



© 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



Badak LNG

**OPTIMASI KONFIGURASI *STEAM LOAD*
MANAGEMENT BOILER BERDASARKAN ALGORITMA
DUAL ANNEALING**

LAPORAN SKRIPSI

Oleh:

Nathaya Az'zahraufa Madina

NIM. 2102322009

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI
ENERGI**

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

JULI, 2025



© 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



“Skripsi ini saya persembahkan untuk seluruh pihak yang berperan dalam kehidupan perguruan tinggi saya, semoga senantiasa bermanfaat bagi nusa, bangsa, agama, almamater, dan perusahaan”



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

HALAMAN PERSETUJUAN

LAPORAN SKRIPSI

**OPTIMASI KONFIGURASI *STEAM LOAD MANAGEMENT BOILER*
BERDASARKAN ALGORITMA *DUAL ANNEALING***

Oleh:

Nathaya Az'zahraufa Madina

NIM. 2102322009

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skrripsi ini telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing Skripsi

Politeknik Negeri Jakarta

Pembimbing Skripsi

PT Badak NGL

Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T.

NIP. 199306062019032030

Muhammad Teguh Pratama, S.T., M.Si., IPM

No. Pekerja 133229

Kepala Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Politeknik Negeri Jakarta

Yuli Mafendro Dedet Eka Saputra, S.Pd., M.T.

NIP. 199403092019031013



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

HALAMAN PENGESAHAN

LAPORAN SKRIPSI

**OPTIMASI KONFIGURASI *STEAM LOAD MANAGEMENT BOILER*
BERDASARKAN ALGORITMA *DUAL ANNEALING***

Oleh:

Nathaya Az'zahrafa Madina

NIM. 2102322009

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 14 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada program Studi Sarjana Terapan Teknologi
Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc NIP. 197707142008121005	Ketua Penguji		14 Juli 2025
2.	Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc NIP. 197707142008121005	Penguji 1		14 Juli 2025
2.	Ir. Robby Sukma Dharmawan, S.T., MBA., IPM., ASEAN Eng., CHCP-A No. Pekerja 133212	Penguji 2		14 Juli 2025

Bontang, 14 Juli 2025

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Muslihin, 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 mengumumkan 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 : Nathaya Az'zahraufa Madina

NIM : 2102322009

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Bontang, 14 Juli 2025



Nathaya Az'zahraufa Madina

NIM. 2102322009

**POLITEK
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

OPTIMASI KONFIGURASI *STEAM LOAD MANAGEMENT* *BOILER* BERDASARKAN ALGORITMA *DUAL ANNEALING*

Nathaya Az'zahraufa Madina⁽¹⁾, Isnanda Nuriskasari⁽¹⁾, Muhammad Teguh Pratama⁽²⁾

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²PT Badak NGL, Kalimantan Timur, Indonesia

Email: nathaya.azzahraufa.madina.tm21@mhs.w.pnj.ac.id

ABSTRAK

Boiler merupakan salah satu peralatan penunjang utilities untuk memproduksi uap. Pemanfaatan banyak boiler secara bersamaan membutuhkan load management yang baik dengan mempertimbangkan karakteristik setiap boiler. Seiring perkembangan teknologi, membuka arah baru dalam permodelan dan prediksi sistem boiler yang kompleks menggunakan machine learning. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan metode Global Optimization berbasis algoritma Dual Annealing yang dikombinasikan dengan Extreme Gradien Boosting (XGBoost) untuk mengoptimalkan konfigurasi steam load boiler dengan meminimalkan rasio fuel-to-steam (F/S) keseluruhan boiler sebagai indikator efisiensi praktis, yaitu jumlah fuel yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu ton uap. Model Dual Annealing merupakan gabungan dari metode Classical Simulated Annealing (CSA) dan Fast Simulated Annealing (FSA) serta dikombinasikan strategi pencarian local pada solusi yang diterima. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa XGBoost memiliki akurasi prediksi yang baik dan mampu menggeneralisasi model pada data baru. Potensi hasil optimasi menghasilkan konfigurasi optimal, ditandai dengan nilai rata – rata F/S *optimized* menurunkan F/S sebesar 1 m³/ton dari kondisi *unoptimized*, serta terdapat penghematan konsumsi fuel gas sebesar 1.24 kNm³/jam dengan peningkatan PTE sebesar 0.22%. Hal ini membuktikan bahwa metode Dual Annealing efektif dalam menemukan titik solusi optimal dalam permasalahan optimasi sistem boiler.

Kata kunci: *Boiler, Dual Annealing, Fuel-to-Steam, Steam Load, XGBoost*



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

OPTIMIZATION OF BOILER STEAM LOAD MANAGEMENT CONFIGURATION BASED ON THE DUAL ANNEALING ALGORITHM

Nathaya Az'zahraufa Madina⁽¹⁾, Isnanda Nuriskasari⁽¹⁾, Muhammad Teguh Pratama⁽²⁾

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²PT Badak NGL, Kalimantan Timur, Indonesia

Email: nathaya.azzahraufa.madina.tn21@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

The boiler is one of the utility support equipment used to produce steam. The use of multiple boilers simultaneously requires proper load management by taking into account the characteristics of each boiler. Along with technological advancements, new directions have emerged in the modeling and prediction of complex boiler systems using machine learning. Therefore, this study employs a Global Optimization method based on the Dual Annealing algorithm, combined with Extreme Gradient Boosting (XGBoost), to optimize the boiler steam load configuration by minimizing the overall fuel-to-steam (F/S) ratio of the boilers as a practical efficiency indicator, i.e., the amount of fuel required to produce one ton of steam. The Dual Annealing model is a combination of the Classical Simulated Annealing (CSA) and Fast Simulated Annealing (FSA) methods, enhanced with a local search strategy on accepted solutions. Evaluation results show that XGBoost exhibits good prediction accuracy and is capable of generalizing the model to new data. The optimization results indicate an optimal configuration, marked by an average optimized F/S ratio that is reduced by 1 m³/ton compared to the unoptimized condition, along with a fuel gas savings of 1.24 kNm³/h and an increase in Plant Thermal Efficiency (PTE) of 0.22%. These findings demonstrate that the Dual Annealing method is effective in finding optimal solutions for boiler system optimization problems.

Keywords: Boiler, Dual Annealing, Fuel-to-Steam, Steam Load, XGBoost



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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan limpahan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Peningkatan Efisiensi *Boiler* Modul II PT Badak NGL dengan Pengaturan *Steam Load* Berdasarkan Algoritma *Machine learning*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta. Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak sehingga penulis hendak mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Anas Malik Abdillah selaku Direktur LNG Academy
2. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
3. Bapak Zaki Arif selaku Kepala Jurusan Pengolahan Gas
4. Bapak Muhammad Teguh Pratama selaku Dosen Pembimbing dari PT Badak NGL yang telah membimbing penyelesaian skripsi ini
5. Ibu Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T. selaku Dosen Pembimbing dari Politeknik Negeri Jakarta yang telah membimbing penyelesaian skripsi
6. Orang tua dan teman penulis yang selalu mendukung penulis baik segi material maupun moral
7. Serta pihak – pihak lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulisan skripsi ini masih jauh sempurna dan memiliki banyak kekurangan. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan pengetahuan bagi semua pihak. Kritik dan saran sangat diharapkan oleh penulis demi tersusunnya skripsi ini dengan sebaik - baiknya.

Bontang, 14 Juli 2025

Nathaya Az'zahraufa Madina
NIM. 2102322009



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	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Pertanyaan Penelitian.....	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Manfaat Penelitian	4
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Landasan Teori.....	6
2.1.1. <i>Boiler</i>	6
2.1.2. <i>Water Tube Boiler</i>	6
2.1.3. <i>Bahan Bakar Gas Boiler</i>	7
2.1.4. <i>Boiler</i> di PT Badak NGL.....	7
2.1.5. <i>Neraca Energi Boiler</i>	12
2.1.6. <i>Rasio Fuel-to-steam</i>	14



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

2.1.7. Rasio <i>Air-to-Fuel</i>	15
2.1.8. <i>Plant Thermal Efficiency</i> (PTE).....	16
2.1.9. <i>Supervised Learning</i>	16
2.1.10. Algoritma <i>eXtreme Gradient Boosting</i> (XGBoost).....	17
2.1.11. Proses Sains Data	18
2.1.12. <i>Missing Values</i>	21
2.1.13. <i>Outlier</i>	21
2.1.14. <i>MinMax</i> Normalisasi.....	22
2.1.15. <i>KFold CrossValidation</i>	22
2.1.16. Masalah Pelatihan Model.....	23
2.1.17. Koefisien Korelasi.....	24
2.1.18. <i>Sequential Least Squares Programming</i> (<i>Local Optimization</i>)	26
2.1.19. <i>Dual Annealing</i> (<i>Global Optimization</i>).....	27
2.1.20. <i>Xlwings</i>	28
2.2. Kajian Literatur	29
2.3. Kerangka Pemikiran.....	30
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1. Jenis Penelitian	33
3.2. Objek Penelitian	33
3.3. Metode Pengambilan Sampel.....	33
3.4. Jenis dan Sumber Data Penelitian.....	34
3.4.1. Data Primer	34
3.4.2. Data Sekunder	35
3.5. Metode Pengumpulan Data Penelitian.....	35
3.6. Metode Analisis Data	44
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Analisis Karakteristik <i>Boiler</i>	45
4.1.1. Total Produksi <i>Steam</i>	45



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

4.1.2. Analisis <i>Steam Flow</i> terhadap <i>Fuel Gas Flow</i>	46
4.1.3. Analisis <i>Steam Flow</i> Terhadap <i>Air-to-Fuel</i>	48
4.1.4. Analisis Rasio <i>Air-to-Fuel</i> (AFR) Terhadap <i>Fuel-to-steam</i> (F/S).....	49
4.1.5. Analisis <i>Air Flow</i> terhadap <i>O₂ Excess</i>	50
4.1.6. Komposisi <i>Fuel Gas</i>	51
4.2. Perancangan Model	53
4.2.1. Tahap <i>Data Understanding</i>	53
4.2.2. Tahap <i>Data Pre-Processing</i>	57
4.2.3. Perancangan Model.....	62
4.3. Optimasi Konfigurasi <i>Steam Load Management</i>	66
4.3.1. Metode SLSQP	68
4.3.2. Metode <i>Dual Annealing</i>	69
4.3.3. Ekspor Optimasi <i>Python</i> ke <i>Excel</i>	72
4.4. Hasil Konfigurasi <i>Steam Load</i>	75
4.4.1. Perbandingan Konfigurasi <i>Steam Load Optimized</i> dan <i>Unoptimized</i> . 76	
4.5. Potensi Penghematan <i>Fuel Cost</i> dan Peningkatan PTE Setelah Optimasi	80
BAB V PENUTUP	83
5.1. Simpulan	83
5.2. Saran	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85
LAMPIRAN.....	91



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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 <i>Steam to Fuel Boiler</i> Tahun 2023	1
Gambar 2. 1 <i>Water Tube Boiler</i> (Manual Book Badak LNG, 2024)	7
Gambar 2. 2 <i>Boiler</i> Modul II PT Badak NGL (Manual Book Badak LNG, 2024). 8	
Gambar 2. 3 Skema Distribusi <i>Fuel Gas Utilities</i> II (Manual Book Badak LNG, 2024)	9
Gambar 2. 4 Alur Kerja <i>Boiler</i> di PT Badak NGL (Manual Book Badak LNG, 2024)	11
Gambar 2. 5 Neraca Energi Sistem <i>Boiler</i>	13
Gambar 2. 6 Struktur Kerja <i>Supervised Learning</i>	16
Gambar 2. 7 Kerja Algoritma <i>Boosting</i>	17
Gambar 2. 8 Proses Kerja <i>Kfold Cross Validation</i>	23
Gambar 2. 9 <i>Scatter Plot</i> Koefisien Pearson.....	25
Gambar 2. 10 Script Dari <i>Python</i> ke <i>Excel</i>	28
Gambar 2. 11 <i>Script</i> Pemanggilan <i>Python</i> Dari <i>Excel</i>	29
Gambar 2. 12 <i>User Define Functions</i>	29
Gambar 2. 13 Kerangka Pemikiran.....	31
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.....	35
Gambar 3. 2 Alur Perancangan Model <i>XGBoost</i>	38
Gambar 3. 3 Alur Optimasi <i>Dual Annealing</i>	41
Gambar 3. 4 Alur Ekspor Program <i>Python</i> ke Exces	42
Gambar 3. 5 Pemanggilan Fungsi <i>Python</i> dari VBA	43
Gambar 3. 6 Tab <i>xlwings</i> di <i>Excel</i>	43
Gambar 4. 1 Total Produksi <i>Steam</i> PT Badak NGL	46
Gambar 4. 2 Grafik <i>Steam Flow</i> Terhadap <i>Fuel Gas Boiler</i> 21	47
Gambar 4. 3 Nilai Rata-Rata <i>Fuel-to-steam</i>	48
Gambar 4. 4 Grafik <i>Steam Flow</i> Terhadap <i>Air-to-Fuel Boiler</i> 21.....	49
Gambar 4. 5 Grafik <i>Air-to-Fuel</i> Terhadap <i>Fuel-to-steam Boiler</i> 21	50
Gambar 4. 6 Grafik <i>O₂ Excess</i> Terhadap <i>Air Flow Boiler</i> 21	51
Gambar 4. 7 Sebaran Dataset <i>Boiler</i> 21	56



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

Gambar 4. 8 Sebaran Dataset Uji <i>Boiler</i> 21	57
Gambar 4. 9 Hasil Cek <i>Missing Value</i>	58
Gambar 4. 10 <i>Scatter Plot</i> Variabel Independen Terhadap <i>Fuel Gas Flow Boiler</i> 21	59
Gambar 4. 11 Koefisien Korelasi Pearson <i>Boiler</i> 21	60
Gambar 4. 12 Grafik Nilai Aktual dan Prediksi Model <i>Boiler</i> 21	64
Gambar 4. 13 Grafik Nilai Aktual dan Prediksi Data Baru (Dataset Uji).....	65
Gambar 4. 14 Cuplikan Kode Program Import Library	66
Gambar 4. 15 Cuplikan Kode Program Pemanggilan Model dan Scaler Setiap <i>Boiler</i>	67
Gambar 4. 16 Cuplikan Kode Program <i>Input User</i>	67
Gambar 4. 17 Cuplikan Kode Nilai Tebakan (<i>Guess</i>) Metode SLSQP	68
Gambar 4. 18 Cuplikan Kode Fungsi Objektif <i>Dual Annealing</i>	70
Gambar 4. 19 Cuplikan Kode Batasan Variabel (<i>Dual Annealing</i>).....	71
Gambar 4. 20 Cuplikan Kode Fungsi Optimasi <i>Dual Annealing</i>	72
Gambar 4. 21 Cuplikan Kode Ekspor <i>Python</i> ke <i>Excel</i>	73
Gambar 4. 22 Dashboard Optimasi Konfigurasi <i>Steam Load Management</i>	73
Gambar 4. 23 Sheet Optimasi	74
Gambar 4. 24 Perbandingan Rata-Rata F/S <i>Optimized vs Unoptimized</i> Skenario 1	78
Gambar 4. 25 Perbandingan Rata-Rata F/S <i>Optimized vs Unoptimized</i> Skenario 2	78
Gambar 4. 26 Perbandingan Total <i>Fuel Gas Optimized vs Unoptimized</i> Skenario 1	79
Gambar 4. 27 Perbandingan Total <i>Fuel Gas Optimized vs Unoptimized</i> Skenario 2	80



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 Komposisi <i>Fuel Gas</i>	10
Tabel 2. 2 Interpretasi Nilai Korelasi	26
Tabel 2. 3 Parameter yang Dioptimasi	28
Tabel 3. 1 Rentang Pengambilan Data <i>Boiler</i>	33
Tabel 3. 2 Variabel Proses	34
Tabel 4. 1 Rentang Waktu Dataset dan Dataset Uji	54
Tabel 4. 2 Jumlah data Dataset dan Dataset Uji Tanpa <i>Outliers</i>	58
Tabel 4. 3 Rata-Rata Koefisien Korelasi Pearson <i>Boiler</i> 21 - 29.....	60
Tabel 4. 4 Variabel Prediktor and Target Model.....	62
Tabel 4. 5 Evaluasi Model.....	64
Tabel 4. 6 Validasi Prediksi Model ke Dataset Uji.....	65
Tabel 4. 7 Batasan Nilai Variabel	68
Tabel 4. 8 Batasan (<i>Bounds</i>) Variabel	75
Tabel 4. 9 Hasil Konfigurasi Optimasi Total Steam 1200 ton/jam	75
Tabel 4. 10 Hasil Penghematan <i>Fuel Gas</i> (<i>Fuel Saving</i>) dan <i>Fuel Cost</i>	81
Tabel 4. 11 Parameter PTE.....	82
Tabel 5. 1 Konfigurasi Steam Load Pada Setiap Variasi Total Steam.....	83

Hak Cipta :

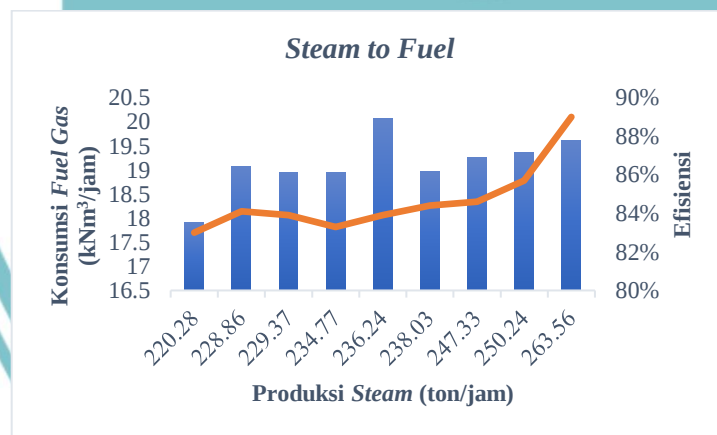
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan 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 I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

Di era transisi menuju sistem energi berkelanjutan, pergeseran dari sumber energi berbasis fossil *fuel* menuju *renewable energy*, industri gas alam dan LNG diperkirakan masih akan meningkat dalam beberapa dekade mendatang. Berdasarkan proyeksi global, tahun 2020 hingga 2050, dibutuhkan ekspor gas alam baru sebesar 230–1460 juta ton per tahun (MTPA). Sekitar 53%-81% dari total tersebut merupakan infrastruktur ekspor LNG, mencerminkan dominasi LNG sebagai bentuk utama perdagangan gas alam di masa depan (Yarlagadda et al., 2024).

Dukungan utilitas berupa *steam* (uap) menjadi sangat krusial untuk menjamin proses produksi LNG. *Boiler* merupakan salah satu peralatan penunjang *utilities* yang digunakan untuk memproduksi uap. PT Badak NGL menggunakan uap sebagai media pemanas, penggerak kompresor, pompa, dan generator listrik, dengan *fuel gas* (Manual Book Badak LNG, 2024).



Gambar 1. 1 *Steam to Fuel Boiler* Tahun 2023 (Energy Audit Badak LNG, 2023)

Berdasarkan laporan audit *Boiler* PT Badak NGL tahun 2023 (Gambar 1.1) menunjukkan konsumsi *fuel gas* tidak selalu meningkat seiring kenaikan produksi uap dimana pada fuel yang sama digunakan boiler 23, 24, dan 25 menghasilkan *steam* yang berbeda. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan performa masing-masing boiler. Pemanfaatan banyak *Boiler* secara bersamaan

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

membutuhkan *load management* yang baik dengan mempertimbangkan karakteristik setiap *Boiler*. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kazarinov et al. (2018) membahas optimasi steam *load Boiler* dengan meminimalkan konsumsi gas alam dan memaksimalkan faktor efisiensi menggunakan *solver Add-in Ms Excel*. Penurunan konsumsi *fuel gas* sebesar 5% (Kazarinov et al., 2018).

Penelitian ini meminimalkan rasio *fuel-to-steam* (F/S) karena F/S sebagai indikator efisiensi praktis, yaitu jumlah *fuel* yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu ton uap. Apabila hanya melihat dari jumlah konsumsi *fuel* atau jumlah *steam* saja, sulit mengetahui apakah perbedaan konsumsi energi disebabkan oleh tingginya kebutuhan *steam* atau rendahnya kinerja boiler. Dengan demikian, rasio F/S digunakan sebagai indikator optimasi karena menunjukkan konsumsi bahan bakar relatif terhadap output steam. Rendahnya nilai F/S mencerminkan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi dan konsumsi energi yang lebih hemat.

Perkembangan teknologi *big data* dan kecerdasan buatan yang terus berlanjut membuka arah baru dalam permodelan dan prediksi sistem *Boiler* yang multivariabel, kompleks, dan non-linier (Deghal Cheridi et al., 2019). Permodelan prediksi menggunakan algoritma *machine learning* yang dapat menemukan pola tersembunyi dalam data historis (Lianzhai et al., 2024). Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Lianzhai et al. (2024) yang membahas prediksi algoritma regresi linier multivariat (*Lasso*, *Ridge*, *ElasticNet*), regresi vektor pendukung, serta model pohon keputusan seperti *XGBoost*, *GBDT*, dan *Random Forest*, dan *Bagging*. Model tersebut dievaluasi dan diinterpretasikan. Hasilnya, *XGBoost* memiliki performa prediksi lebih baik dengan hasil evaluasi *Root Mean Square Error* sebesar 0.13 (Lianzhai et al., 2024).

