.3 Efisiensi Energi	9
2.3.1 Definisi Efisiensi Energi	9
2.3.2 Pentingnya Efisiensi Energi	11
2.3.3 Faktor Pengaruh Efisiensi Energi.....	11
2.3.4 Contoh Penerapan Efisiensi Energi.....	12
2.4 Pembakaran	14
2.4.1 Proses Pembakaran.....	14
2.4.2 Proses Konversi Energi.....	16

2.5	Sumber Energi.....	17
2.5.1	Batubara	17
2.5.1.1	Jenis-Jenis Batubara	19
2.5.1.2	Sumber Batubara	20
2.5.2	Sampah Plastik	21
2.5.2.1	Karakteristik Sampah Plastik	22
2.5.2.2	Sumber Sampah Plastik.....	24
2.5.3	Biomasa.....	25
2.5.3.1	Karakteristik Biomasa.....	26
2.5.3.2	Sumber Biomasa	27
2.6	Penelitian Terdahulu	28
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	33
3.1	Jenis dan Pendekatan Penelitian.....	33
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian	33
3.3	Sumber Data Penelitian.....	34
3.4	Variabel Penelitian.....	35
3.5	Prosedur Penelitian.....	36
3.6	Teknik Analisis Data.....	37
3.7	Keabsahan Data.....	38
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1	Gambaran Umum Sistem Energi di PT Fajar Surya Wisesa.....	40
4.2	Ringkasan Data Awal.....	41
4.3	Hasil Energi Batubara Murni	43
4.3.1	Analisis Sistem Energi Batubara Murni.....	47
4.3.2	Perhitungan Efisiensi Energi.....	47
4.3.3	Dampak Lingkungan dan Karakteristik Operasional	48
4.4	Hasil Efisiensi Energi Batubara Campuran.....	51
4.4.1	Analisis Efisiensi Energi Sistem Campuran	55
4.4.2	Pengaruh Campuran terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Energi	56
4.4.3	Dampak Lingkungan dan Kualitas Emisi	56
4.5	Perbandingan Efisiensi Energi dan Emisi	57

4.6	Hubungan antara Konsumsi Energi dan Biaya Operasional	62
4.7	Implikasi Keberlanjutan Energi di PT Fajar Surya Wisesa	64
BAB 5	KESIMPULAN & SARAN	66
5.1	Kesimpulan	66
5.2	Saran.....	68
DAFTAR PUSTAKA		70
DAFTAR LAMPIRAN		77
Lampiran 1 – Rumus Dasar		77
Lampiran 2 - Basic Engineering Design Boiler		78
Lampiran 3 - Steam & Turbine System		80
Lampiran 4 – Tren Harian Konsumsi Daya (Mwh), Produksi Steam (Ton), dan Produksi Kertas (Ton) di PT Fajar Surya Wisesa.....		81



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3-1 Alur Penelitian	36
Gambar 4-1 Gardu Induk <i>Interconnection</i> untuk Backup Power	40
Gambar 4-2 Unit <i>Steam Turbine Generator</i>	42
Gambar 4-3 <i>Boiler</i> tipe CFB sebagai sistem utama pembakaran batubara murni .	43
Gambar 4-4 Ruang Kontrol DCS untuk Monitoring Operasional <i>Boiler</i> dan Sistem Pembakaran	44
Gambar 4-5 Ruang DCS <i>Boiler Incinerator</i>	44
Gambar 4-6 Distribusi Sumber Daya Listrik pada Sistem Batubara.....	46
Gambar 4-7 Tren Bulanan Konsumsi Daya, Produksi <i>Steam</i> , dan Produksi Kertas di PT Fajar Surya Wisesa	50
Gambar 4-8 Stok Sampah Plastik yang Belum Dipisah dari Material Logam	52
Gambar 4-9 Bahan Plastik Keluar dari Proses Pencacahan Setelah Metal Disortir	52
Gambar 4-10 Bahan Bakar Plastik Siap Digunakan Setelah Proses Pencacahan ..	53
Gambar 4-11 Sistem Pencampuran Bahan Bakar (Batubara, Plastik, dan Biomasa) Sebelum Masuk ke Ruang Bakar <i>Boiler</i>	53
Gambar 4-12 Pipa Penyaluran Biogas dari Reaktor Pengolahan Limbah Menuju Ruang Bakar <i>Boiler</i>	54
Gambar 4-13 Perbandingan Kinerja Energi & Emisi	58
Gambar 4-14 Perbandingan Indikator Kinerja Batubara Murni dengan Campuran	59
Gambar 4-15 Material dari 2 Jenis Bahan Bakar yang Sudah Dicampur	61

