



© 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**

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *MACHINE LEARNING MODEL* UNTUK MEMPREDIKSI VARIABEL *O<sub>2</sub> EXCESS* PADA BOILER 21 – 25, PT BADAQ NGL**

SKRIPSI

Oleh:  
**Aqil Daulah As Shobri**  
**NIM. 2002322019**

**PRODI S-1 TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI**  
**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
**POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**  
**AGUSTUS 2024**



© 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**

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *MACHINE LEARNING MODEL* UNTUK MEMPREDIKSI VARIABEL *O<sub>2</sub> EXCESS* PADA BOILER 21 – 25, PT BADAK NGL**

**SKRIPSI**

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin

Oleh:  
**Aqil Daulah As Shobri**  
**NIM. 2002322019**

**PRODI S-1 TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA  
AGUSTUS 2024**

## HALAMAN PERSEMBAHAN



*“Skripsi ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya dan almamater”*

### © 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



HALAMAN PERSETUJUAN  
SKRIPSI

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *MACHINE LEARNING MODEL*  
UNTUK MEMPREDIKSI VARIABEL  $O_2$  EXCESS PADA BOILER 21 – 25,  
PT BADAQ NGL

Oleh:

Aqil Daulah As Shobri

NIM. 2002322019

Program Studi Tekonologi Rekayasa Konversi Energi

Laporan Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1



Hasvienda M. Ridlwan, S.T., M.T.  
NIP. 199012162018031001

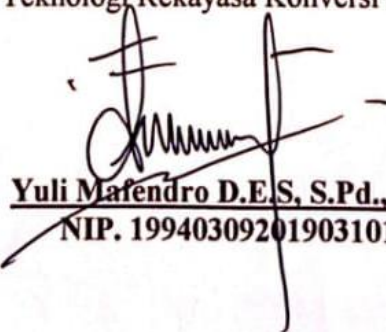
Pembimbing 2



Ir. Rivon Tridesman, S.T., IPM  
No. Badge 134464

Kepala Program Studi

Teknologi Rekayasa Konversi Energi



Yuli Mafendro D.E.S, S.Pd., M.T.  
NIP. 199403092019031013

© 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





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  
SKRIPSI

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING MODEL  
UNTUK MEMPREDIKSI VARIABEL O<sub>2</sub> EXCESS PADA BOILER 21 – 25,  
PT BADAK NGL**

Oleh:

Aqil Daulah As Shobri  
NIM. 2002322019

Program Studi Tekonologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 22 Agustus 2024 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 Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dr. Eng. Ir., Muslimin, S.T., M.T., IWE	Penguji 1		
2	Noor Hidayati, S.T., M.Sc.	Penguji 2		22/08-24
3	Ir. Rivon Tridesman, S.T., IPM	Penguji 3		

Bontang, 22 Agustus 2024

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Politeknik Negeri Jakarta

Dr. Eng. Ir., Muslimin, 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

**HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aqil Daulah As Shobri

NIM : 2002322019

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan 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 Laporan Skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Bontang, 22 Agustus 2024



Aqil Daulah As Shobri

NIM. 2002322019



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

## PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *MACHINE LEARNING* MODEL UNTUK MEMPREDIKSI VARIABEL $O_2$ EXCESS PADA BOILER 21 – 25, PT BADAK NGL

Aqil Daulah As Shobri<sup>1</sup>, Hasvienda Mohammad Ridlwan<sup>1</sup>, Rivon Tridesman<sup>2</sup>

- <sup>1</sup>) Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424  
<sup>2</sup>) PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur, 75324  
Email: [aqil.daulahasshobri.tm20@mhs.wpnj.ac.id](mailto:aqil.daulahasshobri.tm20@mhs.wpnj.ac.id)

### ABSTRAK

$O_2$  excess 2-5% menjadi parameter penting dalam operasional PT Badak NGL. Selain itu, pengukuran  $O_2$  excess secara aktual dijadikan faktor koreksi dalam perhitungan baku mutu emisi  $NO_x$ ,  $SO_2$ , dan total partikulat yang terintegrasi dengan Sistem Informasi Pemantauan Emisi Industri Kontinyu (SISPEK) sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. 13 Tahun 2009 dan No. 13 Tahun 2021. Tidak terdapatnya  $O_2$  analyzer pengganti pada boiler 21 – 25 menjadi masalah ketika  $O_2$  analyzer tersebut mati atau rusak sehingga tidak dapat memonitor  $O_2$  excess. Alternatif solusi menggunakan *machine learning model* dengan memanfaatkan data histori proses boiler, tetapi implementasi *machine learning model* pada sistem *database plant information* PT Badak NGL harus disesuaikan dengan keterbatasannya. Perancangan dan implementasi *machine learning model* dilakukan menggunakan standard kerangka CRISP – DM. Tahap *business understanding* menentukan kriteria penerimaan *error* prediksi yaitu nilai *Mean Absolute Error* (MAE) kurang dari 0,1 % pembacaan  $O_2$ . Setelah tahap evaluasi, *machine learning model* untuk memprediksi  $O_2$  excess berhasil dirancang sehingga memenuhi kriteria penerimaan *error* yaitu MAE kurang dari 0,1% pembacaan  $O_2$ . Implementasi dilakukan dengan menambahkan *tag number* berupa *calculation tag* pada sistem *database plant information* PT Badak NGL menggunakan perhitungan berbasis *visual basic script*.

