



**ANALISIS PENGARUH PENURUNAN TEKANAN *OUTLET*
SAF TERHADAP *FLOW STEAM*, *TEMPERATURE AIR*
ECONOMIZER, DAN EFISIENSI BOILER CFB
BERKAPASITAS 240 TON/JAM**

TESIS

UNIVERSITAS
FAIZAL
55823120007
MERCU BUANA

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**



**ANALISIS PENGARUH PENURUNAN TEKANAN *OUTLET*
SAF TERHADAP *FLOW STEAM*, *TEMPERATURE AIR*
ECONOMIZER, DAN EFISIENSI BOILER CFB
BERKAPASITAS 240 TON/JAM**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Magister

UNIVERSITAS
MERCU BUANA
FAIZAL

55823120007

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2026**

HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Faizal

NIM : 55823120007

Fakultas/Program Studi : Teknik/Magister Teknik Mesin

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tesis berjudul:

“ Analisis Pengaruh Penurunan Tekanan Outlet SAF Terhadap Flow steam, Temperature Air Economizer, Dan Efisiensi Boiler CFB Berkapasitas 240 Ton/Jam ” adalah hasil karya saya sendiri, tidak mengandung unsur plagiarisme, pelanggaran hak cipta, atau konten ilegal dalam bentuk apapun dan tidak melanggar hukum atau hak pihak manapun.

Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menanggung seluruh konsekuensi hukum dan membebaskan Universitas Mercu Buana dari segala bentuk tuntutan hukum dan saya siap mendapatkan sanksi akademis yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 27 Februari 2026



Faizal

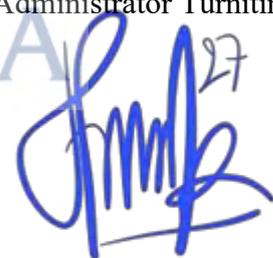
SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

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

Nama : **Faizal**
NIM : **55823120007**
Program Studi : **Magister Teknik Mesin**
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : **Analisis Pengaruh Penurunan Tekanan Outlet SAF Terhadap Flow steam, Temperature Air Economizer, dan Efisiensi Boiler CFB Berkapasitas 240 Ton/Jam**

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Rabu, 25 Februari 2026** dengan hasil presentase sebesar **15 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 25 Februari 2026
Administrator Turnitin,
MERCU BUANA



Itmam Haidi Syarif

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Faizal
NIM : 55823120007
Fakultas/Program Studi : Teknik/Magister Teknik Mesin
Judul Tesis : Analisis Pengaruh Penurunan Tekanan *Outlet*
SAF Terhadap *Flow steam*, *Temperature Air*
Economizer, dan Efisiensi Boiler CFB
Berkapasitas 240 Ton/Jam

Telah berhasil dipertahankan pada sidang tanggal 26 Januari 2026 di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister pada Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:
Pembimbing



(Dr. Nanang Ruchyat, S.T., M.T.)
NIDN 0323027301

MERCU BUANA

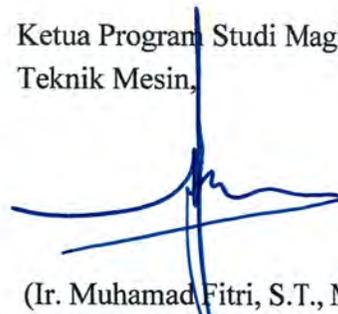
Jakarta, 27 Februari 2026
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT)
NIDN 0307037202

Ketua Program Studi Magister
Teknik Mesin,



(Ir. Muhamad Fitri, S.T., M.Si., Ph.D.)
NIDN 1013126901

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Magister Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Andi Adriansyah, M.Eng selaku Rektor Universitas Mercu Buana
2. Ibu Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, MT selaku Dekan Fakultas Teknik
3. Bapak Ir. Muhamad Fitri, S.T., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin
4. Bapak Dr. Nanang Ruhyat, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Tesis ini;
5. Pimpinan Divisi dan Departemen yang memberikan izin untuk melakukan penelitian serta teman grup 3 operasional turbin yang mengerti dengan kondisi saya yang sedang melanjutkan pendidikan S2.