Penelitian ini menggunakan algoritma *eXtreme Gradient Boosting* (*XGBoost*) untuk memprediksi *fuel gas* sebagai indikator konsumsi energi. Algoritma ini bekerja dengan membangun pohon keputusan secara berurutan, di mana setiap pohon baru dibuat untuk mengurangi kesalahan dari pohon sebelumnya (Rahim et al., 2022). Perancangan model *XGBoost* mencakup *pre-*

processing, normalisasi, *train/test split*, dan evaluasi menggunakan metrik *R-Square* (R^2) dan *Mean Absolute Error* (MAE).

Model akan diinterpretasikan ke *global optimization* dengan algoritma *Dual Annealing* untuk dilakukan konfigurasi *load boiler* dengan melakukan pencarian solusi secara global (Sunori et al., 2021). Optimasi ini menentukan konfigurasi beban kerja terbaik bagi setiap *boiler* secara optimal dan memprediksi kebutuhan energi dan potensi penghematan yang dapat dicapai (Varganova et al., 2023).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, sistem operasi *boiler* yang berjalan saat ini belum memiliki sistem *steam load management* yang optimal, sehingga masih terdapat peluang untuk melakukan optimasi. Salah satu indikator efisiensi praktis yang dapat digunakan adalah rasio *fuel-to-steam*, yaitu jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu ton uap. Nilai rasio yang lebih rendah mencerminkan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi dan konsumsi energi yang lebih hemat.

1.3. Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, pertanyaan penelitian yang akan diteliti adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik masing – masing *Boiler* berdasarkan data historis operasional?
2. Bagaimana perancangan model *XGBoost* untuk memprediksi konsumsi *fuel gas* pada *Boiler* PT Badak NGL?
3. Bagaimana penerapan algoritma *Dual Annealing* dalam mengoptimasi *steam load management* untuk meminimalkan rata-rata rasio *fuel-to-steam* seluruh *Boiler*?
4. Bagaimana hasil konfigurasi optimal *steam load management* berdasarkan variasi total *steam* dalam meminimalkan rata – rata *fuel-to-steam*?
5. Berapa potensi penghematan biaya konsumsi *fuel gas* dan *plant thermal efficiency* (PTE) dari hasil optimasi *steam load management*?

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

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

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan karakteristik masing – masing *Boiler* berdasarkan data historis operasional
2. Merancang model *XGBoost* untuk memprediksi konsumsi *fuel gas* pada *Boiler* PT Badak NGL
3. Menerapkan algoritma *Dual Annealing* dalam mengoptimasi *steam load management* untuk meminimalkan rata-rata rasio *fuel-to-steam* seluruh *Boiler*
4. Mendapatkan hasil optimasi *steam load management* berdasarkan variasi total *steam* dalam meminimalkan rata – rata *fuel-to-steam*
5. Menghitung potensi penghematan biaya konsumsi *fuel gas* dan *plant thermal efficiency* (PTE) dari hasil optimasi *steam load management*

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam skripsi ini adalah sebagai berikut.

1. Boiler yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah Boiler 21 – 29 pada sistem *utilities* di PT Badak NGL. Parameter evaluasi dalam penelitian ini meliputi *steam flow*, *air flow*, *O₂ excess*, *CH₄*, *HHV*, dan *fuel gas flow*.
2. Algoritma *machine learning* yang diaplikasikan dalam permodelan adalah *XGBoost*. Algoritma optimasi yang dicoba adalah algoritma *Sequential Least Squares Programming* (SLSQP) dan *Dual Annealing*.

1.6. Manfaat Penelitian

Dari hasil kajian tersebut diharapkan dapat memberikan manfaat bahwa mengetahui konfigurasi *steam load* yang optimum dengan meminimalkan rata-rata *fuel-to-steam* dan *potential fuel saving*.

Manfaat penelitian bagi mahasiswa adalah menambah wawasan dan mampu mengaplikasikan *machine learning* model optimalisasi untuk mendukung kehandalan kilang PT Badak NGL sebagai kontribusi di bidang pengolahan.

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

1.7. Sistematika Penulisan

Sistematika penelitian dijabarkan ke dalam beberapa bagian, sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, penyusun laporan menguraikan latar belakang pemilihan topik, tujuan umum dan khusus, ruang lingkup penelitian dan batasan masalah, manfaat yang akan didapat, metode penelitian, dan sistematika penulisan keseluruhan laporan skripsi

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Studi Pustaka/Tinjauan Pustaka berisi sumber bacaan atau literatur, memaparkan rangkuman kritis atas pustaka yang menunjang penyusunan atau penelitian, meliputi pembahasan tentang topik yang dikaji dalam laporan skripsi.

BAB III METODE PENELITIAN

Penyusun laporan menguraikan tentang metodologi, yaitu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah atau penelitian, meliputi prosedur, pengambilan sampel dan pengumpulan data, pengumpulan data, teknik analisis data atau teknis perancangan.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdapat hasil dan analisis data, perhitungan-perhitungan aktual yang diperoleh dari analisis, serta interpretasi dan pembahasan hasil perhitungan.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran dari analisis yang telah dilakukan. Isi kesimpulan akan menjawab permasalahan dan tujuan yang telah ditetapkan dalam laporan skripsi disertai saran – saran atau opini yang berkaitan dengan laporan skripsi.

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 V PENUTUP

5.1. Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Semua boiler menunjukkan korelasi linier positif antara *steam* dan konsumsi *fuel gas*, serta nilai AFR dan O₂ Excess menurun seiring meningkatnya beban. Semua boiler menunjukkan variasi F/S pada AFR rendah maupun tinggi di kisaran 70–85 m³/ton.
2. Perancangan *XGBoost* dalam memprediksi *fuel gas flow* terdiri dari data understanding, data pre-processing, bangun model dan evaluasi. Model membuktikan kemampuan generalisasi model baik dengan akurasi evaluasi R² sebesar 0.99 dan MAE sebesar 0.06.
3. Penerapan model *dual annealing* berhasil diterapkan dalam optimasi meminimalkan rata-rata rasio *fuel-to-steam* seluruh *Boiler*. Algoritma memulai pencarian dari titik awal acak dalam ruang pencarian yang dibatasi oleh *bounds* dengan jumlah iterasi berjumlah 100 tercapai.
4. Hasil konfigurasi *steam load* berbagai variasi total *steam* dengan skenario 1 yaitu *Boiler* 21, 22, 24 non aktif dan skenario 2 yaitu *Boiler* 22, 24, 25 non aktif, ditampilkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Konfigurasi Steam Load Pada Setiap Variasi Total Steam

Skenario	Total Steam	Boiler								
		21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	1100	0	0	214.75	0	183.35	181.17	163.81	183.49	173.43
	1200	0	0	164.19	0	200.18	234.52	187.30	197.68	216.13
	1300	0	0	195.47	0	247.58	211.21	196.97	219.63	229.14
	1400	0	0	230.35	0	246.75	240.90	213.55	219.20	249.25
2	1100	180.72	0	182.12	0	0	184.97	178.65	189.21	184.31
	1200	177.84	0	243.20	0	0	182.25	164.30	220.97	211.45
	1300	240.52	0	235.54	0	0	212.30	225.19	193.21	193.23
	1400	224.56	0	242.64	0	0	231.59	247.63	229.85	223.72

Sumber: (Data Diolah)

Dari kedua skenario tersebut, algoritma optimasi mampu menentukan konfigurasi distribusi steam antar *boiler* dengan rata-rata penurunan fuel-to-steam pada dua skenario sebesar $1 \text{ m}^3/\text{ton}$.

5. Potensi penghematan konsumsi *fuel gas* sekitar $1.24 \text{ kNm}^3/\text{jam}$, dengan rata-rata biaya bahan bakar yang dapat dihemat sebesar sekitar 472.74 USD/jam. Serta, peningkatan PTE sebesar 0.22% dari kondisi aktual.

5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, saran yang diberikan untuk penelitian berikutnya antara lain:

1. Implementasi *Plant Test*

Sebagai tindak lanjut dari optimasi konfigurasi boiler yang telah dilakukan, dapat dilakukan *plant test* untuk memastikan bahwa model prediksi memberikan hasil akurat dalam praktik lapangan.

2. Rekomendasi Implikasi Dashboard untuk Pengguna

Pada Sheet Optimasi (Gambar 4.23), penelitian ini menggunakan pengaturan dimana batasan variabel O_2 Exceess, CH_4 , dan HHV sudah ditetapkan, sementara yang dapat diubah hanya *Steam Flow* dan *Air Flow*. Apabila semua parameter ingin diubah menyesuaikan kebutuhan, pengguna dapat mengubah code nilai batasan parameter dengan merujuk pada sheet *Excel* yang ingin dimasukkan nilai batasan tersebut (Lihat lampiran 12).

Jika ingin memasukkan rentang *steam flow* dan *air flow*, disarankan rentang nilainya tidak terlalu jauh, untuk menghindari hasil optimasi yang tidak realistis akibat eksplorasi ruang solusi yang terlalu luas. Serta, rentang *steam flow* dan *air flow* diseragamkan (proporsional), karena sesuai dengan praktik di lapangan, udara berlebih dibutuhkan untuk mencegah pembakaran tidak sempurna, namun harus tetap dalam batas wajar untuk menjaga efisiensi energi.

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

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

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., & Mashwani, W. K. (2023). A Supervised Machine Learning Algorithms: Applications, Challenges, and Recommendations. In *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: Part A* (Vol. 60, Issue 4, pp. 1–12). Pakistan Academy of Sciences. [https://doi.org/10.53560/PPASA\(60-4\)831](https://doi.org/10.53560/PPASA(60-4)831)
- Alifa, N., Putri, Z., Yuliani, I., & Widarti, S. (2024). *Pengaruh Pemakaian Jenis Bahan Bakar Terhadap Kinerja Boiler dengan Metode Langsung dan Tidak Langsung*. 11.
- Anil, A. K. P., & Singh, U. K. (2023). An Optimal Solution to the Overfitting and Underfitting Problem of Healthcare Machine Learning Models. *Journal of Systems Engineering and Information Technology (JOSEIT)*, 2(2), 77–84. <https://doi.org/10.29207/joseit.v2i2.5460>
- Aprilia, D. (2021). *PENENTUAN EFISIENSI BOILER DENGAN MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DI PT X LUMAJANG*. 7(2), 421–426. <http://distilat.polinema.ac.id>
- Arif Ali, Z., H. Abduljabbar, Z., A. Tahir, H., Bibo Sallow, A., & Almufti, S. M. (2023). eXtreme Gradient Boosting Algorithm with Machine Learning: a Review. *Academic Journal of Nawroz University*, 12(2), 320–334. <https://doi.org/10.25007/ajnu.v12n2a1612>
- Ascher, S., Sloan, W., Watson, I., & You, S. (2022). A comprehensive artificial neural network model for gasification process prediction. *Applied Energy*, 320. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119289>
- ASME PTC-4. (2008). *Fired Steam Generators ASME PTC 4-2008 Performance Test Codes*. <http://estools.asme.org>
- Babatunde, D., Anozie, A., Omoleye, J., & Babatunde, O. (2021). An Air-Fuel Ratio Parametric Assessment on Efficiency and Cost of a Power Plant Steam Boiler. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 5(3), 561–575. <https://doi.org/10.1007/s41660-021-00162-x>
- Barma, M. C., Saidur, R., Rahman, S. M. A., Allouhi, A., Akash, B. A., & Sait, S. M. (2017). A review on boilers energy use, energy savings, and emissions



reductions. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 79, pp. 970–983). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.187>

Bisset, C., Venter, P. V. Z., & Coetzer, R. (2023). A systematic literature review on machine learning applications at coal-fired thermal power plants for improved energy efficiency. *International Journal of Sustainable Energy*, 42(1), 845–872. <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2244618>

Čepaitė, I. (2024). *Counterdiabatic, Better, Faster, Stronger: Optimal control for approximate counterdiabatic driving*. <http://arxiv.org/abs/2403.20267>

Chamorro-Atalaya, O., Arévalo-Tuesta, J., Balarezo-Mares, D., Gonzáles-Pacheco, A., Mendoza-León, O., Quipuscoa-Silvestre, M., Tomás-Quispe, G., & Suarez-Bazalar, R. (2023). K-Fold Cross-Validation through Identification of the Opinion Classification Algorithm for the Satisfaction of University Students. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 19(11), 140–158. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v19i11.39887>

CleaverBrooks. (2010). *BOILER EFFICIENCY GUIDE*.

Data Science Horizon. (2023). *Data Cleaning and Preprocessing for Data Science Beginners the first installment in our data deep dive series*.

Deghal Cheridi, A. L., Loubar, A., Dadda, A., & Bouam, A. (2019). Modeling and simulation of a natural circulation water-tube steam boiler. *SN Applied Sciences*, 1(11). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1452-x>

Gholamy, A., Kreinovich, V., & Kosheleva, O. (2018). *Why 70/30 or 80/20 Relation Between Training and Testing Sets: A Pedagogical Explanation*.

Hendri, S. dan P. R. (2017). ANALISA EFISIENSI BOILER DENGAN METODE HEAT LOSS SEBELUM DAN SESUDAH OVERHAUL PT. INDONESIA POWER UBP PLTU LONTAR UNIT 3. *Jurnal Power Plant*, 4(4).

Johnson, D. S., Aragon, C. R., Mcgeoch, L. A., & Schevon, C. (1989). *OPTIMIZATION BY SIMULATED ANNEALING: AN EXPERIMENTAL EVALUATION; PART 1, GRAPH PARTITIONING* (Vol. 37, Issue 6).

Kazarinov, L. S., Kolesnikova, O. V., & Tsypkaikina, A. D. (2018). A Method for Steam Boilers Load Optimization. *IFAC-PapersOnLine*, 51(32), 765–769. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.453>

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

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

- Kusiak, A., & Song, Z. (2008). Clustering-based performance optimization of the boiler-turbine system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23(2), 651–658. <https://doi.org/10.1109/TEC.2007.914183>
- Lawrence, A., Thollander, P., Andrei, M., & Karlsson, M. (2019). Specific energy consumption/use (SEC) in energy management for improving energy efficiency in industry: Meaning, usage and differences. *Energies*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/en12020247>
- Lianzhai, D., Roestam, R., Sen, T. W., Fahmi, H., ChungKiat, O., & Hariyanto, D. T. (2024a). Machine Learning Algorithms for Prediction of Boiler Steam Production. *International Journal of Advances in Data and Information Systems*, 5(2). <https://doi.org/10.59395/ijadis.v5i2.1339>
- Lianzhai, D., Roestam, R., Sen, T. W., Fahmi, H., ChungKiat, O., & Hariyanto, D. T. (2024b). Machine Learning Algorithms for Prediction of Boiler Steam Production. *International Journal of Advances in Data and Information Systems*, 5(2). <https://doi.org/10.59395/ijadis.v5i2.1339>
- Liu, Z., Liu, S., Shi, R., Wang, J., Xie, M., & Zheng, S. (2020). A Control Strategy of the Air Flow Rate of Coal-Fired Utility Boilers Based on the Load Demand. *ACS Omega*, 5(48), 31199–31208. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04585>
- Manual Book Badak LNG. (2024). *Manual Book Badak LNG*. Department of Operation Badak LNG.
- Marques, J. P. P. G., Cunha, D. C., Harada, L. M. F., Silva, L. N., & Silva, I. D. (2021). A cost-effective trilateration-based radio localization algorithm using machine learning and sequential least-square programming optimization. *Computer Communications*, 177, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.06.005>
- Meilasari, D. (2022). *IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING DALAM MEMPREDIKSI PERMINTAAN MODEL BUSINESS TO BUSINESS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (ARIMA) DAN LONG SHORT TERM MEMORY (LSTM) GUNA MENGURANGI FOOD WASTE (STUDI KASUS: PT TANIHUB INDONESIA)*.



- Nalluri, M., Pentela, M., & Rao Eluri, N. (2020). A Scalable Tree Boosting System: XG Boost. *International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology*, 7(12), 36–51. <https://doi.org/10.22259/2349-476X.0712005>
- Nocedal, J., & Wright, S. J. (2003). *Numerical Optimization Second Edition*.
- Perry, R. H. & G. D. W. . (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*.
- Pothuganti, S. (2018). Review on over-fitting and under-fitting problems in Machine Learning and solutions International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering Review on over-fitting and under-fitting problems in Machine Learning and solutions. *Article in International Journal of Advanced Research in Electrical Electronics and Instrumentation Engineering*. <https://doi.org/10.15662/IJAREEIE.2018.0709015>
- Rahim, A. M. A., Sunyoto, A., & Arief, M. R. (2022). Stroke Prediction Using Machine Learning Method with Extreme Gradient Boosting Algorithm. *MATRIK : Jurnal Manajemen, Teknik Informatika Dan Rekayasa Komputer*, 21(3), 595–606. <https://doi.org/10.30812/matrik.v21i3.1666>
- Ryczkowski, A., Piotrowski, T., Staszczak, M., Wiktorowicz, M., & Adrich, P. (2023). Optimization of the regularization parameter in the Dual Annealing method used for the reconstruction of energy spectrum of electron beam generated by the AQURE mobile accelerator. *Zeitschrift Fur Medizinische Physik*. <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2023.03.003>
- Salsabila, S., Zurohaina, Z., & Tahdid, T. (2024). Thermal Efficiency of Water Tube Boiler Reviewed from the Effect of Air Fuel Ratio and Water Level Control on Superheated Steam Production. *Jurnal Penelitian Sains*, 26(3), 366. <https://doi.org/10.56064/jps.v26i3.1075>
- Sathish, T., Mohanavel, V., Afzal, A., Arunkumar, M., Ravichandran, M., Khan, S. A., Rajendran, P., & Asif, M. (2021). Advancement of steam generation process in water tube boiler using Taguchi design of experiments. *Case Studies in Thermal Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101247>

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

- Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia*, 126(5), 1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- SciPy v1.16.0 Manual*. (2025).
- Sihombing, P. R., Suryadiningrat, S., Sunarjo, D. A., & Yuda, Y. P. A. C. (2023). Identifikasi Data Outlier (Pencilan) dan Kenormalan Data Pada Data Univariat serta Alternatif Penyelesaiannya. *Jurnal Ekonomi Dan Statistik Indonesia*, 2(3), 307–316. <https://doi.org/10.11594/jesi.02.03.07>
- Srinath, R., Mukesh, R., Hasan, I., & Krishnan, P. R. (2024). Aerofoil optimization using SLSQP and validation using numerical and analytical methods. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 62(6), 1210–1226. <https://doi.org/10.15625/2525-2518/19371>
- Sunori, S. K., Juneja, P. K., Jethi, G. S., Bhakuni, A., & Chaturvedi, M. (2021). Controller optimization for boiler turbine using simulated annealing and genetic algorithm. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1086, 39–45. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1275-9_4
- Valkov, V. (2019). *Hands-On Machine Learning from Scratch*. <http://leanpub.com/hmls> <http://leanpub.com/hmls>
- Varganova, A. V., Khramshin, V. R., & Radionov, A. A. (2023). Operating Modes Optimization for the Boiler Units of Industrial Steam Plants. *Energies*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/en16062596>
- Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T. E., Haberland, M., Reddy, T., Cournapeau, D., Burovski, E., Peterson, P., Weckesser, W., Bright, J., van der Walt, S. J., Brett, M., Wilson, J., Millman, K. J., Mayorov, N., Nelson, A. R. J., Jones, E., Kern, R., Larson, E., ... Vázquez-Baeza, Y. (2020). SciPy 1.0: fundamental algorithms for scientific computing in Python. *Nature Methods*, 17(3), 261–272. <https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2>
- Xiang, Y., Gubian, S., Suomela, B., & Hoeng, J. (2013). Generalized simulated annealing for global optimization: The GenSA package. *R Journal*, 5(1), 13–28. <https://doi.org/10.32614/rj-2013-002>

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



- Yarlagadda, B., Iyer, G., Binsted, M., Patel, P., Wise, M., & McLeod, J. (2024). The future evolution of global natural gas trade. *IScience*, 27(2). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.108902>
- Zhang, B., Li, Y., & Liu, M. (2014). *Case Study: Optimization of an Industrial Steam Boiler System Operation*. <https://www.researchgate.net/publication/281321639>
- Zoomer Analytics LLC. (2025). *xlwings-Make Excel Fly! Release 0.0.0*.
- Zou, L., Song, L., Wang, X., Weise, T., Chen, Y., & Zhang, C. (2020). A New Approach to Newton-Type Polynomial Interpolation with Parameters. *Mathematical Problems in Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/9020541>

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

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

Lampiran 1. Statistika dataset tanpa outlier meliputi rata-rata (*mean*), standar deviasi (*std*), minimum (*min*), dan maksimum (*max*)