**Kata kunci:**  $O_2$  excess, Machine Learning Model, CRISP – DM, Visual Basic Script



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

## PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING MODEL UNTUK MEMPREDIKSI VARIABEL O<sub>2</sub> EXCESS PADA BOILER 21 – 25, PT BADAK NGL

Aqil Daulah As Shobri<sup>1</sup>, Hasvienda Mohammad Ridlwan<sup>1</sup>, Rivon Tridesman<sup>2</sup>

- <sup>1</sup>) Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424  
<sup>2</sup>) PT Badak NGL, Bontang, Kalimantan Timur, 75324  
Email: [aqil.daulahasshobri.tm20@mhs.wpnj.ac.id](mailto:aqil.daulahasshobri.tm20@mhs.wpnj.ac.id)

### ABSTRACT

*O<sub>2</sub> excess of 2-5% is an important parameter in PT Badak NGL's operations. Additionally, the actual measurement of O<sub>2</sub> excess is used as a correction factor in the calculation of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, and total particulate emission standards, which are integrated with the Continuous Industrial Emission Monitoring Information System (SISPEK) in accordance with the Minister of Environment and Forestry Regulations (Permen LHK) No. 13 of 2009 and No. 13 of 2021. The absence of a backup O<sub>2</sub> analyzer in boilers 21 – 25 becomes a problem when the O<sub>2</sub> analyzer fails or malfunctions, making it impossible to monitor O<sub>2</sub> excess. An alternative solution involves using a machine learning model by leveraging historical boiler process data, but the implementation of the machine learning model in PT Badak NGL's plant information database system must be adapted to its limitations. The design and implementation of the machine learning model are carried out using the standard CRISP-DM framework. The business understanding phase determines the acceptance criteria for prediction error, which is a Mean Absolute Error (MAE) value of less than 0.1% O<sub>2</sub> reading. After the evaluation phase, the machine learning model for predicting O<sub>2</sub> excess was successfully designed to meet the error acceptance criteria, namely an MAE of less than 0.1% O<sub>2</sub> reading. The implementation is carried out by adding a tag number in the form of a calculation tag in PT Badak NGL's plant information database system using calculations based on Visual Basic Script.*

**Kata kunci:** *O<sub>2</sub> excess, machine learning model, CRISP – DM, Visual Basic Script*





**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

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Skripsi dengan judul “PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *MACHINE LEARNING MODEL* UNTUK MEMPREDIKSI VARIABEL *O2 EXCESS* PADA BOILER 21 – 25, PT BADAK NGL”. 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, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T. IWE selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
2. Bapak Anas Malik Abdillah selaku Direktur LNG Academy PT Badak NGL.
3. Bapak Rivon Tridesman selaku *Instrument Engineer* – Project Section, Technical Department selaku dosen pembimbing industri.
4. Bapak Hasvienda M. Ridwan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dari Politeknik Negeri Jakarta.
5. Bapak Eko Wahyu Susilo selaku Ketua Jurusan Listrik Instrumentasi LNG Academy.
6. Bapak Prima Patriana selaku *Instrument Engineer* – Plant and Support Engineering, Technical Department.
7. Seluruh pekerja dan mitra kerja *Instrument Section* yang telah membantu dalam pengambilan data dan melakukan observasi lapangan.



## © 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

8. Kakak tingkat LNG Academy di berbagai seksi yang telah membantu kelancaran skripsi ini.
9. Pihak-pihak yang berasal dari PNJ dan PT Badak NGL yang membantu penyelesaian skripsi ini yang tidak kami sebutkan satu persatu.
10. Kedua orang tua yang telah memberikan doa kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
11. Teman-teman LNG Academy angkatan X yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi.

Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak terutama pada bidang instrumentasi pada kilang LNG.

Bontang, 22 Agustus 2024

Aqil Daulah As Shobri  
NIM. 2002322019

**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 kritrik 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 PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Batasan Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Landasan Teori.....	8
2.1.1 Boiler Modul II PT Badak NGL.....	8
2.1.2 Pengukuran O <sub>2</sub> <i>Excess</i> di Boiler 21 – 25 PT Badak NGL.....	14
2.1.3 <i>Machine Learning</i> .....	15
2.1.4 Model Regresi.....	15



## © 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

2.1.5 <i>Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP – DM)</i> .....	23
2.1.6 Sistem <i>Database plant information</i> PT Badak NGL .....	25
2.1.7 <i>Exploratory Data Analysis (EDA)</i> .....	27
2.1.8 Metrik Analisis.....	30
2.1.9 Bahasa Pemrograman Python.....	31
2.2 Kajian Literatur .....	33
2.3 Kerangka Pemikiran.....	39
2.4 Hipotesis.....	42
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	9
3.1 Jenis Penelitian.....	9
3.2 Objek Penelitian.....	44
3.3 Metode Pengambilan Sampel.....	44
3.4 Jenis dan Sumber Data Penelitian .....	44
3.5 Metode Pengumpulan Data.....	45
3.6 Metode Analisis Data.....	46
3.6.1 <i>Business Understanding</i> .....	46
3.6.2 <i>Data Understanding</i> .....	47
3.6.3 <i>Data Preparation</i> .....	47
3.6.4 <i>Modelling</i> .....	48
3.6.5 <i>Evaluation</i> .....	48
3.6.6 <i>Deployment</i> .....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	44
4.1 Perancangan Model Prediksi <i>O2 Excess</i> .....	44
4.1.1 Tahap <i>Business Understanding</i> .....	44
4.1.2 Tahap <i>Data Understanding</i> .....	53



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

4.1.3 Tahap <i>Data Preparation</i> .....	56
4.1.4 Tahap <i>Modelling</i> .....	64
4.1.5 Tahap <i>Evaluation</i> .....	66
4.2 Tahap Implementasi .....	69
4.2.1 Konversi <i>Machine Learning Model</i> .....	70
4.2.2 Implementasi <i>Machine Learning Model</i> .....	72
BAB V PENUTUP .....	75
5.1 Kesimpulan .....	75
5.2 Saran.....	76
DAFTAR PUSTAKA .....	77
LAMPIRAN 1 PERANCANGAN MACHINE LEARNING MODEL .....	80
LAMPIRAN 2 IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING MODEL.....	89