Gambar 4-16 Area Plant <i>Boiler</i> Incinerator dengan Bahan Bakar Plastik Murni..	62
Gambar 4-17 Hubungan antara Biaya Energi, Konsumsi Listrik, dan <i>Steam</i>	63
Gambar 4-18 Sistem monitoring DCS untuk pengawasan proses pembakaran dan efisiensi energi	65



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Batubara.....	19
Tabel 2.2 Karakteristik Sampah	23
Tabel 2.3 Karakteristik Biomasa.....	26
Tabel 4.1 Rekapitulasi Data Energi	41
Tabel 4.2 Rekapitulasi Konsumsi Energi.....	45
Tabel 4.3 Tren Harian Konsumsi Daya (Mwh), Produksi Steam (Ton), dan Produksi Kertas (Ton) di PT Fajar Surya Wisesa	49
Tabel 4.4 Tren Rerata Bulanan Daya (Mwh), Produksi Steam (Ton) dan Produksi Kertas (Ton) di PT Fajar Surya Wisesa	50
Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengamatan Konsumsi Energi di Base 1 dan Base 2	54
Tabel 4.6 Perbandingan Batubara Murni dengan Batubara Campuran	58

ABSTRAK

Nama : Yarnis Harun
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Judul : Analisis Kinerja Operasional dan Dampak Lingkungan Sistem *Co-Firing* pada Industri Kertas PT. Fajar Surya Wisesa Cibitung Bekasi

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi pada sistem pembangkitan listrik dan uap melalui penerapan metode co-firing antara batubara, biomasa, dan sampah plastik di industri kertas. Sistem energi yang dikaji meliputi boiler tipe Circulating Fluidized Bed (CFB) dan sistem steam yang berperan dalam produksi listrik serta pemenuhan kebutuhan proses. Metode penelitian dilakukan dengan membandingkan kinerja energi antara penggunaan batubara murni dan skenario co-firing berdasarkan parameter konsumsi energi spesifik, rasio steam, serta efisiensi sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan co-firing mampu meningkatkan Kinerja operasional dan dampak lingkungan dengan sistem co-firing pada Industri Kertas PT. Fajar Surya Wisesa Bekasi, sistem, yang ditunjukkan dengan penurunan konsumsi energi spesifik dan rasio steam dari 1,92 ton/ton menjadi 1,80 ton/ton produk. Selain itu, penggunaan bahan bakar campuran memberikan potensi pengurangan emisi serta meningkatkan fleksibilitas operasional boiler. Analisis ini didukung oleh pendekatan Basic Engineering Design (BED) untuk menggambarkan konfigurasi sistem boiler dan steam yang digunakan dalam penelitian. Kesimpulannya, penerapan co-firing pada sistem pembangkit industri tidak hanya meningkatkan kinerja operasional, tetapi juga memberikan manfaat lingkungan yang signifikan.

Kata Kunci:

co-firing, efisiensi energi, boiler CFB, steam system, biomasa, sampah plastik, industri kertas

ABSTRACT

Name : Yarnis Harun
Study Program : Magister Teknik Elektro
Title : Energy Efficiency Analysis of Coal Co-Firing with Plastic Waste and Biomass for Electricity Generation at the Paper Mill of PT Fajar Surya Wisesa, Cibitung, Bekasi

This study aims to analyze energy efficiency in power and steam generation systems through the implementation of co-firing using coal, biomass, and plastic waste in a paper industry. The energy system under study includes a Circulating Fluidized Bed (CFB) boiler and a steam system that supports both electricity generation and process steam demand. The research method involves comparing system performance between conventional coal combustion and co-firing scenarios based on specific energy consumption, steam ratio, and overall efficiency. The results indicate that co-firing improves system energy efficiency, as shown by the reduction in specific energy consumption and steam ratio from 1.92 ton/ton to 1.80 ton/ton of product. In addition, the use of mixed fuels provides potential emission reduction and enhances boiler operational flexibility. This analysis is supported by a Basic Engineering Design (BED) approach to represent the boiler and steam system configuration used in the study. In conclusion, the implementation of co-firing in industrial power generation systems not only improves energy efficiency but also offers significant environmental and operational benefits.

Keywords:

co-firing, energy efficiency, CFB boiler, steam system, biomass, plastic waste, paper industry.