Statistika Raw Data

Parameter	Statistika	B-21	B-22	B-23	B-24	B-25	B-26	B-27	B-28	B-29
Excess	Mean	3.36	3.47	4.18	3.68	3.71	3.51	2.86	4.01	3.80
	Std	0.67	0.65	0.40	0.24	0.31	0.43	0.33	0.54	0.38
	Min	2.02	2.11	2.01	2.66	2.45	2.07	2.01	2.03	2.27
	Max	5.00	5.00	5.00	4.77	4.99	4.95	4.33	5.00	4.99
Fuel Gas Flow	Mean	16.64	19.05	16.17	15.62	16.16	17.43	17.40	17.11	17.15
	Std	1.21	1.52	1.07	0.98	1.30	1.02	1.09	0.83	1.11
	Min	11.74	15.37	13.19	9.01	11.21	14.29	13.68	14.63	13.79
	Max	28.39	25.04	21.85	20.79	28.08	23.18	22.15	20.94	22.72
Air Flow	Mean	222.25	231.33	209.55	204.12	209.81	231.66	225.70	234.79	230.17
	Std	11.28	12.55	11.68	10.68	14.25	7.79	8.26	6.15	8.76
	Min	151.2	206.04	166.32	135.66	157.50	208.32	196.14	214.20	202.86
	Max	333.9	286.49	274.68	262.08	337.26	280.98	264.60	261.66	277.62
Steam Flow	Mean	222.39	242.45	201.28	190.88	200.57	210.64	207.87	220.76	217.33
	Std	17.00	20.13	13.50	12.25	16.35	12.59	13.30	11.01	14.09
	Min	153.4	193.39	163.87	110.75	138.95	172.39	158.26	188.55	171.40
	Max	375.16	306.60	272.93	254.26	340.62	280.41	264.60	271.35	284.63
CH ₄	Mean	97.14	98.01	97.26	97.31	97.17	97.38	97.60	97.26	97.10
	Std	0.77	0.51	0.64	0.75	0.64	0.61	0.40	0.65	0.60
	Min	95.54	97.00	95.54	95.54	95.54	95.54	96.70	95.54	95.54
	Max	98.12	98.83	98.22	98.22	98.22	98.22	98.22	98.22	98.18
HHV	Mean	1021.91	1020.01	1025.07	1024.89	1025.75	1024.06	1022.65	1025.09	1026.21
	Std	5.73	3.74	4.84	5.73	4.83	4.40	3.12	4.86	4.63
	Min	1019.47	1014.21	1018.23	1018.23	1018.23	1018.23	1018.23	1018.23	1018.76
	Max	1038.42	1027.45	1038.42	1038.42	1038.42	1038.42	1030.65	1038.42	1038.42



Statistika	B-21	B-22	B-23	B-24	B-25	B-26	B-27	B-28	B-29
Mean	4.07	3.21	4.15	3.64	3.68	3.57	2.86	4.11	3.72
Std	0.43	0.77	0.41	0.23	0.33	0.42	0.33	0.56	0.40
Min	2.55	2.11	2.01	2.73	2.55	2.35	2.01	2.03	2.70
Max	5.00	5.00	5.00	4.40	4.98	4.95	4.33	5.00	4.99
Mean	16.32	18.41	16.22	15.98	16.35	17.35	17.40	17.05	17.03
Std	1.26	1.52	1.16	0.70	1.20	0.96	1.09	0.89	1.23
Min	13.68	15.37	16.68	16.26	13.95	14.29	13.68	14.63	13.79
Max	28.39	25.04	20.71	20.79	20.06	21.39	22.15	20.56	21.66
Mean	219.64	225.92	210.19	207.89	211.90	231.00	225.70	234.32	229.14
Std	10.17	11.28	12.64	7.70	13.18	7.28	8.26	6.62	9.70
Min	197.40	206.04	215.04	210.84	185.64	208.32	196.14	214.20	202.86
Max	333.90	286.49	260.40	262.08	253.26	262.50	264.60	259.98	266.70
Mean	216.91	234.00	201.93	195.31	202.93	209.41	207.87	219.90	215.73
Std	17.13	20.22	14.62	8.55	14.93	11.77	13.30	11.70	15.40
Min	180.83	193.39	208.52	198.71	171.79	172.39	158.26	188.55	171.40
Max	375.16	306.60	258.85	254.26	245.45	257.66	264.60	265.13	272.84
Mean	97.79	97.78	97.52	97.76	97.43	97.54	97.60	97.52	97.35
Std	0.33	0.34	0.39	0.37	0.37	0.40	0.40	0.39	0.30
Min	97.11	97.01	97.92	98.07	96.70	96.70	96.70	96.70	96.70
Max	98.12	98.35	98.22	98.22	98.22	98.22	98.22	98.22	98.18
Mean	1021.13	1022.20	1023.17	1021.45	1023.82	1023.05	1022.65	1023.15	1024.40
Std	2.10	2.43	2.99	2.52	2.91	3.00	3.12	2.98	2.48
Min	1019.47	1017.43	1025.01	1024.47	1018.23	1018.23	1018.23	1018.23	1018.76
Max	1025.28	1027.45	1030.65	1026.26	1030.65	1030.65	1030.65	1030.65	1030.65

HHV

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

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

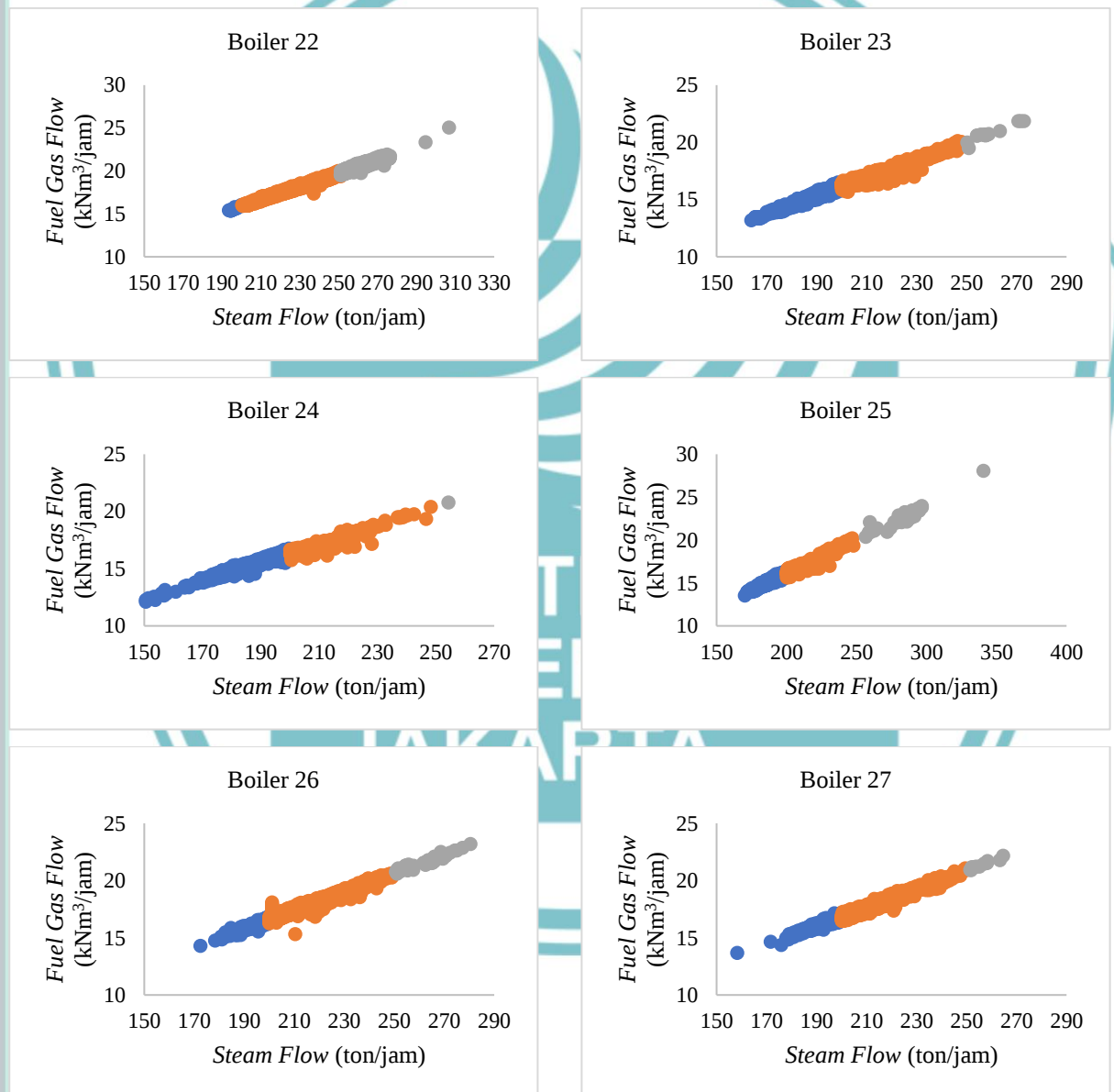
Hak Cipta :

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

Lampiran 2. Grafik antar variabel Boiler 22 – 29

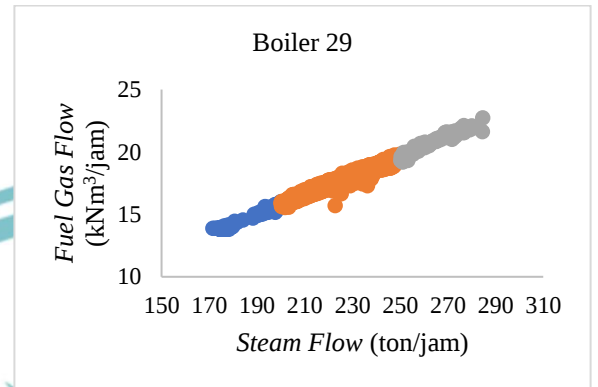
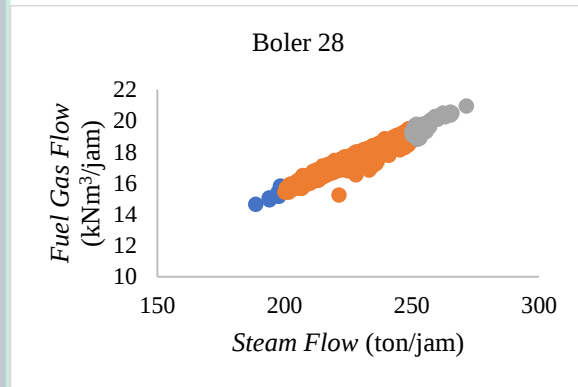
Untuk mengetahui karakteristik masing - masing *Boiler*, ini dibagi menjadi 3 *cluster* yaitu produksi *steam* <200 ton/jam (warna biru), 200 – 250 ton/jam (warna oranye) dan >250 ton/jam (warna abu).

Grafik *Steam* Terhadap *Fuel Gas Flow*

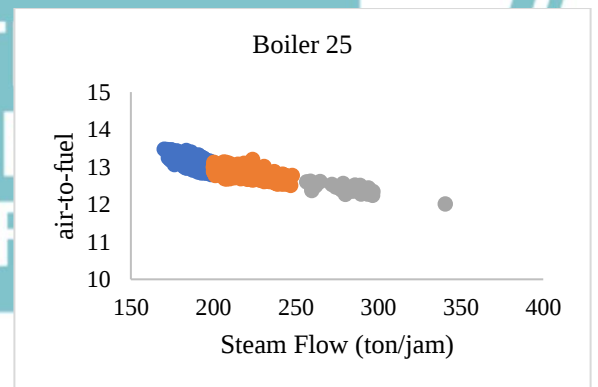
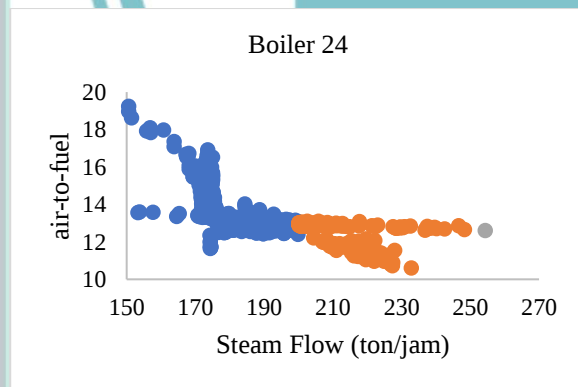
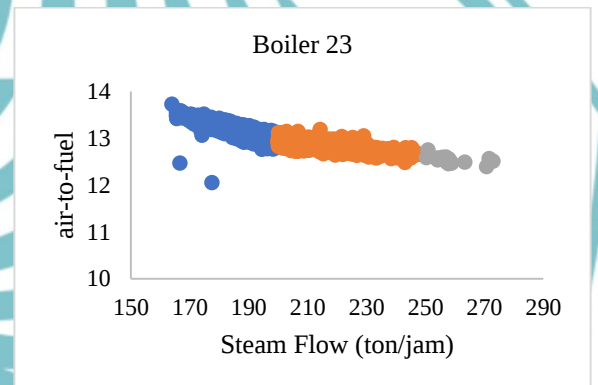
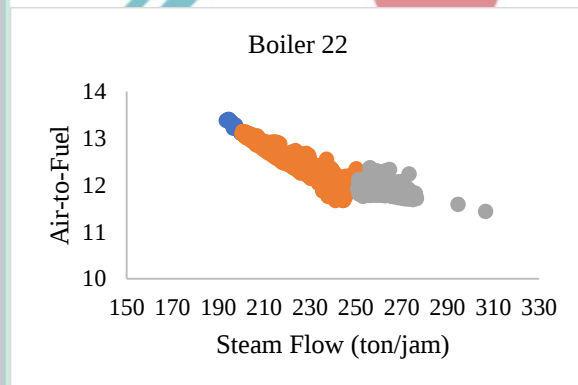


Hak Cipta :

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

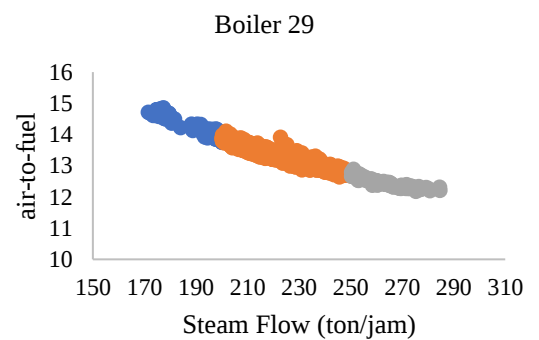
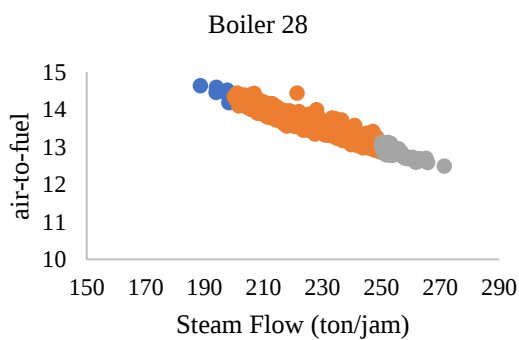
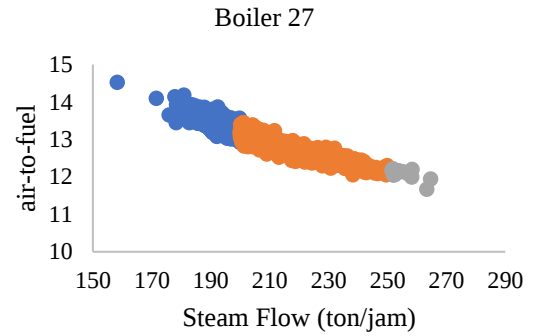
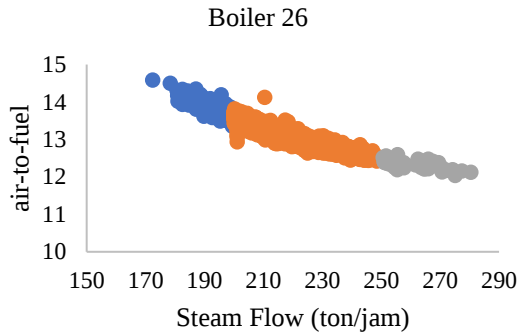


Grafik *Steam Flow* Terhadap *Air-to-Fuel*

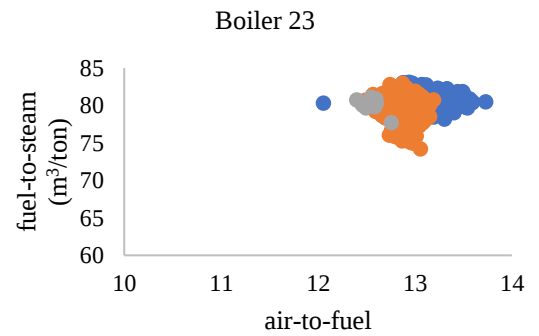
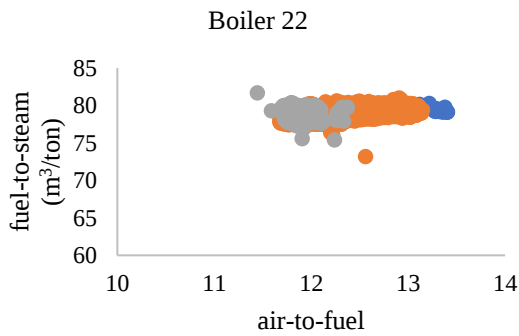


Hak Cipta :