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 *O<sub>2</sub> Analyzer* pada Boiler Modul II PT Badak NGL (a) Satu Unit Pada Boiler 24 (b) Dua Unit Pada Boiler 26 Sumber: Observasi Lapangan .....3

Gambar 1. 2 Titik Pengukuran *O<sub>2</sub> Excess* di Boiler PT Badak NGL .....3

Gambar 2. 1 Ilustrasi *Water Tube Boiler* .....8

Gambar 2. 2 Komponen Boiler Modul II PT Badak NGL.....9

Gambar 2. 3 *O<sub>2</sub> Analyzer* yang Terpasang pada Boiler PT Badak NGL.....14

Gambar 2. 4 Konsep Umum *Machine learning* .....15

Gambar 2. 5 Model Regresi yang Sering Digunakan .....16

Gambar 2. 6 Ilustrasi Model *Decision Tree Regressor* Sumber: (Tatsat et al., 2020) .....18

Gambar 2. 7 *Support Vector Machine (SVM)* Sumber: (Tatsat et al., 2020) .....19

Gambar 2. 8 Tahapan pada CRISP – DM .....23

Gambar 2. 9 Arsitektur PIMS – Exaquantum .....25

Gambar 2. 10 *Interquartile Range (IQR)* Sumber: (Mishra, 2023) .....27

Gambar 2. 11 Kerangka Pemikiran .....41

Gambar 3. 1 Tahapan pada CRISP – DM .....9

Gambar 3. 2 Data Histori Pengukuran Proses pada Sistem *Database Plant Information*.....44

Gambar 3. 3 Ilustrasi Cara Kerja MS Excell Add-in Dalam Mengakses Data Histori Pengukuran Proses pada Sistem *Database plant information* .....45

Gambar 3. 4 Diagram Alur Penelitian.....46

Gambar 3. 5 Diagram Alur Analisis Data .....49

Gambar 4. 1 Diagram Balok Proses Boiler Berdasarkan Proses pada Buku Manual Operasi *Steam Generator (Boiler)* PT Badak NGL .....51

Gambar 4. 2 Foto *O<sub>2</sub> Analyzer* pada Boiler 24 PT Badak NGL .....52

Gambar 4. 3 Grafik Laju Aliran *Superheated Steam* Boiler 21 (FI00621A) .....58

Gambar 4. 4 Grafik Laju Aliran *Superheated Steam* Boiler 21 (FI00621A) Ketika Aktif .....58

Gambar 4. 5 Profil Box-plot Pada Data Tekanan *Furnaces* (PI004521) (a) Sebelum Dilakukan Penghapusan *Outliers* (b) Setelah Dilakukan Penghapusan *Outliers*...59



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

Gambar 4. 6 Grafik Laju Aliran <i>Superheated Steam</i> Boiler 21 (FI00621A) Setelah Dibersihkan .....	60
Gambar 4. 7 Heatmap Hasil PCC .....	61
Gambar 4. 8 Hasil <i>Feature Importance</i> pada Boiler 21 .....	63
Gambar 4. 9 Hasil Pemisahan Data Latih dan Data Uji pada Data Boiler Aktif ...	64
Gambar 4. 10 Hasil Pemisahan Data Latih dan Data Uji pada Data Boiler 21 Tidak Aktif .....	64
Gambar 4. 11 Data Boiler Mati Menunjukkan Nilai <i>O<sub>2</sub> Excess</i> Lebih Dari 10 ....	65
Gambar 4. 12 Hasil Prediksi <i>Machine Learning Model</i> yang Memenuhi Standard Kelayakan (a) <i>Random Forest</i> Boiler 21 (b) <i>Gradient Boosting</i> Boiler 21 (c) <i>Random Forest</i> Boiler 22 (d) <i>Gradient Boosting</i> Boiler 23 (e) <i>Gradient Boosting</i> Boiler 24 (f) <i>Random Foerst</i> Boiler 25 (g) <i>Gradient Boosting</i> Boiler 25.....	68
Gambar 4. 13 Data Mentah ( <i>Raw Data</i> ) Harian pada OLE – DB.....	69
Gambar 4. 14 <i>Tools Calculation Tags</i> (Yokogawa, 2007) .....	70
Gambar 4. 15 Ilustrasi “Black – box” Model <i>Machine Learning</i> Sumber: Data Diolah.....	71
Gambar 4. 16 Pustaka Python m2cgen Sumber: Internet .....	71
Gambar 4. 17 Program untuk Konversi Model.....	72
Gambar 4. 18 Bentuk <i>Machine Learning Model</i> (a) Format JSON (b) Format <i>Visual Basic Script</i> .....	72
Gambar 4. 19 Implementasi <i>Machine Learning Model</i> pada <i>Calculation Tag</i> .....	73
Gambar 4. 20 Penambahan <i>Calculation Tag Machine Learning Model</i> untuk Memprediksi <i>O<sub>2</sub> Excess</i> pada Grafik Proses Boiler (a) Boiler 21 (b) Boiler 22 (c) Boiler 24 (d) Boiler 25 .....	74
Gambar 4. 21 Hasil Perbandingan Data Aktual Pengukuran <i>O<sub>2</sub> Excess</i> Terhadap Data Pengukuran <i>Machine Learning Model</i> pada Boiler 21.....	74
Gambar 4. 22 MAE Hasil Implementasi <i>Machine Learning Model</i> Boiler 21 .....	74
Gambar 4. 23 OLE – DB pada Sistem <i>Database Plant Information</i> Sumber: (Yokogawa, 2007).....	75