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

Jakarta, 27 Februari 2026



Faizal

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB

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

Nama : Faizal
NIM : 55823120007
Fakultas/Program Studi : Teknik/Magister Teknik Mesin
Judul Tesis : Analisis Pengaruh Penurunan Tekanan *Outlet* SAF Terhadap *Flow steam*, *Temperature Air Economizer*, dan Efisiensi Boiler CFB Berkapasitas 240 Ton/Jam

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 Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 27 Februari 2026

Yang menyatakan,



Faizal

**ANALISIS PENGARUH PENURUNAN TEKANAN *OUTLET* SAF
TERHADAP *FLOW STEAM*, *TEMPERATURE* AIR *ECONOMIZER*, DAN
EFISIENSI BOILER CFB BERKAPASITAS 240 TON/JAM**

FAIZAL

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik semakin lama semakin meningkat, yang mana semakin banyaknya perusahaan industri yang membangun pabrik beserta pembangkit listrik sendiri, seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang memiliki komponen utama seperti boiler yang berfungsi menghasilkan uap untuk menggerakkan turbin dan generator sehingga menghasilkan listrik. Kestabilan performa boiler menjadi perhatian khusus agar efisiensi boiler dapat dipertahankan dalam kondisi baik. Namun di PT X pada Boiler Unit 5 mengalami penurunan performa yang mana rendahnya tekanan outlet udara dari *Secondary Air Fan* (SAF) menyebabkan dari boiler unit 5 tidak mampu mencapai *flow steam* maksimal dan tekanan pembakaran yang tinggi. Berdasarkan hasil evaluasi kinerja SAF, Boiler unit 5 hanya menghasilkan tekanan outlet udara pembakaran sebesar 3,4 kPa pada kecepatan SAF 1408 rpm dengan presentase penurunan performa 68,7 %, dibandingkan SAF unit 2 hanya dengan kecepatan 1004 rpm bisa menghasilkan tekanan outlet 2,9 kPa dengan persentase penurunan performa 47,47%, sedangkan SAF unit 3 dengan kecepatan putaran yang sama dengan SAF unit 2 pada 1004 rpm bisa menghasilkan tekanan outlet 3,8 kPa dengan presentase penurunan performa 31,17 % yang menandakan SAF unit 3 memiliki performa terbaik dari unit lain. Perbedaan ini mengindikasikan terjadinya kebocoran pada pipa air pre-heater (APH) unit 5 yang menyebabkan penurunan suplai udara pembakaran ke ruang bakar sehingga berdampak langsung terhadap penurunan tekanan pembakaran dan keterbatasan peningkatan *flow steam* yang menyebabkan turunnya temperature air *economizer* dan efisiensi boiler. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa integritas pipa air pre-heater berperan penting dalam menjaga tekanan pembakaran, peningkatan *flow steam*, temperatur air *economizer*, dan efisiensi boiler secara keseluruhan. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan pemasangan indikator analisis kebocoran pipa air pre-heater yang terintegrasi dengan Distributed Control System (DCS), berupa pemantauan hubungan antara kecepatan SAF dan tekanan outlet udara pembakaran serta penurunan kemampuan penyerapan panas pada APH, guna mendukung deteksi dini kebocoran dan meningkatkan keandalan operasi boiler.

Kata kunci : Boiler, *Outlet* SAF, Efisiensi, Pemantauan DCS, *Economizer*

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF SAF OUTLET PRESSURE
REDUCTION ON STEAM FLOW, ECONOMIZER WATER
TEMPERATURE, AND THE EFFICIENCY OF A 240 TON/HOUR CFB
BOILER**