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

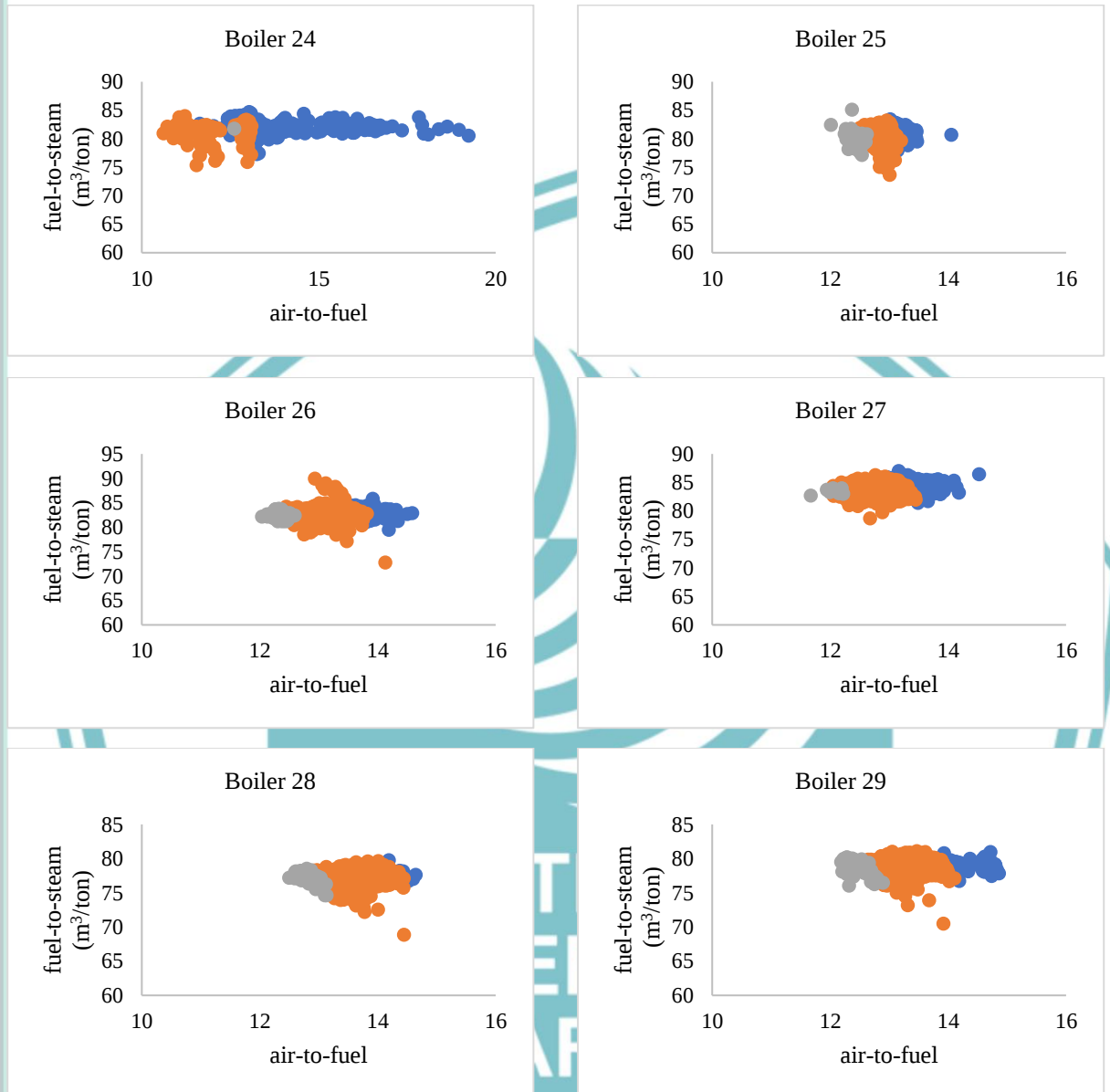


C. Grafik Air-to-Fuel Terhadap Fuel-to-steam

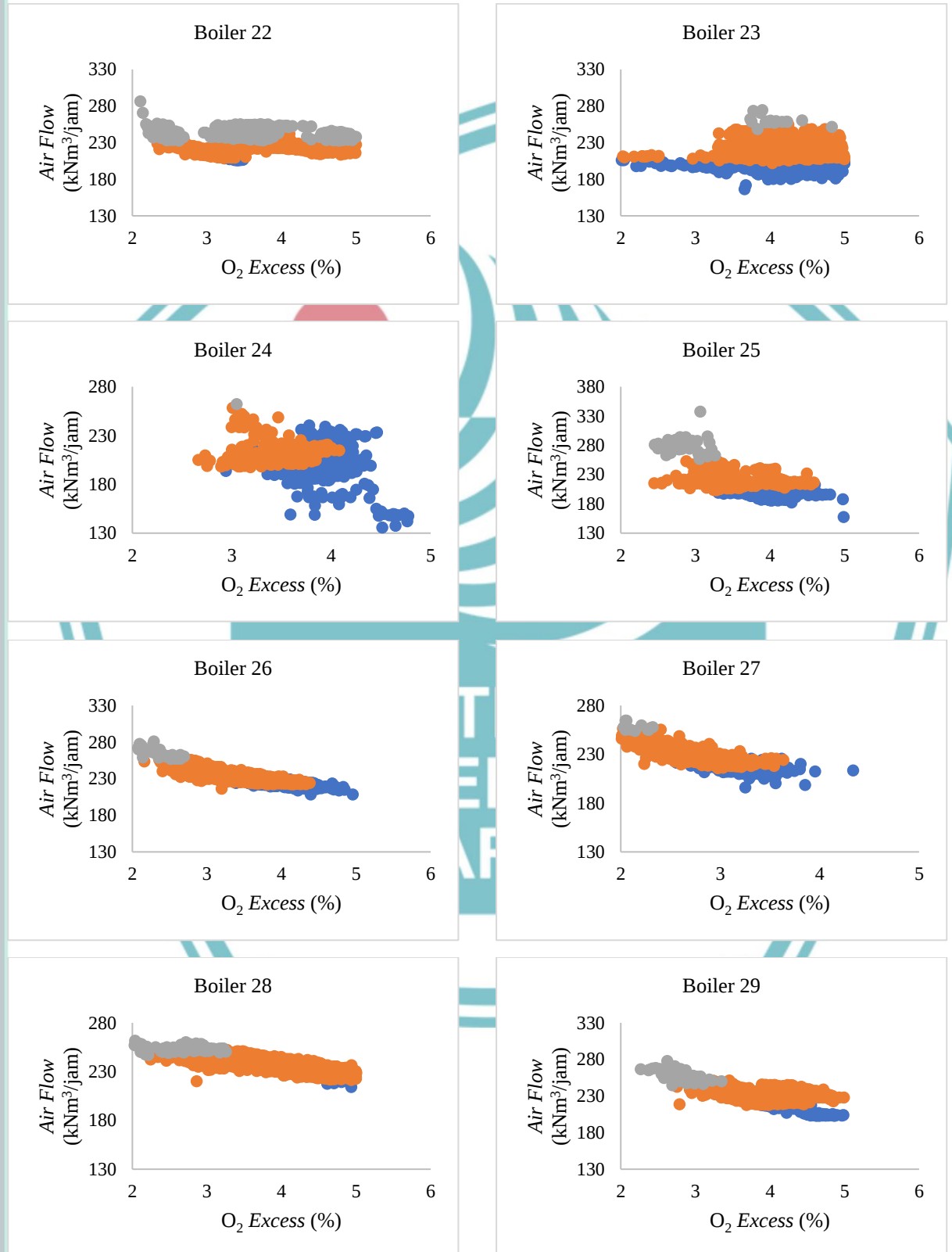


Hak Cipta :

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



Grafik O_2 Excess terhadap Air Flow



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

Lampiran 3. Data Komposisi *Fuel Gas*

Komposisi CH₄ dan HHV *Fuel Gas*

Data komposisi CH₄ dan HHV dari *fuel gas* hanya tersedia satu kali dalam seminggu, dengan rentang waktu pengambilan data dari 22 Juni 2023 hingga 23 Mei 2025, disesuaikan dengan periode pengambilan data pada *Boiler*.

DateTime	CH ₄ (%mol)	HHV (Btu/Scf)	DateTime	CH ₄ (%mol)	HHV (Btu/Scf)
2023-06-22 08:00:00	97.83	1020.925	2024-06-13 08:00:00	97.9525	1018.9
2023-06-29 08:00:00	97.8075	1021	2024-06-20 08:30:00	98.3525	1017.25
2023-07-06 08:00:00	97.5075	1022.225	2024-06-27 08:00:00	97.88	1020.2
2023-07-13 15:00:00	97.05	1025.425	2024-07-04 08:00:00	98.2375	1018.4
2023-07-20 08:30:00	98.21	1018.65	2024-07-11 11:30:00	98.2975	1018.05
2023-07-27 08:00:00	98.5175	1015.6	2024-07-18 09:00:00	97.8175	1023.4
2023-08-03 15:00:00	98.495	1015.025	2024-07-25 09:00:00	97.7825	1022.1
2023-08-10 08:00:00	98.8225	1014.275	2024-08-01 08:00:00	98.0725	1021.775
2023-08-17 08:00:00	98.6525	1016.075	2024-08-08 08:30:00	97.3325	1025.15
2023-08-24 08:00:00	98.64	1014.6	2024-08-15 08:00:00	98.2125	1018.9
2023-08-31 08:00:00	98.535	1016.725	2024-08-22 08:30:00	97.325	1025.25
2023-09-07 08:30:00	98.1425	1021.525	2024-08-29 08:00:00	97.835	1020.375
2023-09-14 09:00:00	97.0725	1025.9	2024-09-05 08:00:00	98.025	1020.3
2023-09-21 08:30:00	98.14	1014.65	2024-09-12 09:00:00	97.92	1019.5
2023-09-28 08:00:00	98.505	1015.75	2024-09-19 08:00:00	98.105	1019.775
2023-10-05 08:30:00	98.1825	1018.875	2024-09-26 08:00:00	98.1	1018.975
2023-10-12 11:00:00	98.25	1018.25	2024-10-03 08:00:00	98.1475	1019.125
2023-10-19 09:00:00	98.115	1020.35	2024-10-10 09:00:00	97.3475	1025.775
2023-10-26 08:00:00	98.26	1018.7	2024-10-17 08:00:00	97.8	1020.15
2023-11-02 08:00:00	96.54	1028.575	2024-10-24 08:00:00	97.5425	1023.675
2023-11-09 08:00:00	98.04	1018.35	2024-10-31 08:00:00	97.1725	1026.025
2023-11-16 08:00:00	98.6025	1016.25	2024-11-07 09:00:00	96.7	1030.625
2023-11-23 08:00:00	98.245	1018.625	2024-11-14 08:30:00	97.27	1024.85
2023-11-30 08:30:00	98.515	1017.325	2024-11-21 08:00:00	97.3225	1024.2
2023-12-07 08:00:00	97.5475	1020.55	2024-11-28 08:00:00	97.23	1023.95
2023-12-14 08:30:00	97.865	1020.275	2024-12-05 09:00:00	97.7625	1020.525
2023-12-21 08:00:00	96.605	1027.1	2024-12-12 08:00:00	97.1925	1025.925
2023-12-28 09:00:00	98.4375	1016.85	2024-12-19 08:00:00	97.25	1024.725
2024-01-04 08:00:00	98.23	1018.025	2024-12-26 08:00:00	97.225	1024.75
2024-01-11 08:00:00	98.3375	1016.65	2025-01-02 09:00:00	97.2025	1024.625
2024-01-18 08:00:00	98.1025	1017.975	2025-01-09 08:30:00	97.97	1019.95
2024-01-25 08:00:00	97.8375	1020.4	2025-01-16 08:00:00	96.9075	1026.275
2024-02-01 09:00:00	98.9525	1013.75	2025-01-23 08:00:00	96.65	1028.35
2024-02-08 08:30:00	98.785	1014.35	2025-01-30 09:00:00	94.375	1069.15
2024-02-15 08:00:00	98.0975	1018.375	2025-02-06 08:30:00	95.8575	1036.5
2024-02-22 08:30:00	97.37	1024.2	2025-02-13 08:00:00	96.7175	1029.6
2024-02-29 08:00:00	97.6275	1022.075	2025-02-20 08:30:00	97.01	1027.9

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



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

DateTime	CH ₄ (%mol)	HHV (Btu/Scf)	DateTime	CH ₄ (%mol)	HHV (Btu/Scf)
2024-03-07 08:30:00	98.125	1019.3	2025-02-27 09:00:00	96.7925	1026.225
2024-03-14 08:00:00	98.2425	1019.45	2025-03-06 08:30:00	97.1925	1024.1
2024-03-21 08:00:00	98.41	1019.6	2025-03-13 08:00:00	97.5	1021.525
2024-03-28 08:00:00	98.7125	1015.4	2025-03-20 08:00:00	97.415	1022.15
2024-04-04 08:30:00	98.1675	1021.8	2025-03-27 09:00:00	97.3275	1024.675
2024-04-11 08:00:00	97.1425	1032.95	2025-04-03 08:00:00	97.105	1026.275
2024-04-18 08:50:00	97.7825	1022.95	2025-04-10 08:00:00	96.2925	1029.925
2024-04-25 09:00:00	98.15	1019.45	2025-04-17 09:00:00	96.1625	1030.2
2024-05-02 08:30:00	98.0325	1019.1	2025-04-24 09:00:00	97.1475	1025.575
2024-05-09 08:00:00	97.32	1024.975	2025-05-01 08:00:00	96.9575	1026.8
2024-05-16 08:00:00	97.5775	1022.025	2025-05-08 15:00:00	96.7475	1030.8
2024-05-23 08:00:00	97.935	1019.5	2025-05-15 08:30:00	95.7	1030.1

Interpolasi Komposisi *Fuel Gas*

Berdasarkan penjelasan sebelumnya bahwa untuk menyamakan interval pengambilan data dengan variabel proses *Boiler* yaitu 1 jam, maka dilakukan interpolasi polynomial 2.

```
import pandas as pd
```

```
file_path = r"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\comp. fuel gas\komposisi fuel gas.xlsx"  
df_input = pd.read_excel(file_path, sheet_name='komposisi')  
df_input.columns = df_input.columns.str.strip()
```

```
df_input['DateTime'] = pd.to_datetime(df_input['DateTime'])  
df_input.set_index('DateTime', inplace=True)
```

```
df_resampled = df_input.resample('1h').mean()
```

```
df_hourly = df_resampled.interpolate(method='polynomial', order=2)
```

```
df_final = df_hourly.reset_index()
```

```
with pd.ExcelWriter(file_path, engine='openpyxl', mode='a', if_sheet_exists='replace') as writer:  
    df_final.to_excel(writer, sheet_name='Interpolasi_Per_Jam')  
  
print("Interpolasi berhasil disimpan ke sheet baru di file Excel!")
```

Interpolasi berhasil disimpan ke sheet baru di file Excel!

Lampiran 4. Kode Program Perancangan Model Setiap Boiler

Load File

```
# 1. Load Data
import pandas as pd

file_path = r"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\data boiler\model machine learning\B-21\0. Data Training B-21.xlsx"
df = pd.read_excel(file_path)
```

✓ 0.2s

```
data = ["O2 Excess", "Fuel Gas Flow", "Air Flow", "Steam Flow", "CH4", "HHV"]
```

✓ 0.0s

Data Understanding

```
df.head()
df.shape
df.info()
```

✓ 0.0s

```
<class 'pandas.core.frame.DataFrame'>
RangeIndex: 3129 entries, 0 to 3128
Data columns (total 6 columns):
#   Column      Non-Null Count  Dtype
---  -
0   O2 Excess    3129 non-null    float64
1   Fuel Gas Flow 3129 non-null    float64
2   Air Flow     3129 non-null    float64
3   Steam Flow   3129 non-null    float64
4   CH4          3129 non-null    float64
5   HHV          3129 non-null    float64
dtypes: float64(6)
memory usage: 146.8 KB
```

```
df.describe().T
```

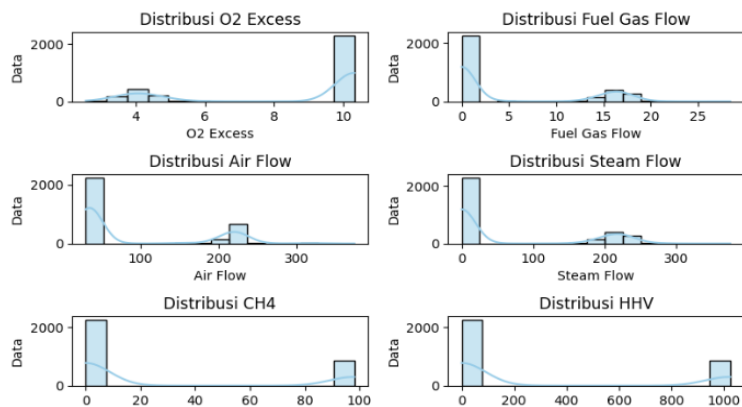
✓ 0.0s

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
O2 Excess	3129.0	8.655023	2.761233	2.548277	4.783819	10.318974	10.320496	10.325517
Fuel Gas Flow	3129.0	4.377578	7.208346	0.000000	0.000000	0.000000	14.288000	28.386000
Air Flow	3129.0	87.178926	84.292506	29.820000	34.020000	35.279999	202.020004	373.799988
Steam Flow	3129.0	57.703018	95.972997	0.000000	0.000000	0.000000	188.424240	375.163300
CH4	3129.0	27.036645	43.747747	0.000000	0.000000	0.000000	97.170755	98.116838
HHV	3129.0	282.286826	456.763520	0.000000	0.000000	0.000000	1019.542093	1025.275257

```
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns

plt.figure(figsize=(8, 6))
for i, var in enumerate(data):
    plt.subplot(4, 2, i + 1)
    sns.histplot(df[var], kde=True, color='skyblue')
    plt.title(f'Distribusi {var}')
    plt.xlabel(var)
    plt.ylabel('Data')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

✓ 1.0s



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

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

Pre-Processing Data

```
# Cek Missing Values
df[data] = df[data].apply(pd.to_numeric, errors="coerce")
print("Jumlah NaN sebelum drop:\n", df.isna().sum())
df.dropna(subset=data, inplace=True)
```

```
✓ 0.0s

Jumlah NaN sebelum drop:
O2 Excess      0
Fuel Gas Flow   0
Air Flow        0
Steam Flow      0
CH4             0
HHV            0
dtype: int64
```

```
# 3. Hapus outlier
df_cleaned = df[(df["Steam Flow"] > 100) & (df["Steam Flow"] < 379) & (df["Fuel Gas Flow"] > 12) & (df["O2 Excess"] > 2) & (df["O2 Excess"] < 5)]
```

```
df_cleaned.describe().T
```

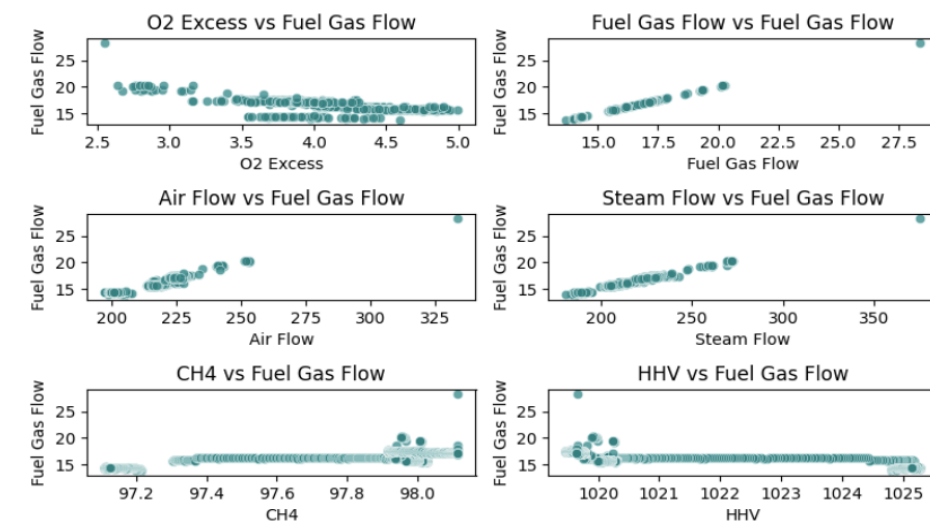
	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
O2 Excess	815.0	4.067226	0.430154	2.548277	3.760306	4.056653	4.340680	4.998541
Fuel Gas Flow	815.0	16.319485	1.256392	13.680000	15.694000	16.226000	17.233001	28.386000
Air Flow	815.0	219.635779	10.171794	197.399994	217.139999	219.660004	225.539993	333.899994
Steam Flow	815.0	216.914604	17.133693	180.834259	208.356224	216.721100	228.623863	375.163300
CH4	815.0	97.794606	0.330376	97.109304	97.611723	97.942853	98.019877	98.116838
HHV	815.0	1021.134927	2.103991	1019.474286	1019.730811	1020.066707	1022.159948	1025.275257

```
df_cleaned = df_cleaned.reset_index(drop=True)
```

```
# Scatter Plot

plt.figure(figsize=(8, 6))
for i, var in enumerate(data):
    plt.subplot(4, 2, i + 1)
    sns.scatterplot(data=df_cleaned, x=var, y='Fuel Gas Flow', alpha=0.7, color='teal')
    plt.title(f'{var} vs Fuel Gas Flow')
    plt.xlabel(var)
    plt.ylabel('Fuel Gas Flow')

plt.tight_layout()
plt.show()
```

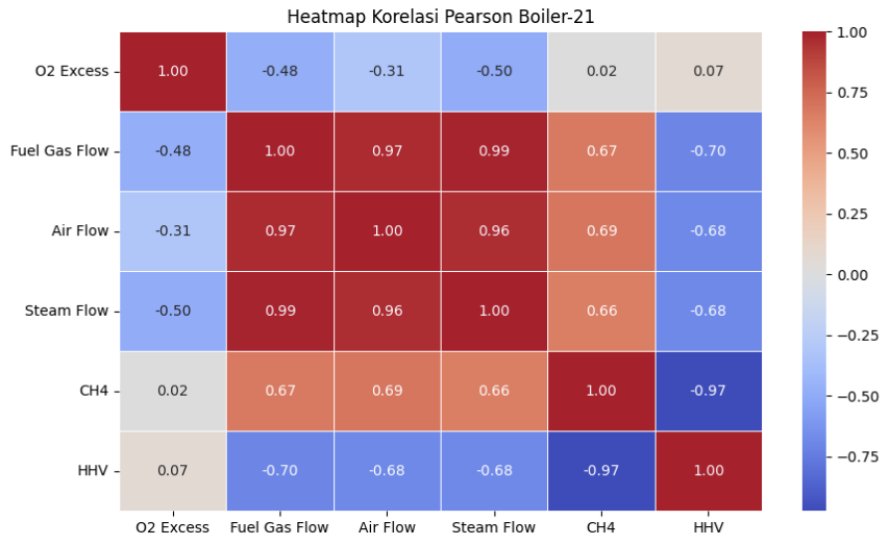


Hak Cipta :

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

```
# Uji Korelasi Koefisien
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import matplotlib as plot
correlation_matrix = df_cleaned.corr(method="pearson")
plt.figure(figsize=(10, 6))
sns.heatmap(correlation_matrix, annot=True, cmap="coolwarm", fmt=".2f", linewidths=0.5)
plt.title("Heatmap Korelasi Pearson Boiler-21")
plt.show()
```

✓ 0.2s



BANGUN MODEL

```
# Definisi Variabel Independen (x) dan Dependen (y)
X = df_cleaned.drop(columns=['Fuel Gas Flow'])
y = df_cleaned['Fuel Gas Flow']
```

✓ 0.0s

```
# Normalisasi Data
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler

scaler = MinMaxScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)
```

✓ 0.0s

```
# Train/Test Split
from sklearn.model_selection import train_test_split

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_scaled, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

✓ 0.0s

```
# Bangun Model XGBoost
from xgboost import XGBRegressor
from sklearn.model_selection import KFold, cross_val_score

kfold = KFold(n_splits=5, shuffle=True, random_state=42)
XGB = XGBRegressor(n_estimators=100, learning_rate=0.1, max_depth=5, random_state=42)
cv = cross_val_score(XGB, X_train, y_train, cv = kfold)
XGB.fit(X_train, y_train)
```

✓ 0.0s

```
XGBRegressor(
  base_score=None, booster=None, callbacks=None,
  colsample_bylevel=None, colsample_bynode=None,
  colsample_bytrees=None, device=None, early_stopping_rounds=None,
  enable_categorical=False, eval_metric=None, feature_types=None,
  gamma=None, grow_policy=None, importance_type=None,
  interaction_constraints=None, learning_rate=0.1, max_bin=None,
  max_cat_threshold=None, max_cat_to_onehot=None,
  max_delta_step=None, max_depth=5, max_leaves=None,
  min_child_weight=None, missing=nan, monotone_constraints=None,
  multi_strategy=None, n_estimators=100, n_jobs=None,
  num_parallel_tree=None, random_state=42, ...)