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 TABEL

Tabel 1. 1 $O_2$ Excess Sebagai Salah Satu Variabel Proses Dalam Evaluasi Kinerja Boiler Sumber: Data Operator Boiler PT Badak NGL .....	1
Tabel 2. 1 Spesifikasi Pengukuran $O_2$ Analyzer yang Digunakan di Modul II PT Badak NGL .....	14
Tabel 2. 2 Rekomendasi Pemilihan Model Regresi Sumber: (Tatsat et al., 2020) .....	22
Tabel 2. 3 Kriteria Korelasi Antar Dua Variabel Berdasarkan Nilai PCC Sumber: (Selvanathan et al., 2020).....	29
Tabel 2. 4 Komparasi dalam Pemilihan Model Machine Learning .....	39
Tabel 3. 1 Kajian Literatur Penelitian Sebelumnya yang Memiliki Tujuan yang Sama .....	37
Tabel 4. 1 Tag Number Parameter Proses pada Boiler .....	53
Tabel 4. 2 Rentang Waktu Pengambilan Sampel.....	54
Tabel 4. 3 Program Penggantian $O_2$ Analyzer pada Boiler 24 dan 25.....	54
Tabel 4. 4 Range Nilai dan Satuan Parameter Proses Boiler .....	55
Tabel 4. 5 Indikasi Terdapat Nilai yang Hilang Pada Data Boiler 21.....	56
Tabel 4. 6 Data Boiler 21 Aktif Setelah Dilakukan Penghapusan Nilai yang Hilang .....	57
Tabel 4. 7 Laju Aliran Superheated Steam Boiler 21 (FI00621A) Bernilai 0 Menindikasikan Boiler Sedang Mati atau Tidak Aktif .....	57
Tabel 4. 8 Data Aktif dan Tidak Aktif pada Boiler 21.....	59
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan PCC Setiap Parameter Proses Boiler 21 Terhadap $O_2$ Excess.....	62
Tabel 4. 11 Hasil Evaluasi Model Prediksi $O_2$ Excess Boiler 21 .....	66





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 I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Boiler pada kilang PT Badak NGL merupakan salah satu alat penunjang kebutuhan kilang untuk menyediakan kebutuhan *High Pressure Steam* (HPS) yang digunakan pada *steam turbine generator* untuk membangkitkan listrik, *steam turbine compressor* pada unit pendinginan LNG, dan sebagai pemanas pada proses produksi LNG (PT Badak NGL, 2014).

Nilai kandungan oksigen pada gas buang ( $O_2\ excess$ ) menjadi *important metric* yang merepresentasikan pembakaran sempurna dalam operasi boiler (Ma et al., 2019). Dalam operasional PT Badak NGL, kandungan  $O_2\ excess$  sebesar 2-5% dijadikan parameter untuk menjamin pembakaran sempurna, tidak menimbulkan emisi gas CO yang membahayakan (Pittara, 2022), dan meminimalkan kerugian panas yang terbawa oleh gas buang melalui cerobong boiler (PT Badak NGL, 2014). Selain itu pengukuran  $O_2\ excess$  di PT Badak NGL digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja boiler sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 1.1.

Tabel 1. 1  $O_2\ Excess$  Sebagai Salah Satu Variabel Proses Dalam Evaluasi Kinerja Boiler

Sumber: Data Operator Boiler PT Badak NGL

**BOILER EFFICIENCY CHECK**

TO : UTILITIES DAY/SHUTDOWN COORDINATOR  
FROM : UTILITIES SHIFT "D" SUPERVISOR  
DATE : July 28, 2024  
TIME : 15:00

NO	Parameter	Unit	31F-21	31F-22	31F-23	31F-24	31F-25	31F-26	31F-27	31F-28	31F-29	31F-30
1	Steam Flow	Ton/Hr	222.1	OUT	194.9	192	182.1	BIP	224.7	233.6	OUT	OUT
2	Steam Temp. (Graph)	°C	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0	220.0
3	Flue Gas Temp. Outlet Econ (DCS)	°C	163.2	*	156.7	157.7	148.8	*	174.6	169.5	*	*
4	Flue Gas Temp. (Dry O <sub>2</sub> )	°C	273	*	276	302	306	*	330	402	*	*
5	O <sub>2</sub> Orsat ( Dry O <sub>2</sub> )	%	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	Fuel Gas Flow DCS	Nm <sup>3</sup> /Hr	17,020	*	15,880	15,810	14,820	*	18,620	18,160	*	*
7	Air Flow DCS	Nm <sup>3</sup> /Hr	220,100	*	206,200	206,200	194,000	*	232,300	241,900	*	*
8	XS-Air ( Graph )	%	18.50	*	19.00	19.50	19.60	*	21.30	26.50	*	*
9	XS Air from Calculation Fuel & Air Flow	%	31.96	*	32.50	33.09	33.58	*	27.30	35.92	*	*
10	Uncorrected Efficiency	%	84.20	*	84.40	84.50	84.70	*	83.40	83.45	*	*
11	Correction Efficiency	%	-0.19	*	-0.22	-0.23	-0.23	*	-0.17	-0.15	*	*
12	EFFICIENCY	%	84.01	*	84.18	84.27	84.47	*	83.23	83.30	*	*
13	Average Efficiency	%	83.91									



## © 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

Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. 13 Tahun 2021 mengatur pengukuran emisi pada boiler PT Badak NGL dilakukan secara terus menerus dan terintegrasi dengan Sistem Informasi Pemantauan Emisi Industri Kontinyu (SISPEK). Pengukuran  $O_2$  *excess* secara aktual digunakan sebagai faktor koreksi  $O_2$  sebesar 3% pada boiler dengan bahan bakar gas sebagaimana disebutkan dalam Permen LHK No. 13 Tahun 2009 dalam perhitungan baku mutu emisi  $NO_x$ ,  $SO_2$ , dan total partikulat sebagaimana persamaan 1.1.

$$C_{corr} = C_{terukur} + \frac{(21 - O_{2\ corr})}{(21 - O_{2\ terukur})} \quad (1.1)$$