FAIZAL

ABSTRACT

The demand for electrical energy continues to increase, with more and more industrial companies building their own factories and power plants, such as steam power plants (PLTU) which have main components such as boilers that function to produce steam to drive turbines and generators to produce electricity. The stability of boiler performance is a particular concern so that boiler efficiency can be maintained in good condition. However, at PT X, Boiler Unit 5 experienced a decline in performance, where the low outlet pressure of the Secondary Air Fan (SAF) caused boiler unit 5 to be unable to achieve maximum steam flow and high combustion pressure. Based on the results of the SAF performance evaluation, Boiler Unit 5 only produced a combustion air outlet pressure of 3.4 kPa at an SAF speed of 1408 rpm with a performance decline of 68.7%, compared to SAF Unit 2, which at a speed of only 1004 rpm could produce an outlet pressure of 2.9 kPa with a performance decline of 47.47%. while SAF unit 3, with the same rotation speed as SAF unit 2 at 1004 rpm, can produce an outlet pressure of 3.8 kPa with a performance reduction percentage of 31.17%, indicating that SAF unit 3 has the best performance among the other units. This difference indicates a leak in the pre-heater water pipe (APH) of unit 5, which causes a decrease in the supply of combustion air to the combustion chamber, thus directly impacting the decrease in combustion pressure and limiting the increase in steam flow, which causes a decrease in the *economizer* water temperature and boiler efficiency. Based on these results, it can be concluded that the integrity of the pre-heater water pipe plays an important role in maintaining combustion pressure, increasing steam flow, *economizer* water temperature, and overall boiler efficiency. Therefore, this study recommends the installation of a pre-heater water pipe leak analysis indicator integrated with the Distributed Control System (DCS), in the form of monitoring the relationship between SAF speed and combustion air outlet pressure as well as the decrease in heat absorption capacity in the APH, to support early leak detection and improve boiler operation reliability.

Keywords: Boiler, SAF Outlet, Efficiency, DCS Monitoring, *Economizer*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	0
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENYATAAN KARYA SENDIRI	ii
HALAMAN SURAT KETERANGAN HASIL UJI TURNITIN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR DI REPOSITORI UMB	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Asumsi dan Pembatasan Penelitian	7
BAB II LANDASAN TEORI	9
2.1 Prinsip kerja PLTU	9
2.2 Batu Bara Lignit	10
2.3 Boiler	11
2.4 <i>Economizer</i>	13
2.5 Perhitungan efisiensi	14
2.6 Perhitungan konsumsi bahan bakar tanpa <i>economizer</i>	15
2.7 <i>Secondary Air Fan</i> (SAF).....	16
2.8 <i>Air pre-heater</i> (APH).....	18
2.9 Penelitian Terdahulu	21
2.10 Novelty (Kebaharuan Penelitian)	28