```

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

```
# Prediksi
y_pred = XGB.predict(X_test)
✓ 0.0s
```

Evaluasi Model

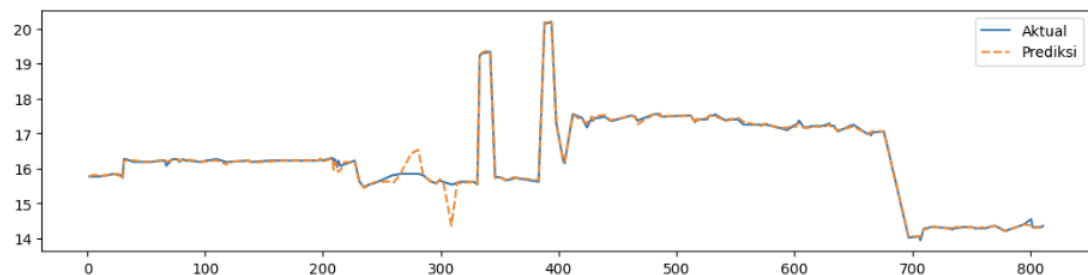
```
# Evaluasi Model
from sklearn.metrics import mean_absolute_error, r2_score
r2 = r2_score(y_test, y_pred)
mae = mean_absolute_error(y_test, y_pred)
r2, mae, y_test[:5], y_pred[:5]
✓ 0.0s

(0.9888256985314036,
0.05036332417119505,
196 16.226000
299 15.656000
388 20.139999
227 16.226000
664 17.024000
Name: Fuel Gas Flow, dtype: float64,
array([16.23239 , 15.688191, 20.179497, 16.182821, 16.996168],
      dtype=float32))
```

Grafik Aktual dan Prediksi

```
result = pd.DataFrame()
result['Aktual'] = y_test
result['Prediksi'] = y_pred

plt.figure(figsize= (13, 8))
sns.lineplot(result)
plt.show()
✓ 0.2s
```



Simpan Model

```
import joblib

# Simpan Model
joblib.dump(XGB, "XGB_model B-21.pkl")

# Simpan Scaler
joblib.dump(scaler, "scaler B-21.pkl")
✓ 0.0s
```

Lampiran 5. Kode Program Prediksi Model ke Dataset Uji

Load File Dataset Uji

```
file_path_uji = r"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\data boiler\model machine learning\B-21\1. Data testing B-21.xlsx"
df_uji = pd.read_excel(file_path_uji)
```

✓ 0.1s

```
data_uji = ["O2 Excess", "Fuel Gas Flow", "Air Flow", "Steam Flow", "CH4", "HHV"]
```

✓ 0.0s

Data Understanding

```
df_uji.describe().T
```

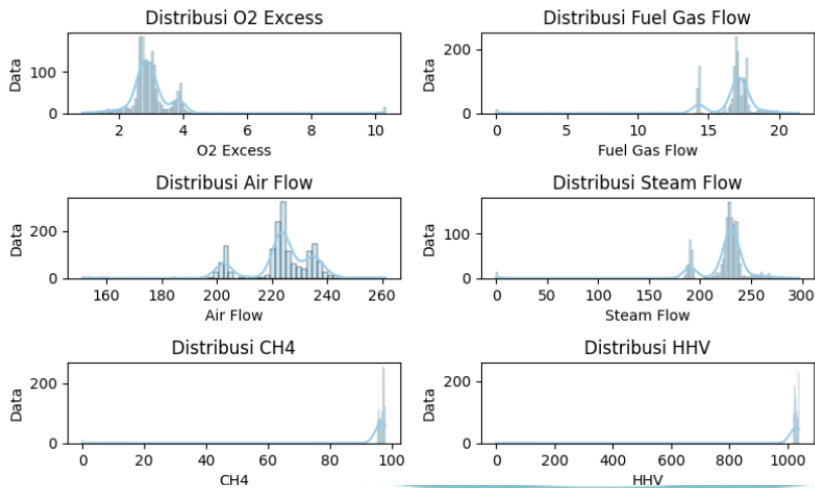
✓ 0.0s

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
O2 Excess	1633.0	3.002411	0.824793	0.853975	2.684165	2.893360	3.122711	10.323230
Fuel Gas Flow	1633.0	16.747296	1.912118	0.000000	16.796000	17.024000	17.556000	21.393999
Air Flow	1633.0	223.649357	11.943822	151.199997	221.339996	224.279999	232.679993	261.239990
Steam Flow	1633.0	224.669184	26.611693	0.000000	224.677048	229.495880	234.778229	297.142090
CH4	1633.0	96.054308	8.299085	0.000000	96.041796	96.961500	97.334756	97.971075
HHV	1633.0	1021.104151	88.059271	0.000000	1023.960792	1027.825512	1033.439323	1038.417394

```
plt.figure(figsize=(8, 6))
for i, var in enumerate(data):
    plt.subplot(4, 2, i + 1)
    sns.histplot(df_uji[var], kde=True, color='skyblue')
    plt.title(f'Distribusi {var}')
    plt.xlabel(var)
    plt.ylabel('Data')

plt.tight_layout()
plt.show()
```

✓ 2.1s



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



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

Data Pre-Processing

```
# Cek Missing Value
df_uji[data_uji] = df_uji[data_uji].apply(pd.to_numeric, errors="coerce")
print("Jumlah NaN sebelum drop:\n", df_uji.isna().sum())
df_uji.dropna(subset=data_uji, inplace=True)
```

✓ 0.0s

```
Jumlah NaN sebelum drop:
O2 Excess      0
Fuel Gas Flow  0
Air Flow       0
Steam Flow     0
CH4            0
HHV           0
dtype: int64
```

```
# Penghilangan Outliers
df_uji_cut = df_uji[(df_uji["Steam Flow"] > 100) & (df_uji["Steam Flow"] < 379) & (df_uji["Fuel Gas Flow"] > 12) & (df_uji["O2 Excess"] > 2) & (df_uji["O2 Excess"] < 5)]
```

✓ 0.0s

```
df_uji_cut.describe().T
```

✓ 0.0s

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
O2 Excess	1559.0	2.993490	0.432456	2.019546	2.705449	2.905212	3.125616	4.194631
Fuel Gas Flow	1559.0	16.807627	1.149249	14.174000	16.757999	17.024000	17.499000	19.836000
Air Flow	1559.0	223.626158	11.586913	151.199997	221.759995	224.279999	232.679993	261.239990
Steam Flow	1559.0	225.300003	16.113748	184.711273	224.607872	229.373184	234.250816	276.452179
CH4	1559.0	96.798269	0.709826	95.540761	96.159101	96.988312	97.344098	97.971075
HHV	1559.0	1028.407300	5.427278	1019.946715	1023.984659	1027.712424	1032.675367	1038.415671

Load kembali Model dan Scaler

```
model = joblib.load("XGB_model B-21.pkl")
scaler = joblib.load("scaler B-21.pkl")
```

✓ 0.0s

```
X_uji = df_uji_cut[X.columns]
```

✓ 0.0s

```
# Transformasi Scaler
X_uji_scaled = scaler.transform(X_uji)
```

✓ 0.0s

```
# Prediksi
y_pred_uji = model.predict(X_uji_scaled)
```

✓ 0.0s

```
df_uji_cut = df_uji_cut.copy()
df_uji_cut['Predicted Fuel Gas Flow'] = y_pred_uji
```

✓ 0.0s

Evaluasi Prediksi

```
from sklearn.metrics import r2_score, mean_absolute_error
r2_uji = r2_score(df_uji_cut['Fuel Gas Flow'], y_pred_uji)
mae_uji = mean_absolute_error(df_uji_cut['Fuel Gas Flow'], y_pred_uji)
print(f"R2 Data Uji: {r2_uji:.4f}")
print(f"MAE Data Uji: {mae_uji:.4f}")
```

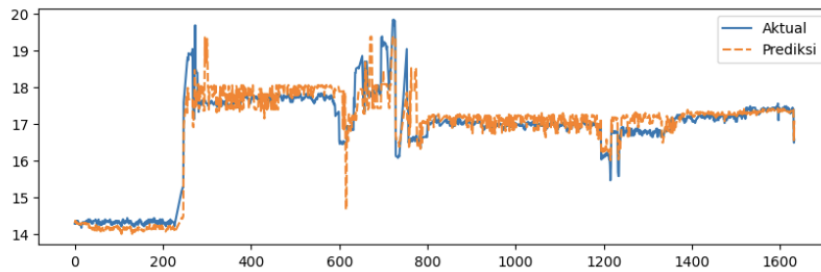
✓ 0.0s

R2 Data Uji: 0.8929
MAE Data Uji: 0.2529

```
result_uji = pd.DataFrame()
result_uji['Aktual'] = df_uji_cut['Fuel Gas Flow']
result_uji['Prediksi'] = y_pred_uji

plt.figure(figsize= (10, 3))
sns.lineplot(result_uji)
plt.show()
```

✓ 0.2s



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

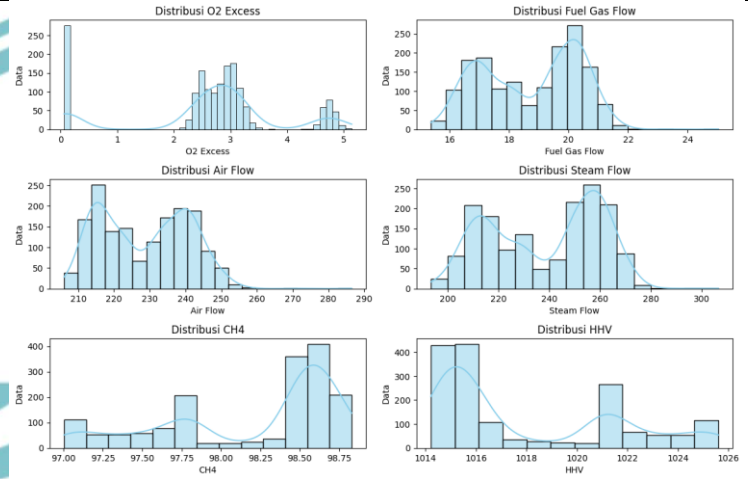
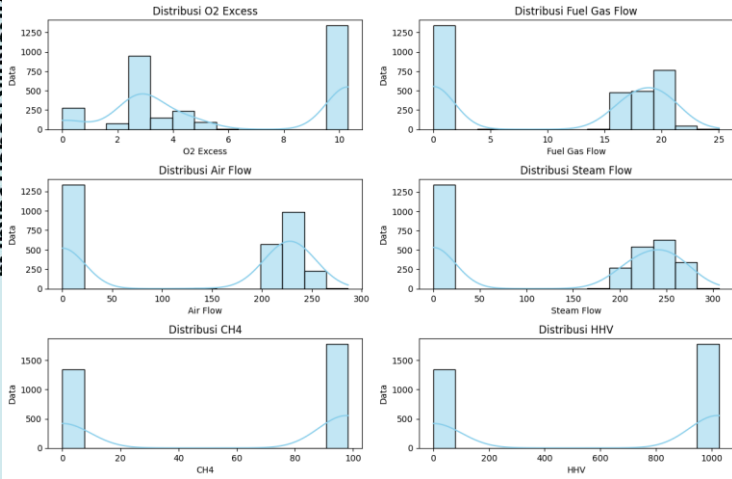


Lampiran 6. Sebaran Dataset dan Dataset Uji

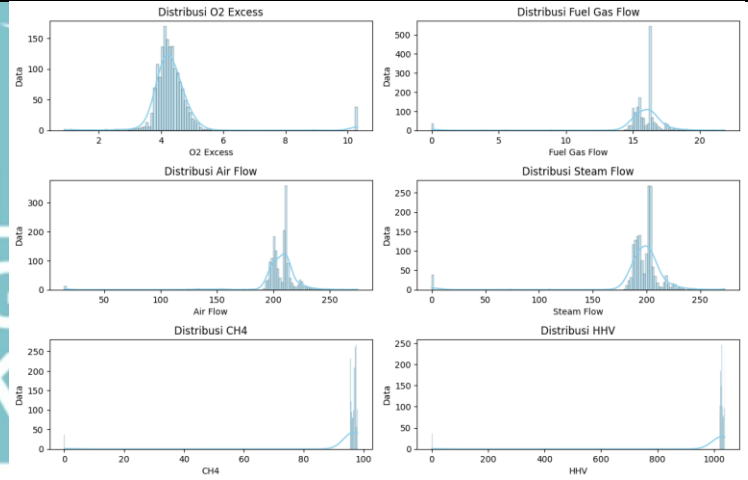
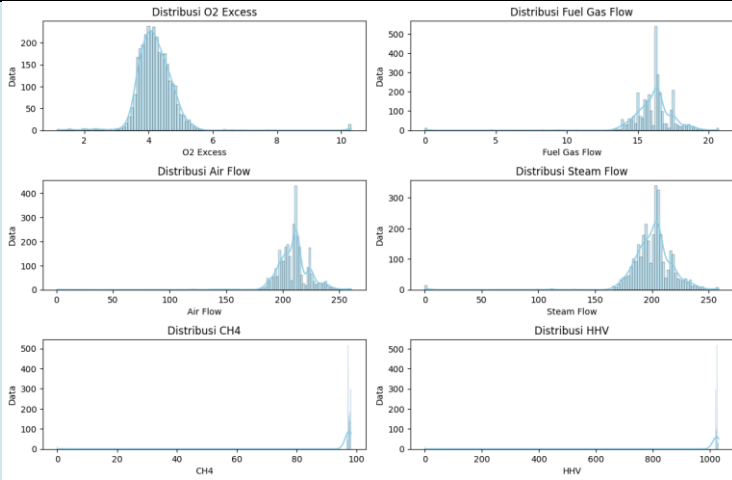
Dataset