Dimana,

- $C_{corr}$  = Konsentrasi terkoreksi ( $mg/Nm^3$ )  
 $C_{terukur}$  = Konsentrasi terukur ( $mg/Nm^3$ )  
 $O_{2\ corr}$  = Koreksi  $O_2$  yang ditetapkan dalam Baku Mutu Energi (%)  
 $O_{2\ terukur}$  = Persentase  $O_2$  yang diukur langsung dalam gas emisi (%)

Pernyataan sebelumnya menyebutkan pentingnya pengukuran  $O_2$  *excess* yang akurat karena menjadi *important metric* dalam operasi boiler, selain itu dilakukan secara terus menerus sesuai Permen LHK. PT Badak NGL menggunakan *in-situ*  $O_2$  analyzer (sensor atau *probe* yang ditempatkan secara langsung di dalam cerobong boiler) dengan akurasi  $\pm 0,1\%$  pembacaan  $O_2$  (Hazardous Area In-Situ Oxygen Transmitter Analysis, 2023) sehingga pengukuran akurat, secara terus-menerus, dan *real time*. Pada boiler 21 – 25 terpasang satu unit  $O_2$  analyzer sebagaimana Gambar 1.1. Tidak terdapatnya peralatan pengganti yang memenuhi standard akurasi, pengukuran secara terus menerus, dan *real time* menjadi masalah ketika  $O_2$  analyzer tersebut mati atau rusak sehingga pengukuran  $O_2$  *excess* tidak dapat dilakukan.



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

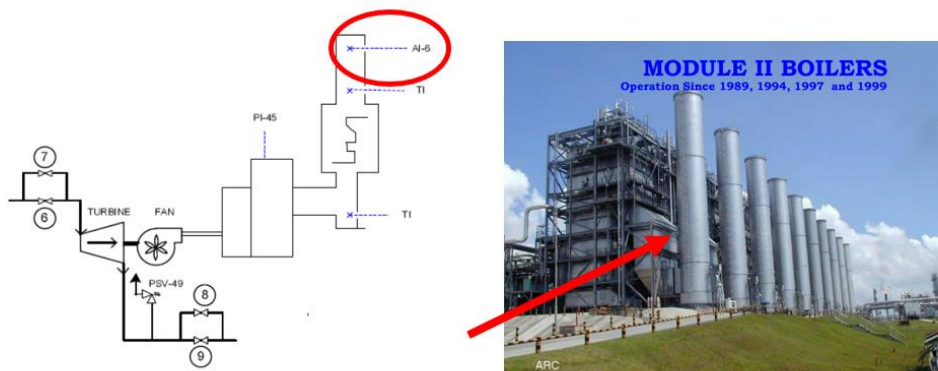
### Hak Cipta :

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



Gambar 1. 1  $O_2$  Analyzer pada Boiler Modul II PT Badak NGL (a) Satu Unit Pada Boiler 24 (b) Dua Unit Pada Boiler 26  
Sumber: Observasi Lapangan

Solusi yang dapat dilakukan berdasarkan kondisi tersebut adalah melakukan pengukuran secara manual menggunakan *portable O<sub>2</sub> analyzer* (Effendy et al., 2022), namun pekerjaan tersebut memiliki risiko bahaya yang tinggi karena bekerja di ketinggian dan temperatur tinggi saat boiler aktif. Gambar 1.2 menunjukkan titik pengukuran  $O_2$  excess di PT Badak NGL. Penambahan perangkat  $O_2$  analyzer baru seperti pada boiler 26 dapat dilakukan tetapi memerlukan biaya tambahan yang cukup besar untuk pengadaan barang, pembangunan fasilitas, dan pemeliharaan peralatan.



Gambar 1. 2 Titik Pengukuran  $O_2$  Excess di Boiler PT Badak NGL

Metode pengukuran variabel industri menggunakan model prediksi berbasis *machine learning* dengan memanfaatkan data histori proses menjadi salah satu bidang keilmuan yang mengalami perkembangan pesat dalam dua dekade terakhir



## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

sebagaimana review jurnal (Jiang et al., 2021). Kemajuan metode dalam pengolahan data, peningkatan kapasitas penyimpanan, dan algoritma yang semakin canggih menjadikan teknologi prediksi berbasis *machine learning* mampu memberikan wawasan yang lebih akurat dan dapat diandalkan dalam berbagai sektor (Provost & Fawcett, 2013).

Boiler merupakan sistem *multi-input* dan *multi-output*, yang memiliki karakteristik *nonlinier*, *lag time* yang cukup besar dan multikorelasi antar variabel (Xin et al., 2010). Berdasarkan penelitian (Effendy et al., 2022) dan (Kurniawan et al., 2022), *machine learning model* untuk memprediksi  $O_2$  excess dirancang menggunakan data histori pengukuran variabel proses boiler seperti laju aliran *Boiler Feed Water* (BFW), laju aliran produksi *steam*, dsb. Namun, terdapat tantangan dalam implementasi model prediksi berbasis *machine learning* secara *close-loop* (*real time*) pada sistem *database plant information* PT Badak NGL yang bersifat *rigid* yaitu harus menyesuaikan dengan keterbatasannya karena tidak dapat diintegrasikan secara sembarangan menggunakan *software* atau pustaka program tertentu.

Penelitian ini melakukan perancangan dan implementasi *machine learning model* untuk memprediksi variabel  $O_2$  excess di boiler 21 – 25 PT Badak NGL dengan menggunakan data histori pengukuran variabel proses pada operasional boiler berdasarkan hasil identifikasi yang telah dilakukan selama dua bulan.