2.11	Skema boiler CFB di PT X.....	30
2.12	Gambaran Umum Sistem Boiler Unit 5	31
BAB III METODE PENELITIAN		32
3.1	Pendekatan dan Jenis penelitian	32
3.2	Populasi dan Sampel	32
3.3	Teknik Pengumpulan Data	32
3.4	Teknik Validasi Data.....	33
3.5	Teknik Analisis Data.....	35
3.6	Langkah-Langkah Penelitian.....	36
3.7	Metode Pencegahan Kebocoran dan Korosi pada Pipa Udara <i>Air pre-heater</i>	38
3.8	Metode Penanganan Kebocoran pada Pipa Udara <i>Air pre-heater</i> saat boiler stop.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		46
4.1	Analisis Perbandingan Kinerja <i>Secondary Air Fan</i> (SAF) Boiler Unit 5 terhadap Peningkatan Oksigen Pembakaran	46
4.2	Perbandingan kinerja boiler dalam peningkatan <i>flow steam</i> dan tekanan pembakaran	54
4.3	Regresi Linier Pengaruh Tekanan Outlet SAF terhadap <i>Flow steam</i>	59
4.4	Dampak perubahan variasi <i>flow steam</i> terhadap efisiensi boiler.....	65
4.5	Perbandingan perubahan temperatur air umpan sebelum dan sesudah melewati <i>economizer</i> terhadap efisiensi boiler	67
4.6	Hasil Pengujian Kebocoran Setelah Dilakukan Pengelasan Pada Pipa Udara <i>Air Pre-Heater</i>	72
4.7	Inovasi pemasangan pemantauan secara real time pada DCS terhadap performa <i>air pre-heater</i>	76
BAB V PENUTUP.....		79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....		83
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Teknis <i>Secondary Air Fan</i> (SAF) Tipe SFG17D-C5A	17
Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu.....	21
Tabel 3.1 indikator penanganan kebocoran pipa udara <i>air pre-heater</i>	44
Tabel 4.1 Perbandingan pengaruh kinerja SAF dalam meningkatkan oksigen pembakaran.....	47
Tabel 4.2 Perbandingan kinerja boiler dalam peningkatan <i>flow steam</i> dan tekanan <i>steam</i> pembakaran	54
Tabel 4.3 kinerja <i>air pre-heater</i> dalam peningkatan temperatur udara SAF	63
Tabel 4.4 Pengaruh variasi <i>flow steam</i> dan tekanan pembakaran terhadap peningkatan temperature air <i>economizer</i>	66
Tabel 4.5 Perbandingan temperatur air umpan sebelum dan sesudah <i>economizer</i> terhadap efisiensi boiler.....	67
Tabel 4.6 Data hasil pengujian kecepatan SAF pipa udara <i>air pre-heater</i>	72
Tabel 4.7 Perbandingan Tekanan Sebelum Dan Sesudah Perbaikan	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses PLTU (Mohamad & Subagyo, 2020).....	10
Gambar 2.2 Batu bara jenis lignit (Supardi, 2023)	11
Gambar 2.3 <i>Economizer</i> (Masaji Marga et al., 2023)	14
Gambar 2.4 <i>Secondary Air Fan</i>	17
Gambar 2.5 <i>Air pre-heater</i>	19
Gambar 2.6 Permasalahan pada <i>air pre-heater</i>	20
Gambar 2.7 Skema boiler di PT X.....	30
Gambar 3.1 Grafik pergerakan <i>flow steam</i> selama 7 hari	33
Gambar 3.2 Tahapan proses penelitian	36
Gambar 3.3 Proses pembersihan <i>fly ash</i> menggunakan udara bertekanan.....	41
Gambar 3.4 Proses pengujian kebocoran menggunakan metode lilin	41
Gambar 3.5 Proses pemotongan pipa menggunakan las gas.....	42
Gambar 3.6 Mesin Las listrik ZX7-400STG (SMAW).....	43
Gambar 3.7 Proses penambalan pipa menggunakan las listrik	44
Gambar 4.1 Kinerja SAF Boiler Unit 2	48
Gambar 4.2 Kinerja SAF Boiler Unit 3	49
Gambar 4.3 Kinerja SAF Boiler Unit 5	52
Gambar 4.4 <i>Scatter Flow steam</i> vs Tekanan <i>Steam</i>	56
Gambar 4.5 <i>Trendline</i> (Regresi Linear)	58
Gambar 4. 6 Regresi linier SAF Unit 2.....	59
Gambar 4.7 Regresi linier SAF Unit 3.....	60

Gambar 4.8 Regresi linier SAF Unit 5.....	61
Gambar 4.9 Regresi linier gabungan SAF unit 2, 3 dan 5	62
Gambar 4.10 Grafik perbandingan performa <i>air pre-heater</i>	64
Gambar 4.11 Grafik kinerja <i>economizer</i> dalam peningkatan <i>temperature</i> air umpan dan efisiensi boiler	69
Gambar 4.12 Hasil simulasi perhitungan menggunakan MATLAB	71
Gambar 4.13 Grafik hasil pengujian kebocoran pipa <i>air pre-heater</i>	74
Gambar 4.14 Grafik sebelum dan setelah perbaikan pipa <i>air pre-heater</i>	75
Gambar 4.15 Tampilan DCS Boiler di PT X	77



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Bukti Bimbingan

Lampiran 2 : *Curriculum Vitae*

Lampiran 3: Data Perhitungan Efisiensi Boiler

Lampiran 4 : Dokumentasi Pengambilan Data

Lampiran 5 : Dokumentasi Pengujian Kebocoran *Air pre-heater* di lapangan

Lampiran 6 : Dokumentasi Penambalan dan penggantian pipa *air pre-heater*

Lampiran 7 : Dokumentasi Pengujian Kebocoran *Air pre-heater* di monitor