Dataset Uji

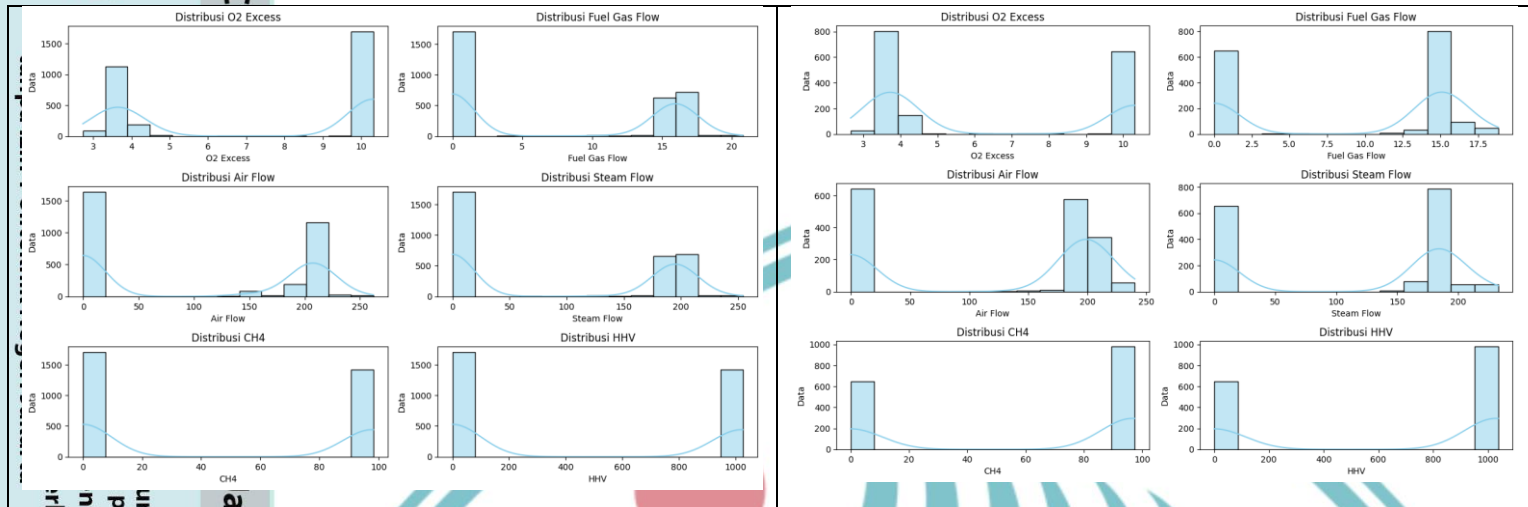
Boiler 22



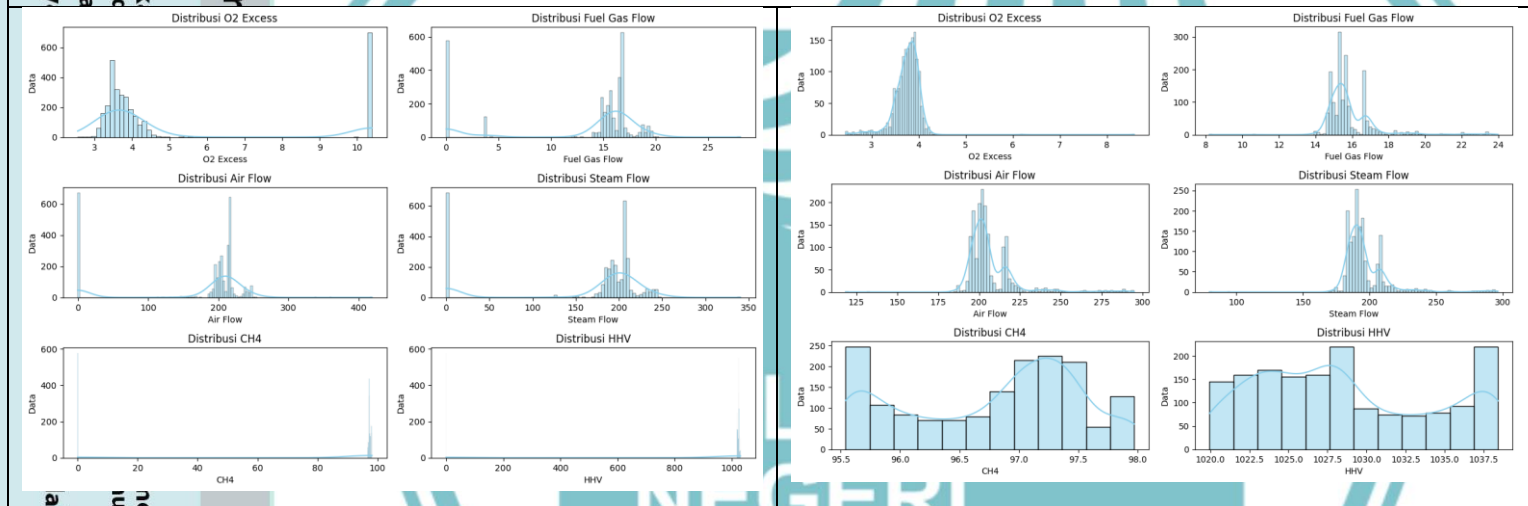
Boiler 23



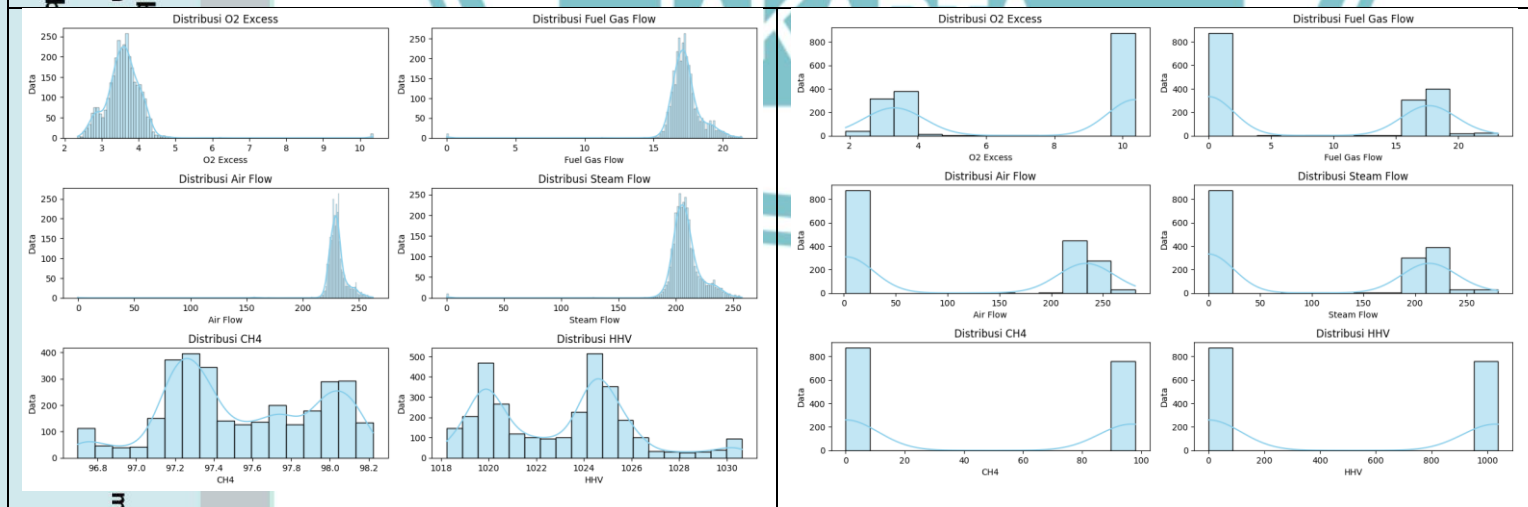
Boiler 24



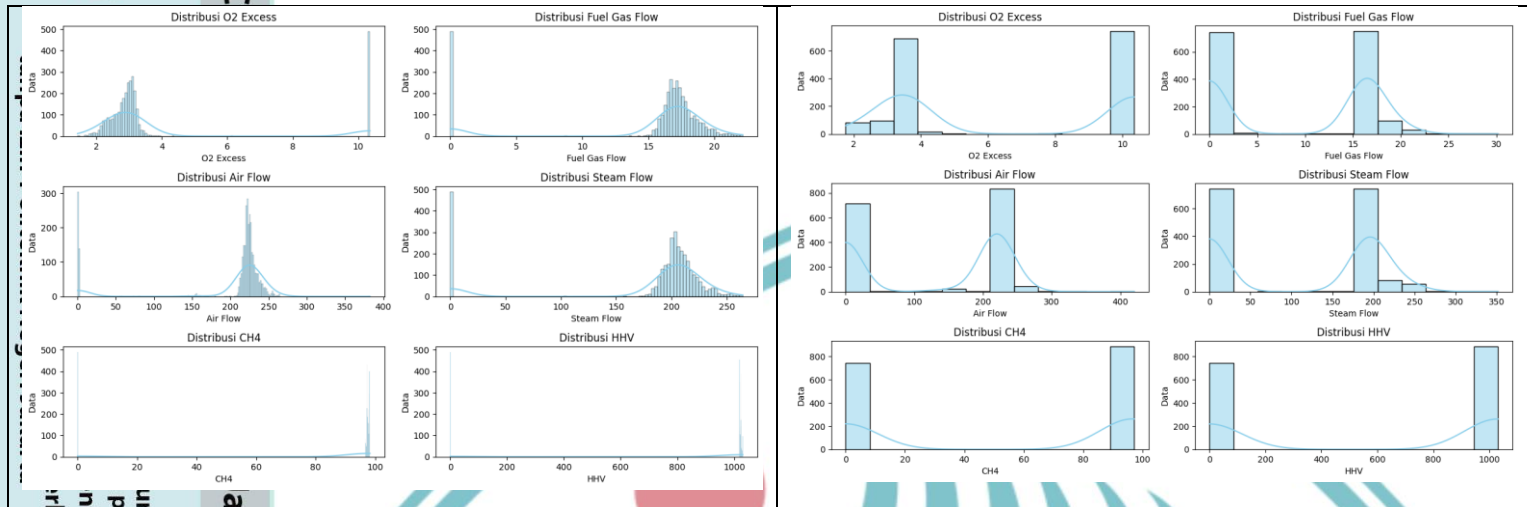
Boiler 25



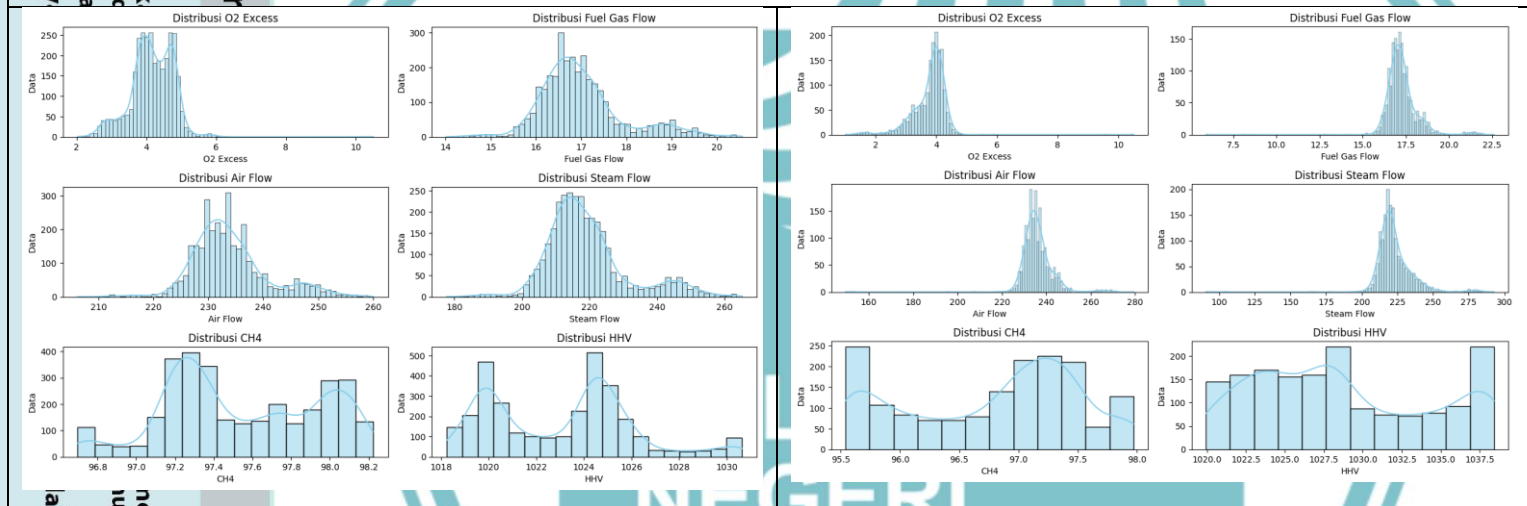
Boiler 26



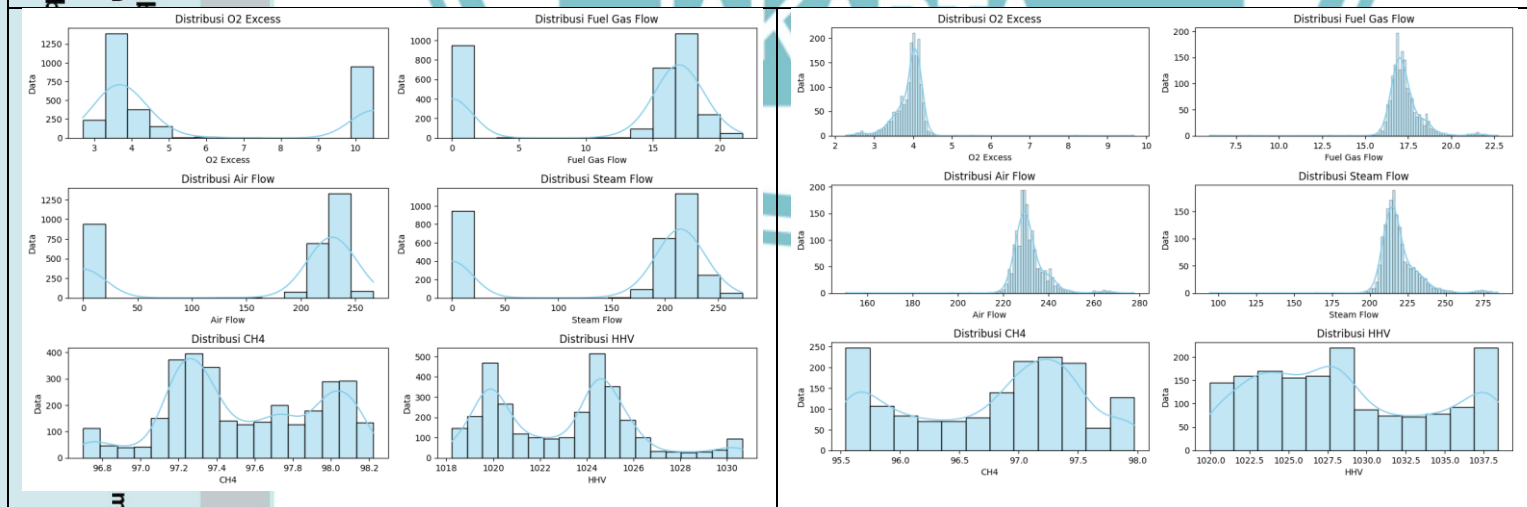
Boiler 27



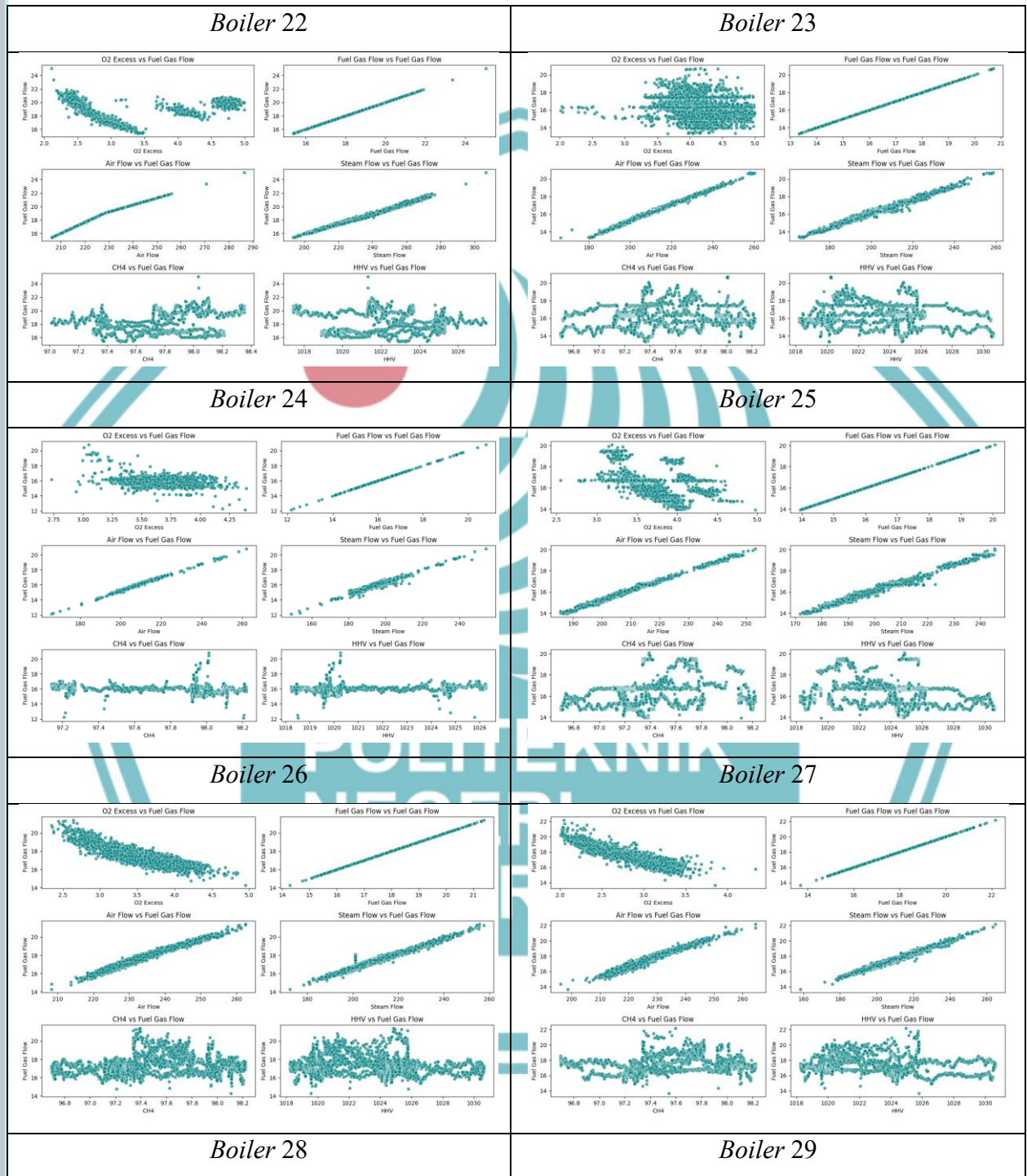
Boiler 28



Boiler 29



Lampiran 7. Scatter Plot Variabel Independen Terhadap Fuel Gas Flow



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. 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



The figure displays six correlation matrices, one for each boiler (Boiler 22 through Boiler 27). Each matrix is a 6x6 grid showing the correlation coefficients between six variables: O2 Excess, Fuel Gas Flow, Air Flow, Steam Flow, CH4, and HHV. The diagonal elements are all 1.00. The color scale ranges from dark red (positive correlation) to dark blue (negative correlation). The matrices are arranged in a 3x2 grid.

Boiler 22

	O2 Excess	Fuel Gas Flow	Air Flow	Steam Flow	CH4	HHV
O2 Excess	1.00	0.06	0.04	0.09	0.20	-0.35
Fuel Gas Flow	0.06	1.00	0.99	1.00	0.34	-0.14
Air Flow	0.04	0.99	1.00	0.99	0.37	-0.18
Steam Flow	0.09	1.00	0.99	1.00	0.34	-0.14
CH4	0.20	0.34	0.37	0.34	1.00	-0.94
HHV	-0.35	-0.14	-0.18	-0.14	-0.94	1.00

Boiler 23

	O2 Excess	Fuel Gas Flow	Air Flow	Steam Flow	CH4	HHV
O2 Excess	1.00	-0.22	-0.22	-0.28	0.52	-0.45
Fuel Gas Flow	-0.22	1.00	1.00	0.99	0.05	-0.10
Air Flow	-0.22	1.00	1.00	0.99	0.03	-0.08
Steam Flow	-0.28	0.99	0.99	1.00	0.01	-0.06
CH4	0.52	0.05	0.03	0.01	1.00	-0.97
HHV	-0.45	-0.10	-0.08	-0.06	-0.97	1.00

Boiler 24

	O2 Excess	Fuel Gas Flow	Air Flow	Steam Flow	CH4	HHV
O2 Excess	1.00	-0.36	-0.36	-0.47	-0.06	0.05
Fuel Gas Flow	-0.36	1.00	0.99	0.97	-0.22	0.22
Air Flow	-0.36	0.99	1.00	0.97	-0.22	0.21
Steam Flow	-0.47	0.97	0.97	1.00	-0.23	0.22
CH4	-0.06	-0.22	-0.22	-0.23	1.00	-0.98
HHV	0.05	0.22	0.21	0.22	-0.98	1.00

Boiler 25

	O2 Excess	Fuel Gas Flow	Air Flow	Steam Flow	CH4	HHV
O2 Excess	1.00	-0.55	-0.55	-0.60	0.42	-0.31
Fuel Gas Flow	-0.55	1.00	1.00	0.99	0.19	-0.22
Air Flow	-0.55	1.00	1.00	0.99	0.19	-0.22
Steam Flow	-0.60	0.99	0.99	1.00	0.16	-0.20
CH4	0.42	0.19	0.19	0.16	1.00	-0.97
HHV	-0.31	-0.22	-0.22	-0.20	-0.97	1.00

Boiler 26

	O2 Excess	Fuel Gas Flow	Air Flow	Steam Flow	CH4	HHV
O2 Excess	1.00	-0.36	-0.36	-0.47	-0.06	0.05
Fuel Gas Flow	-0.36	1.00	0.99	0.97	-0.22	0.22
Air Flow	-0.36	0.99	1.00	0.97	-0.22	0.21
Steam Flow	-0.47	0.97	0.97	1.00	-0.23	0.22
CH4	-0.06	-0.22	-0.22	-0.23	1.00	-0.98
HHV	0.05	0.22	0.21	0.22	-0.98	1.00

Boiler 27

	O2 Excess	Fuel Gas Flow	Air Flow	Steam Flow	CH4	HHV
O2 Excess	1.00	-0.55	-0.55	-0.60	0.42	-0.31
Fuel Gas Flow	-0.55	1.00	1.00	0.99	0.19	-0.22
Air Flow	-0.55	1.00	1.00	0.99	0.19	-0.22
Steam Flow	-0.60	0.99	0.99	1.00	0.16	-0.20
CH4	0.42	0.19	0.19	0.16	1.00	-0.97
HHV	-0.31	-0.22	-0.22	-0.20	-0.97	1.00

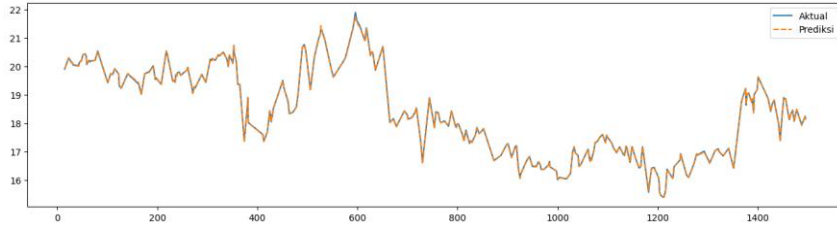
Hak Cipta :

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 mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Boiler 28							Boiler 29						
O ₂ Excess	1.00	-0.86	-0.86	-0.87	0.22	-0.16	O ₂ Excess	1.00	-0.89	-0.87	-0.88	0.07	-0.03
Fuel Gas Flow	-0.86	1.00	0.98	0.99	0.08	-0.11	Fuel Gas Flow	-0.89	1.00	0.98	0.99	0.12	-0.14
Air Flow	-0.86	0.98	1.00	0.97	0.08	-0.10	Air Flow	-0.87	0.98	1.00	0.97	0.13	-0.14
Steam Flow	-0.87	0.99	0.97	1.00	0.08	-0.11	Steam Flow	-0.88	0.99	0.97	1.00	0.15	-0.17
CH ₄	0.22	0.08	0.08	0.08	1.00	-0.97	CH ₄	0.07	0.12	0.13	0.15	1.00	-0.94
HHV	-0.16	-0.11	-0.10	-0.11	-0.97	1.00	HHV	-0.03	-0.14	-0.14	-0.17	-0.94	1.00
Boiler 28							Boiler 29						
O ₂ Excess	1.00	-0.85	-0.84	-0.87	0.36	-0.26	O ₂ Excess	1.00	-0.68	-0.68	-0.70	0.08	-0.05
Fuel Gas Flow	-0.85	1.00	0.99	0.99	0.00	-0.05	Fuel Gas Flow	-0.68	1.00	1.00	0.99	0.32	-0.22
Air Flow	-0.84	0.99	1.00	0.99	0.00	-0.05	Air Flow	-0.68	1.00	1.00	0.99	0.32	-0.22
Steam Flow	-0.87	0.99	0.99	1.00	-0.03	-0.03	Steam Flow	-0.70	0.99	0.99	1.00	0.31	-0.21
CH ₄	0.36	0.00	0.00	-0.03	1.00	-0.97	CH ₄	0.08	0.32	0.32	0.31	1.00	-0.95
HHV	-0.26	-0.05	-0.05	-0.03	-0.97	1.00	HHV	-0.05	-0.22	-0.22	-0.21	-0.95	1.00

Lampiran 9. Grafik Nilai Aktual dan Prediksi Model

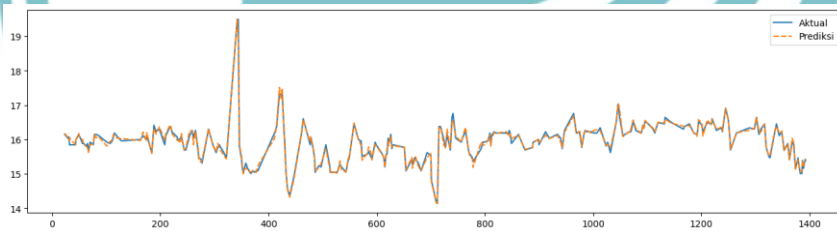
Boiler 22



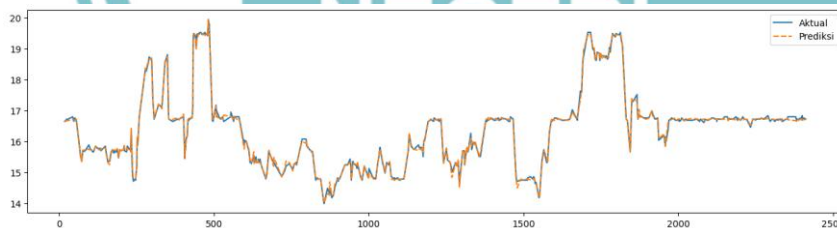
Boiler 23



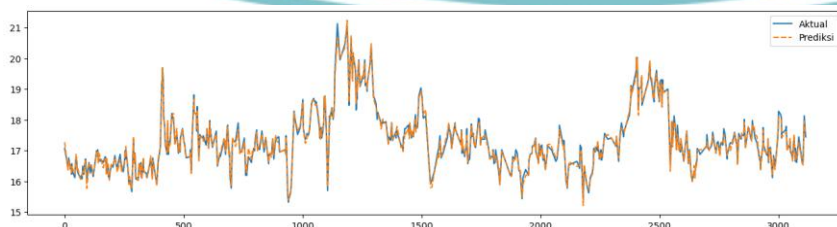
Boiler 24



Boiler 25



Boiler 26



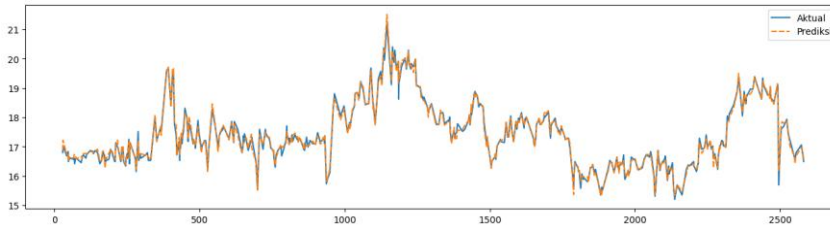
Hak Cipta :