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

### 1.2 Rumusan Masalah

Pengukuran  $O_2$  *excess* dilakukan menggunakan *in-situ*  $O_2$  *analyzer* dengan akurasi  $\pm 0,1\%$  pembacaan  $O_2$  untuk operasional boiler dan pemenuhan regulasi sehingga pengukuran akurat, terus menerus, dan *real time*. Pada boiler 21 – 25 terpasang satu unit  $O_2$  *analyzer*. Tidak terdapatnya peralatan pengganti yang memenuhi standard akurasi, pengukuran secara terus menerus, dan *real time* menjadi masalah ketika  $O_2$  *analyzer* tersebut mati atau rusak sehingga pengukuran  $O_2$  *excess* tidak dapat dilakukan. Pengukuran secara manual menggunakan *portable*  $O_2$  *analyzer* memiliki risiko bahaya yang tinggi karena bekerja di ketinggian dan temperatur tinggi saat boiler aktif. Penambahan perangkat  $O_2$  *analyzer* yang serupa dapat dilakukan tetapi memerlukan biaya tambahan yang cukup besar. Berdasarkan perkembangan metode pengukuran parameter industri, alternatif solusi adalah menggunakan *machine learning model* dengan memanfaatkan data histori pengukuran variabel proses pada operasional boiler. Namun, terdapat tantangan dalam implementasi *machine learning model* secara *close-loop* (*real time*) pada sistem *database plant information* PT Badak NGL yang bersifat *rigid* yaitu harus menyesuaikan dengan keterbatasannya karena tidak dapat diintegrasikan secara sembarangan menggunakan *software* atau pustaka program tertentu.

### 1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dijelaskan sebelumnya, dapat dikembangkan pertanyaan penelitian yang ingin dijawab yaitu.

1. Bagaimana merancang *machine learning model* untuk memprediksi variabel  $O_2$  *excess* pada boiler modul 21 – 25 PT Badak NGL menggunakan data histori pengukuran variabel proses pada boiler tersebut?
2. Bagaimana mengimplementasikan *machine learning model* pada sistem *database plant information* PT Badak NGL?

### 1.4 Tujuan Penelitian

Melalui rumusan masalah dan pertanyaan penelitian di atas, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.



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

1. Merancang *machine learning model* untuk memprediksi variabel  $O_2$  *excess* pada boiler 21 – 25 PT Badak NGL menggunakan data histori pengukuran variabel operasional proses pada boiler tersebut.
2. Melakukan implementasi *machine learning model* untuk memprediksi  $O_2$  *excess* pada sistem *database plant information* PT Badak NGL

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang dapat diperoleh adalah terdapat peralatan pengganti *insitu O<sub>2</sub> analyzer* pada boiler 21 – 25 PT Badak NGL yang memenuhi standard akurasi  $\pm 0,1\%$  pembacaan  $O_2$ , pengukuran secara terus menerus, dan *real time*.

Manfaat penelitian bagi mahasiswa adalah menambah wawasan dan mampu mengaplikasikan *machine learning model* untuk mengukur variabel  $O_2$  *excess* pada boiler 21 – 25 PT Badak NGL sebagai kontribusi di bidang teknik instrumentasi.

### 1.6 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini terdapat batasan masalah yang digunakan untuk membatasi tujuan dan manfaat penelitian kedepannya.

1. Data yang digunakan berasal dari boiler jenis *water tubes boiler* sesuai dengan kondisi boiler modul II PT Badak NGL.
2. Data pengukuran variabel proses terbatas dari penyimpanan data histori proses pada sistem *database plant information* PT Badak NGL yang dioperasikan dari Januari 2023 – Juli 2024.
3. *Machine learning model* yang dirancang dan diimplementasikan hanya sebagai perangkat pengganti *O<sub>2</sub> analyzer*.



**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 artikel 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

## 1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Berikut ini merupakan sistematika penulisan skripsi yang digunakan pada penelitian ini.

### 1. BAB I Pendahuluan

Memaparkan latar belakang permasalahan yang diangkat, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta bagaimana sistematika penulisan laporan dilakukan.

### 2. BAB II Tinjauan Pustaka

Memaparkan dasar teori yang menunjang penelitian yang meliputi pembahasan terkait masalah yang diselidiki lebih lanjut. Bagian ini berisi landasan teori, kajian literatur yang digunakan, serta kerangka pemikiran

### 3. BAB III Metodologi Penelitian

Memaparkan metode yang digunakan dalam penelitian termasuk tahapan serta prosedur dalam penelitian. Bagian ini berisi jenis penelitian, objek penelitian, metode pengambilan sampel, jenis dan sumber data penelitian, metode pengumpulan data penelitian, dan metode analisis data.

### 4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Memaparkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang dilakukan. Bagian ini terdiri dari beberapa subbab dimana setiap subbab merupakan pembahasan dari setiap tujuan penelitian.

### 5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Memaparkan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian dan saran untuk penelitian ke depan. Bagian ini terdiri dari dua subbab yaitu kesimpulan dan saran.



**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 V  
PENUTUP**

**5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan rujukan untuk penelitian selanjutnya.

1. *Machine learning model* untuk memprediksi variabel *O<sub>2</sub> excess* pada boiler 21 – 25 berhasil dirancang menggunakan data histori pengukuran 12 dari 16 variabel operasional proses boiler yang dipilih berdasarkan uji korelasi *Pearson Correlation Coefficient* (PCC). Perancangan dilakukan menggunakan algoritma *random forest* dan *gradient boosting* sehingga memenuhi kriteria penerimaan yaitu *Mean Absolute Error* kurang dari 0,1% pembacaan *O<sub>2</sub>*.
2. Implementasi *machine learning model* untuk memprediksi *O<sub>2</sub> excess* dilakukan dengan menambahkan *tag number* berupa *calculation tag* pada sistem *database plant information* PT Badak NGL menggunakan perhitungan berbasis *visual basic script*.

**POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA**





## © 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

### 5.2 Saran

Berdasarkan kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat dijadikan rujukan untuk penelitian selanjutnya.