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

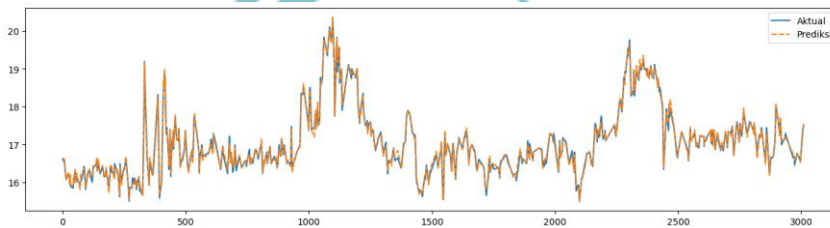
Hak Cipta :

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

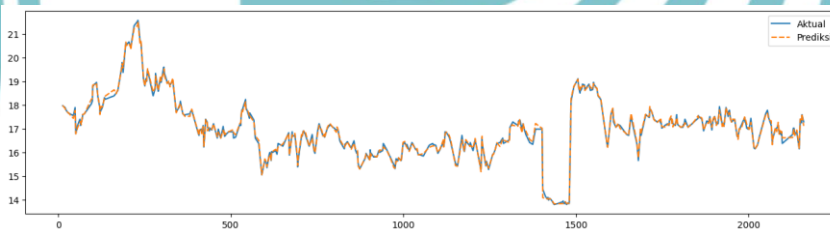
Boiler 27



Boiler 28

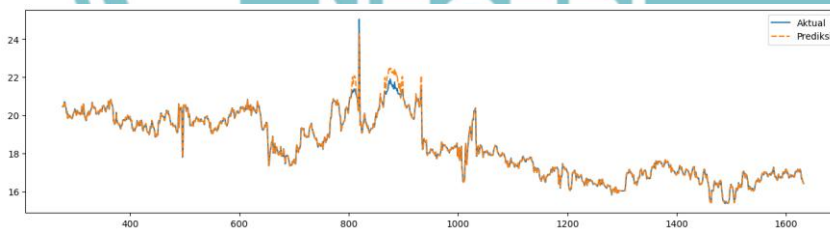


Boiler 29

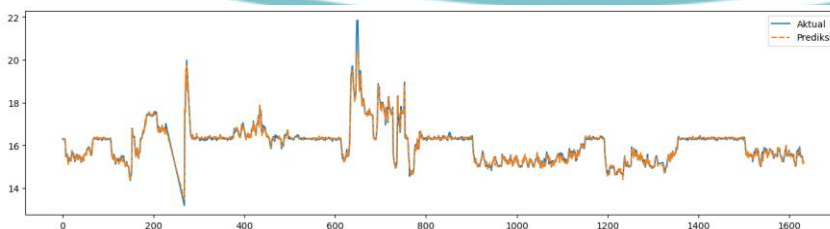


Lampiran 10. Grafik Nilai Aktual dan Prediksi Data Baru (Dataset Uji)

Boiler 22



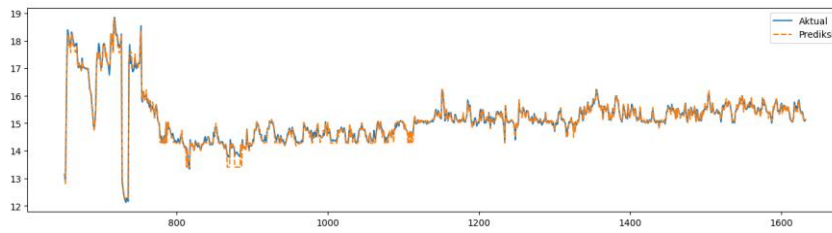
Boiler 23



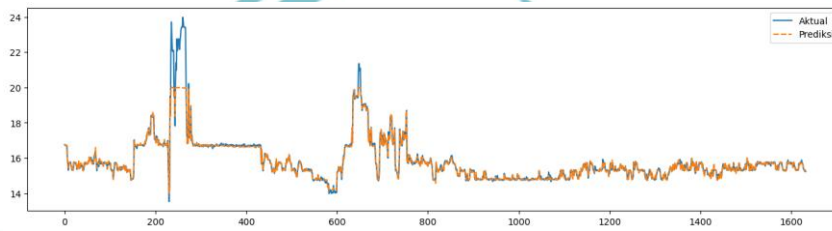
Hak Cipta :

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

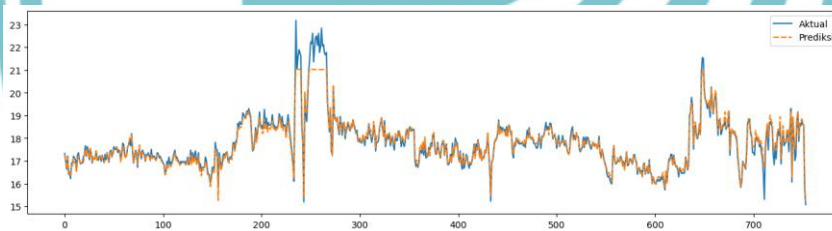
Boiler 24



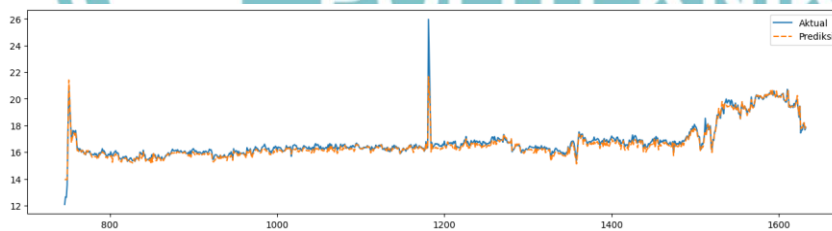
Boiler 25



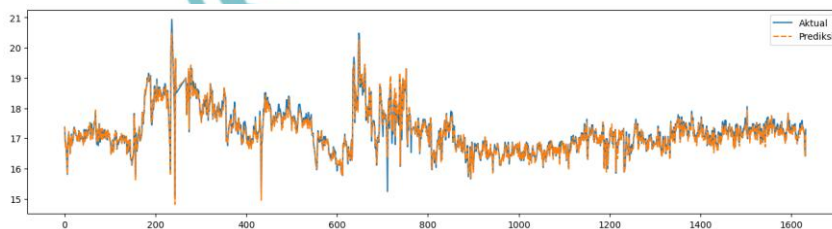
Boiler 26



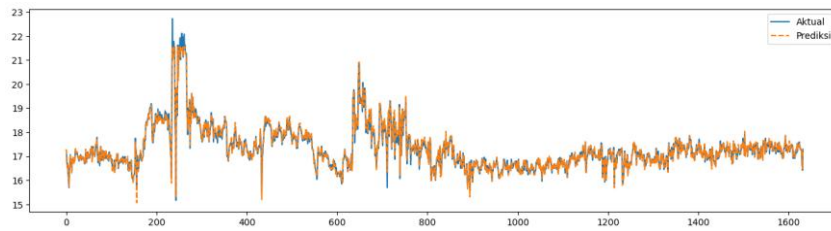
Boiler 27



Boiler 28



Boiler 29



Lampiran 11. Kode Program Optimasi Metode SLSQP

Import Library

```
from xgboost import XGBRegressor
import joblib
from scipy.optimize import minimize
import numpy as np
import pandas as pd
```

Load Model dan Scaler

```
models = {
    f"B-{i}": joblib.load(fr"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\data boiler\model machine learning\B-{i}\XGB_model B-{i}.pkl")
    for i in range(21, 30)
}
scalers = {
    f"B-{i}": joblib.load(fr"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\data boiler\model machine learning\B-{i}\scaler B-{i}.pkl")
    for i in range(21, 30)
}
```

```
boiler_names = ['B-21', 'B-22', 'B-23', 'B-24', 'B-25', 'B-26', 'B-27', 'B-28', 'B-29']
total_steam_load = 1400
boilers_off_list = ['B-21', 'B-22', 'B-24']
active_boilers = [i for i, name in enumerate(boiler_names) if name not in boilers_off_list]
n_boilers = len(active_boilers)
n_features = 5
steam_index = 2
```

```
features = ['O2 Excess', 'Air Flow', 'Steam Flow', 'CH4', 'HHV']
```

Nilai Tebakan Awal

```
guess = {
    "B-21": [3.4, 222.3, 222.1, 97.3, 1024.3],
    "B-22": [4.0, 231.3, 246.1, 97.3, 1024.3],
    "B-23": [4.2, 209.5, 201.1, 97.3, 1024.3],
    "B-24": [3.7, 204.1, 190.9, 97.3, 1024.3],
    "B-25": [3.7, 209.8, 200.5, 97.3, 1024.3],
    "B-26": [3.5, 231.6, 210.6, 97.3, 1024.3],
    "B-27": [2.9, 225.7, 207.9, 97.3, 1024.3],
    "B-28": [4.0, 234.8, 220.3, 97.3, 1024.3],
    "B-29": [3.8, 230.2, 217.3, 97.3, 1024.3]
}
```

Fungsi Objektif

```
def objective(X_flat):
    X = X_flat.reshape((n_boilers, n_features))

    total_fuel = 0
    for i, boiler in enumerate(active_boilers):
        name = boiler_names[boiler]
        model = models[name]
        scaler = scalers[name]
        X_df = pd.DataFrame([X[i]], columns=['O2 Excess', 'Air Flow', 'Steam Flow', 'CH4', 'HHV'])
        X_scaled = scaler.transform(X_df)
        y_pred = model.predict(X_scaled)[0]
        total_fuel += y_pred
    return total_fuel
```

- 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

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

Fungsi Kendala (Constraint)

```
def constraint_total_steam(X_flat):
    X = X_flat.reshape((n_boilers, n_features))
    return np.sum(X[:, steam_index]) - total_steam_load
```

✓ 0.0s

```
constraints = [{'type': 'eq', 'fun': constraint_total_steam}]
```

✓ 0.0s

Bounds (Batasan)

```
bounds = [
    (1, 6),          # O2
    (150, 300),      # Air Flow
    (150, 379),      # Steam
    (80, 99),        # CH4
    (900, 1200),     # HHV
] * n_boilers
```

✓ 0.0s

```
np.random.seed(0)
x0_data = [guess[boiler_names[i]] for i in active_boilers]
x0 = np.array(x0_data).flatten()
```

✓ 0.0s

Hasil optimasi

```
best_result = None
best_fuel = np.inf
for i in range(50):
    x0_try = x0 + np.random.normal(0, 0.3, size=x0.shape)
    result = minimize(objective, x0_try, method='SLSQP', bounds=bounds, constraints=constraints)
    if result.success and result.fun < best_fuel:
        best_result = result
        best_fuel = result.fun
```

✓ 33.9s

```
if best_result is not None and best_result.success and n_boilers > 0:
    optimal_inputs = best_result.x.reshape((n_boilers, n_features))
    data = []
    fuel = []
    for i, boiler_idx in enumerate(active_boilers):
        boiler_name = boiler_names[boiler_idx]
        model = models[boiler_name]
        scaler = scalers[boiler_name]
        X_df = pd.DataFrame([optimal_inputs[i]], columns=['O2 Excess', 'Air Flow', 'Steam Flow', 'CH4', 'HHV'])
        X_scaled = scaler.transform(X_df)
        y_pred = model.predict(X_scaled)[0]
        fuel.append(y_pred)

    row = {
        "Boiler": boiler_name,
        "O2 (%)": round(optimal_inputs[i][0], 2),
        "Air Flow": round(optimal_inputs[i][1], 2),
        "Steam (T/h)": round(optimal_inputs[i][2], 2),
        "CH4": round(optimal_inputs[i][3], 2),
        "HHV": round(optimal_inputs[i][4], 2),
        "Fuel Gas (kNm3/h)": round(y_pred, 2),
        "Ratio (Nm3/T)": round(y_pred / optimal_inputs[i][2] * 1000, 2)}
    data.append(row)

df_result = pd.DataFrame(data)
print(df_result.to_string(index=False))
```

✓ 0.0s

Boiler	O2 (%)	Air Flow	Steam (T/h)	CH4	HHV	Fuel Gas (kNm3/h)	Ratio (Nm3/T)
B-23	4.34	208.95	224.94	97.53	1024.48	16.290001	72.43
B-25	3.59	209.56	223.99	97.26	1024.64	16.299999	72.78
B-26	2.91	231.40	234.09	97.54	1024.13	18.469999	78.90
B-27	2.76	225.63	231.86	97.18	1023.39	18.639999	80.40
B-28	4.16	234.93	244.06	96.97	1024.41	17.700001	72.51
B-29	3.91	230.06	241.06	97.02	1024.25	17.450001	72.37

Lampiran 12. Kode Program Optimasi Metode Dual Annealing

```
from xgboost import XGBRegressor
import joblib
import numpy as np
import pandas as pd
from scipy.optimize import dual_annealing
```

```
models = {
    f"B-{i}": joblib.load(fr"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\data boiler\model machine learning\B-{i}\XGB_model B-{i}.pkl")
    for i in range(21, 30)
}
scalers = {
    f"B-{i}": joblib.load(fr"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\data boiler\model machine learning\B-{i}\scaler B-{i}.pkl")
    for i in range(21, 30)
}
```

```
boiler_names = ['B-21', 'B-22', 'B-23', 'B-24', 'B-25', 'B-26', 'B-27', 'B-28', 'B-29']
boilers_off_list = ['B-21', 'B-22', 'B-24']
active_boilers = [i for i, name in enumerate(boiler_names) if name not in boilers_off_list]
```

```
n_boilers = len(active_boilers)
n_features = 5
steam_index = 2
features = ['O2 Excess', 'Air Flow', 'Steam Flow', 'CH4', 'HHV']
total_steam_load = 1200
```

```
def objective_with_penalty(X_flat):
    X = X_flat.reshape((n_boilers, n_features))
    fs_ratios = []
    total_steam = 0
    penalty = 0

    for i, boiler in enumerate(active_boilers):
        name = boiler_names[boiler]
        model = models[name]
        scaler = scalers[name]
        row = X[i]

        flow_air = row[1]
        flow_steam = row[2]

        # Penalti jika rasio udara terhadap steam <= 1:1
        air_steam_ratio = flow_air / flow_steam
        if air_steam_ratio < 1:
            penalty += 1e5 * (1 - air_steam_ratio)

        # Prediksi fuel gas
        X_df = pd.DataFrame([row], columns=features)
        X_scaled = scaler.transform(X_df)
        y_pred = model.predict(X_scaled)[0]

        total_steam += flow_steam
        fs_ratio = (y_pred * 1000) / flow_steam
        fs_ratios.append(fs_ratio)

    # Penalti jika total steam tidak sesuai
    penalty += 1e6 * abs(total_steam - total_steam_load)

    return np.mean(fs_ratios) + penalty
```

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

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

```
min = 150
max = 250
```

```
bounds = [
    (2, 5),          # O2 Excess
    (150, 250),      # Air Flow
    (min, max),      # Steam Flow
    (95, 99),        # C1
    (1000, 1100),    # HHV
] * n_boilers
```

```
result = dual_annealing(objective_with_penalty, bounds=bounds, maxiter=100)
```

```
if result.success:
    optimal_inputs = result.x.reshape((n_boilers, n_features))
    data = []
    for i, boiler_idx in enumerate(active_boilers):
        boiler_name = boiler_names[boiler_idx]
        model = models[boiler_name]
        scaler = scalers[boiler_name]
        X_df = pd.DataFrame([optimal_inputs[i]], columns=features)
        X_scaled = scaler.transform(X_df)
        y_pred = model.predict(X_scaled)[0]
        row = {
            "Boiler": boiler_name,
            "O2 (%)": round(optimal_inputs[i][0], 2),
            "Flow Air Combustion": round(optimal_inputs[i][1], 2),
            "Steam (T/h)": round(optimal_inputs[i][2], 2),
            "C1": round(optimal_inputs[i][3], 2),
            "HHV": round(optimal_inputs[i][4], 2),
            "Fuel Gas (Nm3/h)": round(y_pred, 2),
            "Ratio (Nm3/T)": round(y_pred / optimal_inputs[i][2] * 1000, 2),
            "Air/Fuel Ratio (Nm3/T)": round(optimal_inputs[i][1] / y_pred, 2)
        }
        data.append(row)

    df_result = pd.DataFrame(data)
    print(df_result.to_string(index=False))
else:
    print("Optimasi Simulated Annealing gagal.")
```

Boiler	O2 (%)	Flow Air Combustion	Steam (T/h)	C1	HHV	Fuel Gas (Nm3/h)	Ratio (Nm3/T)	Air/Fuel Ratio (Nm3/T)
B-23	3.85	166.96	164.19	98.84	1089.66	13.390000	81.54	12.47
B-25	3.16	200.71	200.18	96.56	1021.34	15.450000	77.19	12.99
B-26	2.14	234.71	234.52	97.91	1044.47	18.440001	78.63	12.73
B-27	4.32	188.12	187.30	98.69	1056.54	14.670000	78.30	12.83
B-28	3.69	201.09	197.68	96.35	1019.04	14.730000	74.50	13.66
B-29	4.47	216.15	216.13	97.59	1008.65	15.570000	72.04	13.88

Lampiran 13. Kode Program Ekspor Optimasi *Python* ke *Excel*

```
import numpy as np
import pandas as pd
import joblib
from xgboost import XGBRegressor
from scipy.optimize import dual_annealing

import xlwings as xw

@xw.sub
def run_optimasi_boiler():
    wb = xw.Book.caller()
    sht = wb.sheets['Sheet1']

    # === Load model dan scaler ===
    boiler_names = [f'B-{i}' for i in range(21, 30)]
    models = {}
    scalars = {}

    for name in boiler_names:
        model_path = fr"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\data boiler\model machine learning\{name}\XGB_model {name}.pk1"
        scaler_path = fr"C:\Users\ASUS\Documents\SKRIPSI\data boiler\model machine learning\{name}\scaler {name}.pk1"
        models[name] = joblib.load(model_path)
        scalars[name] = joblib.load(scaler_path)

    # === Konfigurasi ===
    boiler_data = sht.range("A3:B11").value
    boiler_statuses = [int(row[1]) for row in boiler_data]
    total_steam_load = sht.range("B1").value
    boilers_off_list = [boiler_names[i] for i, status in enumerate(boiler_statuses) if status == 0]
    active_boilers = [i for i, name in enumerate(boiler_names) if name not in boilers_off_list]
    n_boilers = len(active_boilers)
    n_features = 5
    features = ['O2 Excess', 'Air Flow', 'Steam Flow', 'CH4', 'HHV']
    min_fs = sht.range("M2").value
    max_fs = sht.range("M3").value
    min_af = sht.range("M5").value
    max_af = sht.range("M6").value
```

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

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

```
# === Objective Function ===
def objective(X_flat):
    X = X_flat.reshape((n_boilers, n_features))
    fs_ratios = []
    total_steam = 0
    penalty = 0
    for i, boiler in enumerate(active_boilers):
        name = boiler_names[boiler]
        model = models[name]
        scaler = scalers[name]
        row = X[i]

        flow_air = row[1]
        flow_steam = row[2]
        air_steam_ratio = flow_air / flow_steam
        if air_steam_ratio < 1:
            penalty += 1e5 * (1 - air_steam_ratio)
        X_df = pd.DataFrame([row], columns=features)
        X_scaled = scaler.transform(X_df)
        y_pred = model.predict(X_scaled)[0]

        total_steam += flow_steam
        fs_ratio = (y_pred * 1000) / flow_steam
        fs_ratios.append(fs_ratio)
    penalty += 1e6 * abs(total_steam - total_steam_load)
    return np.mean(fs_ratios) + penalty

def predict_fuel(boiler_name, X_row):
    model = models[boiler_name]
    scaler = scalers[boiler_name]
    X_df = pd.DataFrame([X_row], columns=features)
    X_scaled = scaler.transform(X_df)
    return model.predict(X_scaled)[0]

bounds = [(2, 5), (min_af, max_af), (min_fs, max_fs), (95, 99), (1000, 1100)] * n_boilers

result = dual_annealing(objective, bounds=bounds, maxiter=100)

# === Output hasil ===
if result is not None and result.success and len(active_boilers) > 0:
    optimal_inputs = result.x.reshape((n_boilers, n_features))
    data = []
    fuel_preds = []
    for i, name in enumerate(boiler_names):
        if i in active_boilers:
            boiler_idx = active_boilers.index(i)
            values = [round(val, 2) for val in optimal_inputs[boiler_idx]]
            fuel_pred = round(predict_fuel(name, optimal_inputs[boiler_idx]), 2)
        else:
            values = ["", "", "", "", ""]
            fuel_pred = ""
        data.append(values)
        fuel_preds.append([fuel_pred])

    #row_num = 3 + i
    sht.range("C3").value = data
    sht.range("I3").value = fuel_preds
    sht.range("C13").value = "Total Fuel Gas:"
    sht.range("D13").value = round(result.fun, 2)
```

Lampiran 14. Hasil Simulasi Konfigurasi Steam Load Management *Optimized*

Dengan Variasi Total Steam 1100, 1200, 1300, 1400 ton/jam.