1. Melakukan implementasi *machine learning model* untuk memprediksi  $O_2$  excess menggunakan OLE-DB pada sistem *database plant information* PT Badak NGL.
2. Melakukan penelitian untuk integrasi *machine learning model* secara langsung pada pengukuran proses boiler (sistem DCS).
3. Melakukan validasi terkait regulasi yang membolehkan penerapan *machine learning model* sebagai pengganti pengukuran  $O_2$  analyzer.



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

DAFTAR PUSTAKA

- AC. (2019). *Memahami Data Dengan Exploratory Data Analysis*. Medium.Com. <https://medium.com/data-folks-indonesia/memahami-data-dengan-exploratory-data-analysis-a53b230cce84>
- Effendy, N., Kurniawan, E. D., Dwiantoro, K., Arif, A., & Muddin, N. (2022). The prediction of the oxygen content of the flue gas in a gasfired boiler system using neural networks and random forest. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 11(3), 923–929. <https://doi.org/10.11591/ijai.v11.i3.pp923-929>
- Farhan. (2024). *Menghadapi Outlier*. Medium.Com. <https://medium.com/@farhanopen/menghadapi-outlier-e1a3bc0f47ee>
- Fattah, A. M. M., Voutama, A., Heryana, N., & Sulistiyowati, N. (2022). Pengembangan Model Machine Learning Regresi sebagai Web Service untuk Prediksi Harga Pembelian Mobil dengan Metode CRISP-DM. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 9(5), 1669. <https://doi.org/10.30865/jurikom.v9i5.5021>
- Hassija, V., Chamola, V., Mahapatra, A., Singal, A., Goel, D., Huang, K., Scardapane, S., Spinelli, I., Mahmud, M., & Hussain, A. (2024). Interpreting Black-Box Models: A Review on Explainable Artificial Intelligence. *Cognitive Computation*, 16(1), 45–74. <https://doi.org/10.1007/s12559-023-10179-8>
- Huyen, C. (2022). Designing Machine Learning System: An Iterative Process for Production-Ready Applications. In *O'REILLY*.
- International Business Machines Corporation. (2021). *IBM SPSS Modeler CRISP-DM Guide*. International Business Machines Corporation. [https://www.ibm.com/docs/it/SS3RA7\\_18.3.0/pdf/ModelerCRISPDM.pdf](https://www.ibm.com/docs/it/SS3RA7_18.3.0/pdf/ModelerCRISPDM.pdf)
- Jiang, Y., Yin, S., Dong, J., & Kaynak, O. (2021). A Review on Soft Sensors for Monitoring, Control, and Optimization of Industrial Processes. *IEEE Sensors Journal*, 21(11), 12868–12881. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3033153>
- Khumaidi, A. (2020). *DATA MINING FOR PREDICTING THE AMOUNT OF COFFEE PRODUCTION USING CRISP-DM METHOD*. 17(1), 1–8.
- Kurniawan, E. D., Effendy, N., Arif, A., & Dwiantoro, K. (2022). Soft Sensor for the Prediction of Oxygen Content in Boiler Flue Gas Using Neural Networks and Extreme Gradient Boosting. *Neural Comput & Applications*, 35, 345–352. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00521-022-07771-8>
- Laraswati, B. D. (2024). *8 Metrik untuk Mengukur Performa Model Machine Learning*. <https://Blog.Algorit.Ma/>. <https://blog.algorit.ma/metrik-mengukur-performa-model-machine-learning/>
- Ma, L., Zuo, X., & Wang, Y. (2019). Boiler oxygen optimization based on double-hidden-layer bp neural network and improved pso algorithm. *1st International Conference on Industrial Artificial Intelligence, IAI 2019*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICIAI.2019.8850735>
- McFarland, A. (2024). *10 Perpustakaan Python Terbaik untuk Ilmu Data*. Unite.Ai.



**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

- <https://www.unite.ai/id/10-perpustakaan-python-terbaik-untuk-ilmu-data/>
- Mishra, A. (2023). *Box Plots: Detect and remove outliers from distribution*. Medium.Com. <https://medium.com/@akashmishra77/box-plots-detect-and-remove-outliers-from-distribution-a124ee88cf3e>
- Olston, C., & Najor, M. (2010). Web Crawling. *Foundations and Trends in Information Retrieval*, 4(3), 175–246.
- Hazardous Area In-Situ Oxygen Transmitter analysis, (2023).
- Pambudi, A., Abidin, Z., & Permata. (2023). *PENERAPAN CRISP - DM MENGGUNAKAN MLR K - FOLD PADA DATA SAHAM PT . TELKOM INDONESIA ( PERSERO ) TBK ( TLKM ) ( STUDI KASUS : BURSA EFEK*. 4(March), 1–14. <https://doi.org/10.33365/jdmsi.v4i1.2462>
- Pittara. (2022). *Keracunan Karbon Monoksida*. ALODOKTER. <https://www.alodokter.com/keracunan-karbon-monoksida>
- Provost, F., & Fawcett, T. (2013). *Data Science for Business: What You Need to Know about Data Mining and Data-Analytic Thinking*. O'Reilly.
- PT Badak NGL. (2014). *Operator Manual Book PT Badak NGL: Steam Generator*.
- Saputra, D. B., Atina, V., Nastiti, F. E., Komputer, F. I., Studi, P., Informatika, T., Bangsa, U. D., Macet, K., Kredit, P., & Forest, R. (2024). *PENERAPAN MODEL CRISP-DM PADA PREDIKSI NASABAH KREDIT*. 7(2021), 240–247.
- Selvanathan, M., Jayabalan, N., Kaur Saini, G., Supramaniam, M., & Hussin, N. (2020). Employee Productivity in Malaysian Private Higher Educational Institutions. *Journal of Archarology of Egypt / Egyptogy*, 17(3), 66–79. <https://doi.org/10.48080/jae.v17i3.50>
- Sembodo, S. N., Effendy, N., Dwiantoro, K., & Muddin, N. (2022). Radial basis network estimator of oxygen content in the flue gas of debutanizer reboiler. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 12(3), 3044–3050. <https://doi.org/10.11591/ijece.v12i3.pp3044-3050>
- Shin, T. (2023). *Understanding Feature Importance in Machine Learning*. Builtin.Com. <https://builtin.com/data-science/feature-importance#:~:text=Feature importance is a step,to predict a certain variable.>
- Sholeh, M., Nurnawati, E. K., & Lestari, U. (2023). Penerapan Data Mining dengan Metode Regresi Linear untuk Memprediksi Data Nilai Hasil Ujian Menggunakan RapidMiner. *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, 8(1), 10–21. <https://doi.org/10.14421/jiska.2023.8.1.10-21>
- Soares, S. G. (2015). *Ensemble Learning Methodologies for Soft Sensor Development in Industrial Processes*. February, 204.
- Subasi, A. (2020). Practical Machine Learning for Data Analysis Using Python. In *Practical Machine Learning for Data Analysis Using Python*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821379-7.00008-4>
- Tatsat, H., Puri, S., & Lookabaugh, B. (2020). Supervised Learning: Models and Concepts. In *Machine Learning and Data Science Blueprints for Finance by Hariom Tatsat, Sahil Puri, Brad Lookabaugh* (p. 429). O'Reilly Media. <https://www.oreilly.com/library/view/machine-learning-and/9781492073048/ch04.html>
- Wahyudi, T., & Arroufu, D. S. (2022). Implementation of Data Mining Prediction