Skenario 1: Boiler 21, 22, 24 Tidak Aktif

Boiler	O ₂ Excess	Air Flow	Steam Flow	CH ₄	HHV	Fuel Gas Flow	F/S	AFR	Total Fuel	Avg. F/S
	%	kNm ³ /jam	ton/jam	%mol	Btu/Scf	kNm ³ /jam	m ³ /ton		kNm ³ /jam	m ³ /ton
B-21	0	0	0	0	0	0	0	0	87.75	79.90
B-22	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-23	3.35	217.11	214.75	96.14	1007.96	16.74	77.95	12.97		
B-24	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-25	2.57	186.42	183.35	97.63	1089.10	14.34	78.21	13.00		
B-26	4.99	195.36	181.17	98.00	1048.44	14.39	79.43	13.58		
B-27	3.76	194.23	163.81	97.46	1059.15	13.78	84.12	14.10		
B-28	4.96	205.68	183.49	95.39	1014.93	14.65	79.84	14.04		
B-29	4.66	182.81	173.43	98.48	1013.81	13.85	79.86	13.20		
B-21	0	0	0	0	0	0	0	0	92.25	77.04
B-22	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-23	3.85	166.96	164.19	98.84	1089.66	13.39	81.55	12.47		
B-24	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-25	3.16	200.71	200.18	96.56	1021.34	15.45	77.18	12.99		
B-26	2.14	234.71	234.52	97.91	1044.47	18.44	78.63	12.73		
B-27	4.32	188.12	187.30	98.69	1056.54	14.67	78.32	12.82		
B-28	3.69	201.09	197.68	96.35	1019.04	14.73	74.51	13.65		
B-29	4.47	216.15	216.13	97.59	1008.65	15.57	72.04	13.88		
B-21	0	0	0	0	0	0	0	0	100.18	77.10
B-22	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-23	2.23	195.78	195.47	98.48	1094.28	15.13	77.40	12.94		
B-24	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-25	2.77	249.76	247.58	98.70	1089.05	19.41	78.40	12.87		
B-26	2.58	214.05	211.21	97.97	1027.12	16.50	78.12	12.97		
B-27	4.78	198.91	196.97	97.46	1088.46	15.66	79.50	12.70		
B-28	4.98	220.07	219.63	97.31	1048.64	16.22	73.85	13.57		
B-29	3.27	229.37	229.14	98.97	1075.41	17.26	75.33	13.29		
B-21	0	0	0	0	0	0	0	0	109.74	78.38
B-22	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-23	3.21	230.96	230.35	95.34	1040.59	17.96	77.97	12.86		
B-24	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-25	2.19	249.63	246.75	98.28	1046.76	19.41	78.66	12.86		
B-26	2.49	241.04	240.90	98.05	1027.10	19.10	79.29	12.62		
B-27	3.61	215.68	213.55	96.90	1061.52	17.42	81.57	12.38		
B-28	2.53	220.09	219.20	97.50	1065.18	16.30	74.36	13.50		
B-29	3.59	249.24	249.25	96.33	1098.23	19.55	78.44	12.75		

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, pengkajian karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritis 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

Skenario 2: Boiler 22, 24, 25 Tidak Aktif

- Hak Cipta:**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber.
 2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Boiler	O2 Excess %	Air Flow kNm ³ /jam	Steam Flow ton/jam	CH4 %mol	HHV Btu/Scf	Fuel Gas Flow kNm ³ /jam	F/S m ³ /ton	AFR	Total Fuel kNm ³ /jam	Avg. F/S m ³ /ton
B-21	4.93	199.03	180.72	98.00	1023.15	13.75	76.08	776.37	84.45	76.77
B-22	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-23	4.18	182.84	182.12	98.70	1038.65	14.04	77.09	781.07		
B-24	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-25	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-26	4.99	185.34	184.97	97.81	1023.59	14.38	77.74	794.83		
B-27	4.70	193.47	178.65	97.54	1026.44	13.76	77.02	789.65		
B-28	4.96	193.19	189.21	96.35	1012.36	14.65	77.43	803.60		
B-29	4.51	197.51	184.31	98.26	1003.89	13.87	75.25	765.86		
B-21	4.61	185.81	177.84	98.88	1061.66	13.70	77.04	779.08	92.79	77.60
B-22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
B-23	3.83	247.01	243.20	97.36	1049.02	19.25	79.15	12.83		
B-24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
B-25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
B-26	2.36	207.42	182.25	97.83	1052.55	14.56	79.89	14.25		
B-27	4.98	175.00	164.30	97.31	1025.70	13.77	83.81	12.71		
B-28	3.92	221.34	220.97	97.34	1077.19	16.31	73.81	13.57		
B-29	4.54	212.83	211.45	97.59	1006.33	15.20	71.88	14.00		
B-21	2.15	240.84	240.52	98.47	1021.46	18.52	77.00	13.00	100.37	77.07
B-22	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-23	2.10	236.21	235.54	95.95	1096.94	18.55	78.76	12.73		
B-24	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-25	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-26	2.36	213.08	212.30	97.92	1028.17	16.57	78.05	12.86		
B-27	3.62	227.97	225.19	95.98	1040.87	18.01	79.98	12.66		
B-28	4.98	208.09	193.21	97.34	1053.40	14.66	75.88	14.19		
B-29	4.46	202.27	193.23	97.64	1001.43	14.06	72.76	14.39		
B-21	4.47	226.65	224.56	98.39	1054.67	16.94	75.44	13.38	108.53	77.44
B-22	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-23	4.28	242.98	242.64	95.92	1048.24	19.01	78.35	12.78		
B-24	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-25	0	0	0	0	0	0	0.00	0.00		
B-26	2.56	233.38	231.59	98.65	1006.91	18.37	79.32	12.70		
B-27	3.59	248.66	247.63	98.59	1099.77	20.27	81.86	12.27		
B-28	4.96	232.12	229.85	95.40	1034.17	17.10	74.40	13.57		
B-29	3.22	223.87	223.72	98.57	1011.67	16.84	75.27	13.29		

Lampiran 15. Hasil Simulasi Konfigurasi *Steam Load Management Unoptimized*

Dengan Variasi Total Steam 1100, 1200, 1300, 1400 ton/jam.

Skenario 1: Boiler 21, 22, 24 Tidak Aktif

Boiler	O2 Excess %	Air Flow kNm ³ /jam	Steam Flow ton/jam	CH4 %mol	HHV Btu/Scf	Fuel Gas Flow kNm ³ /jam	F/S m ³ /ton	AFR	Total Fuel kNm ³ /jam	Avg. F/S m ³ /ton
B-1	0	0	0	0	0	0	0	0	87.97	79.97
B-2	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-3	3.35	217.11	183.33	96.14	1007.96	16.56	90.33	13.111		
B-4	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-5	2.57	186.42	183.33	97.63	1089.10	14.37	78.38	12.973		
B-6	4.99	195.36	183.33	98.00	1048.44	14.39	78.49	13.576		
B-7	3.76	194.23	183.33	97.46	1059.15	14.10	76.91	13.775		
B-28	4.96	205.68	183.33	95.39	1014.93	14.65	79.91	14.04		
B-29	4.66	182.81	183.33	98.48	1013.81	13.90	75.82	13.152		
B-21	0	0	0	0	0	0	0	0	93.60	78.70
B-22	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-23	3.85	166.96	164.19	98.84	1089.66	14.93	90.93	11.183		
B-24	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-25	3.16	200.71	200.18	96.56	1021.34	15.45	77.18	12.991		
B-26	2.14	234.71	234.52	97.91	1044.47	17.18	73.26	13.662		
B-27	4.32	188.12	187.30	98.69	1056.54	16.05	85.69	11.721		
B-28	3.69	201.09	197.68	96.35	1019.04	14.73	74.51	13.652		
B-29	4.47	216.15	216.13	97.59	1008.65	15.26	70.61	14.164		
B-21	0	0	0	0	0	0	0	0	101.79	78.30
B-22	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-23	2.23	195.78	216.67	98.48	1094.28	15.28	70.52	12.813		
B-24	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-25	2.77	249.76	216.67	98.70	1089.05	19.13	88.29	13.056		
B-26	2.58	214.05	216.67	97.97	1027.12	16.87	77.86	12.688		
B-27	4.78	198.91	216.67	97.46	1088.46	17.35	80.08	11.465		
B-28	4.98	220.07	216.67	97.31	1048.64	16.16	74.58	13.618		
B-29	3.27	229.37	216.67	98.97	1075.41	17.00	78.46	13.492		
B-21	0	0	0	0	0	0	0	0	110.66	79.04
B-22	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-23	3.21	230.96	233.33	95.34	1040.59	18.06	77.40	12.788		
B-24	0	0	0	0	0	0	0	0		
B-25	2.19	249.63	233.33	98.28	1046.76	19.30	82.71	12.934		
B-26	2.49	241.04	233.33	98.05	1027.10	18.62	79.80	12.945		
B-27	3.61	215.68	233.33	96.90	1061.52	18.41	78.90	11.715		
B-28	2.53	220.09	233.33	97.50	1065.18	17.05	73.07	12.909		
B-29	3.59	249.24	233.33	96.33	1098.23	19.22	82.37	12.968		

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



Skenario 2: Boiler 22, 24, 25 Tidak Aktif

- Hak Cipta:**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan 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

Boiler		O2 Excess %	Air Flow kNm ³ /jam	Steam Flow ton/jam	CH4 %mol	HHV Btu/Scf	Fuel Gas Flow kNm ³ /jam	F/S m ³ /ton	AFR	Total Fuel kNm ³ /jam	Avg. F/S m ³ /ton
B-21	B-21	4.93	199.03	0.00	98.00	1023.15	13.75	0.00	0.00	84.8	77.51
	B-22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-23	4.18	182.84	183.33	98.70	1038.65	14.08	76.80	12.99		
	B-24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-25			183.33				0.00	0.00		
	B-26	4.99	185.34	183.33	897.81	1023.59	14.38	78.44	12.89		
	B-27	4.70	193.47	183.33	97.54	1026.44	14.07	76.75	13.75		
	B-28	4.96	193.19	183.33	96.35	1012.36	14.65	79.91	13.19		
	B-29	4.51	197.51	183.33	98.26	1003.89	13.87	75.65	14.24		
B-22	B-21	4.61	185.81	200.00	98.88	1061.66	14.99	74.95	757.99	95.89	79.91
	B-22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-23	3.83	247.01	200.00	97.36	1049.02	18.66	93.30	13.24		
	B-24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-26	2.36	207.42	200.00	97.83	1052.55	15.94	79.70	13.01		
	B-27	4.98	175.00	200.00	97.31	1025.70	16.07	80.35	10.89		
	B-28	3.92	221.34	200.00	97.34	1077.19	15.24	76.20	14.52		
	B-29	4.54	212.83	200.00	97.59	1006.33	14.99	74.95	14.20		
B-23	B-21	2.15	240.84	216.67	98.47	1021.46	18.37	84.78	861.02	102.35	78.73
	B-22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-23	2.10	236.21	216.67	95.95	1096.94	18.42	85.02	12.82		
	B-24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-26	2.36	213.08	216.67	97.92	1028.17	16.91	78.05	12.60		
	B-27	3.62	227.97	216.67	95.98	1040.87	17.70	81.69	12.88		
	B-28	4.98	208.09	216.67	97.34	1053.40	16.13	74.45	12.90		
	B-29	4.46	202.27	216.67	97.64	1001.43	14.82	68.40	13.65		
B-24	B-21	4.47	226.65	233.33	98.39	1054.67	17.94	76.89	781.44	108.95	77.82
	B-22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-23	4.28	242.98	233.33	95.92	1048.24	18.97	81.30	12.81		
	B-24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
	B-26	2.56	233.38	233.33	98.65	1006.91	18.35	78.64	12.72		
	B-27	3.59	248.66	233.33	98.59	1099.77	19.56	83.83	12.71		
	B-28	4.96	232.12	233.33	95.40	1034.17	17.20	73.71	13.50		
	B-29	3.22	223.87	233.33	98.57	1011.67	16.93	72.56	13.22		

Lampiran 16. Perhitungan *Fuel Saving* dan *Fuel Cost*

Fuel cost dihitung dari biaya penghematan *fuel gas* yang didapatkan dari selisih dari konsumsi *fuel gas optimized* dan *unoptimized*. Harga *fuel gas* yang digunakan mengacu pada harga LNG sebesar 10 USD/MMBTU. Perhitungan fuel saving dilakukan sebagai contoh pada total steam 1100 ton/jam sebagai berikut. Perhitungan ini juga berlaku pada variasi total steam lainnya.

$$\text{Fuel Saving} = \text{Total Fuel Gas Unoptimized} - \text{Total Fuel Gas Optimized}$$

Total Steam	Total Fuel Optimized	Total Fuel Unoptimized	Perhitungan Fuel Saving (kNm ³ /jam)
1100	87.75	87.97	87.97 – 87.75 = 0.22

Nilai konversi 1 SCF terhadap Nm³ adalah sebesar 0.02679. Perhitungan *fuel cost* sebagai berikut.

$$\text{Fuel Cost} = \text{Fuel Saving} \times \text{rata-rata HHV} \times \text{Fuel Price}$$

Dilakukan perhitungan rata-rata HHV, sebagai berikut.

$$\frac{1007.96 + 1089.10 + 1048.44 + 1059.15 + 1014.93 + 1013.81}{6} = 1038.9$$

Dari Rata-Rata HHV yang sudah dihitung kemudian dilakukan perhitungan *fuel cost* sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Fuel Cost} &= \left(0.22 \frac{\text{kNm}^3}{\text{jam}} \times \frac{1000 \text{ Nm}^3}{\text{kNm}^3} \right) \times 1038.9 \frac{\text{BTU}}{\text{SCF}} \times \frac{1 \text{ SCF}}{0.02679 \text{ Nm}^3} \\ &\times 10 \frac{\text{USD}}{\text{MMBTU}} \times \frac{1 \text{ MMBTU}}{1000000 \text{ BTU}} = 85.31 \text{ USD/jam} \end{aligned}$$

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

Lampiran 17. Hasil Konfigurasi steam laod management metode SLSQP

Total Steam 1100 ton/jam

Boiler	O2 (%)	Air Flow	Steam (T/h)	CH4	HHV	Fuel Gas (kNm3/h)	Ratio (Nm3/T)
B-23	4.09	209.09	174.60	96.63	1024.49	15.560000	89.12
B-25	3.22	209.47	174.20	97.08	1024.76	15.600000	89.53
B-26	3.11	231.68	184.28	96.95	1024.46	16.570000	89.90
B-27	2.85	225.93	181.84	97.95	1024.70	15.720000	86.47
B-28	3.89	234.73	194.32	97.50	1024.49	16.370001	84.23
B-29	3.31	230.19	190.77	97.38	1024.27	16.219999	85.03

Total Steam 1200 ton/jam

Boiler	O2 (%)	Air Flow	Steam (T/h)	CH4	HHV	Fuel Gas (kNm3/h)	Ratio (Nm3/T)
B-23	4.09	209.09	191.26	96.63	1024.49	15.960000	83.44
B-25	3.22	209.47	190.87	97.08	1024.76	15.850000	83.06
B-26	3.11	231.68	200.94	96.95	1024.46	17.139999	85.28
B-27	2.85	225.93	198.50	97.95	1024.70	16.850000	84.88
B-28	3.89	234.73	210.99	97.50	1024.49	16.670000	78.99
B-29	3.31	230.19	207.43	97.38	1024.27	16.719999	80.62

Total Steam 1300 ton/jam

Boiler	O2 (%)	Air Flow	Steam (T/h)	CH4	HHV	Fuel Gas (kNm3/h)	Ratio (Nm3/T)
B-23	4.34	208.95	208.27	97.53	1024.48	16.230000	77.91
B-25	3.59	209.56	207.33	97.26	1024.64	16.240000	78.33
B-26	2.91	231.40	217.42	97.54	1024.13	17.570000	80.79
B-27	2.76	225.63	215.19	97.18	1023.39	17.790001	82.68
B-28	4.16	234.93	227.39	96.97	1024.41	17.209999	75.70
B-29	3.91	230.06	224.40	97.02	1024.25	17.290001	77.04

Total Steam 1400 ton/jam

Boiler	O2 (%)	Air Flow	Steam (T/h)	CH4	HHV	Fuel Gas (kNm3/h)	Ratio (Nm3/T)
B-23	4.34	208.95	224.94	97.53	1024.48	16.290001	72.43
B-25	3.59	209.56	223.99	97.26	1024.64	16.299999	72.78
B-26	2.91	231.40	234.09	97.54	1024.13	18.469999	78.90
B-27	2.76	225.63	231.86	97.18	1023.39	18.639999	80.40
B-28	4.16	234.93	244.06	96.97	1024.41	17.700001	72.51
B-29	3.91	230.06	241.06	97.02	1024.25	17.450001	72.37

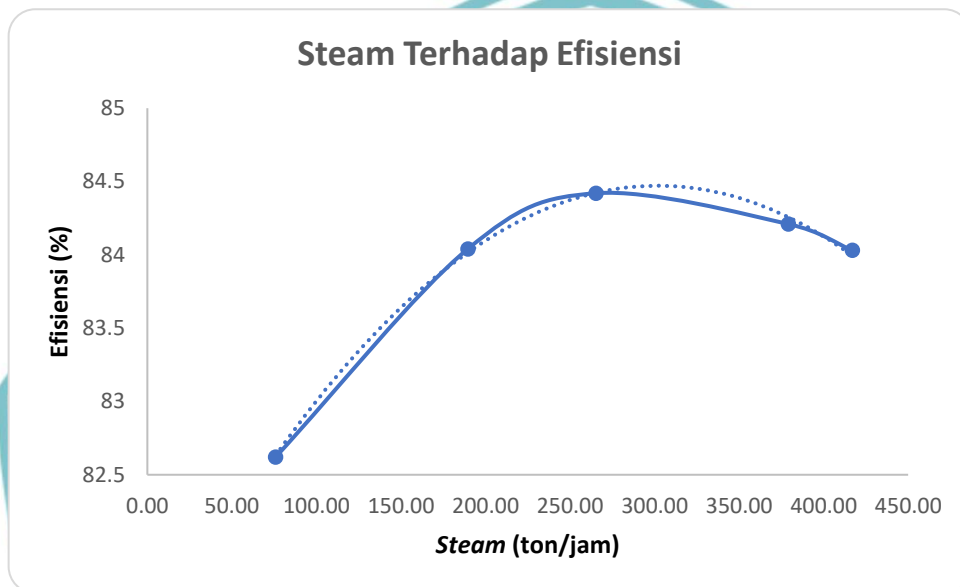
Hak Cipta :

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

JAKARTA

Lampiran 18. Kapasitas steam boiler terhadap efisiensi berdasarkan desain

Berikut adalah grafik kapasitas steam boiler terhadap efisiensi berdasarkan desain Boiler PT Badak NGL



Lampiran 19. Perhitungan *Plant Thermal Efficiency* (PTE)

1. Perhitungan PTE Kondisi Aktual

$$\%PTE = \frac{(586.64 - 101)}{586.64} \times 100\% = 82.78\%$$

2. Perhitungan Potensi PTE Hasil Optimasi

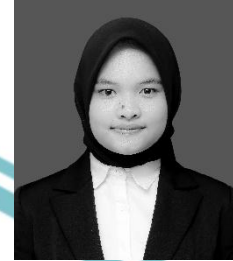
$$\%PTE_0 = \frac{(586.64 - 99.76)}{586.64} \times 100\% = 83\%$$

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



Lampiran 20. Daftar Riwayat Hidup



Nama Lengkap : Nathaya Az'zahraufa Madina
NIM : 2102322009
Tempat, Tanggal Lahir : Bontang, 23 April 2004
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Jl. Ciptoning RT 01, Ngaglik, DIYogyakarta
Email : nathayaazh04@gmail.com
Pendidikan
A. SD (2009 – 2015) : SD Muhammadiyah Pakem
B. SMP (2015 – 2018) : SMPN 1 Pakem
C. SMA (2018 – 2021) : SMAN 2 Sleman
Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa
Konversi Energi
Bidang Peminatan : Pengolahan Gas

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