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

Delivery Time Using Linear Regression Algorithm. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 4(1), 84–92. <https://doi.org/10.37385/jaets.v4i1.918>

Xin, L., Qu, Y., & Li, Y. (2010). Intelligent control strategy for combustion system of industrial boiler. *2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering, ICCAE 2010*, 4, 88–90. <https://doi.org/10.1109/ICCAE.2010.5451776>

Yokogawa. (2007). *Technical Information PIMS*. <https://www.astbearings.com/bearing-materials.html>

Yokogawa. (2016). *Instruction Manual Exaquantum / PIMS User 's Manual* (Issue 1).

Yudiana, Y., Yulia Agustina, A., & Nur Khofifah, dan. (2023). Prediksi Customer Churn Menggunakan Metode CRISP-DM Pada Industri Telekomunikasi Sebagai Implementasi Mempertahankan Pelanggan. *Indonesian Journal of Islamic Economics and Business*, 8(1), 01–20. <http://e-journal.lp2m.uinjambi.ac.id/ojp/index.php/ijoieb>



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 1

### PERANCANGAN MACHINE LEARNING MODEL

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib as plot
import plotly.express as px
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

from datetime import date
from time import time
```

```
2. Data Understanding

dataset = pd.read_feather('boiler_21.feather')
data_test = pd.read_feather('test_boiler_21.feather')
dataset = dataset[['FIC0521A', 'FIC0321A', 'PIC02221', 'PI004521', 'TI30721A',
                  'TI30621A', 'FIC0521A', 'PI001721', 'TI030321', 'TI030421', 'PI002821',
                  'LIC00821', 'TI030521', 'PIC00621', 'PI01821B', 'FI00621A']]
data_test = data_test[['A1000621', 'FIC4521A', 'FIC0321A', 'PIC02221', 'PI004521', 'TI30721A',
                      'TI30621A', 'FIC0521A', 'PI001721', 'TI030321', 'TI030421', 'PI002821',
                      'LIC00821', 'TI030521', 'PIC00621', 'PI01821B', 'FI00621A']]

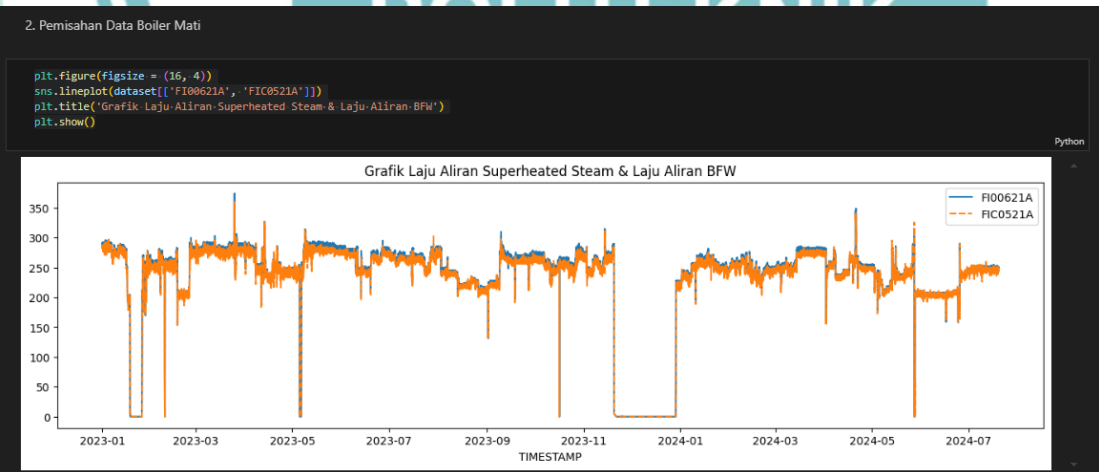
### 3. Data Preparation
```

```
1. Penghapusan Nilai yang Hilang

dataset = dataset[dataset.loc[:, 'FIC0521A'] <= 1500]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'FIC4521A'] <= 1000]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'PI004521'] <= 1100]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'TI030421'] <= 230]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'TI030521'] <= 1600]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'TI30621A'] <= 1200]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'TI30721A'] <= 1600]

dataset = dataset[dataset.loc[:, 'PIC02221'] >= 0]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'PI004521'] >= 0]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'FIC0521A'] >= 0]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'PI002821'] >= 0]
dataset = dataset[dataset.loc[:, 'LIC00821'] >= 0]

dataset.describe()
```

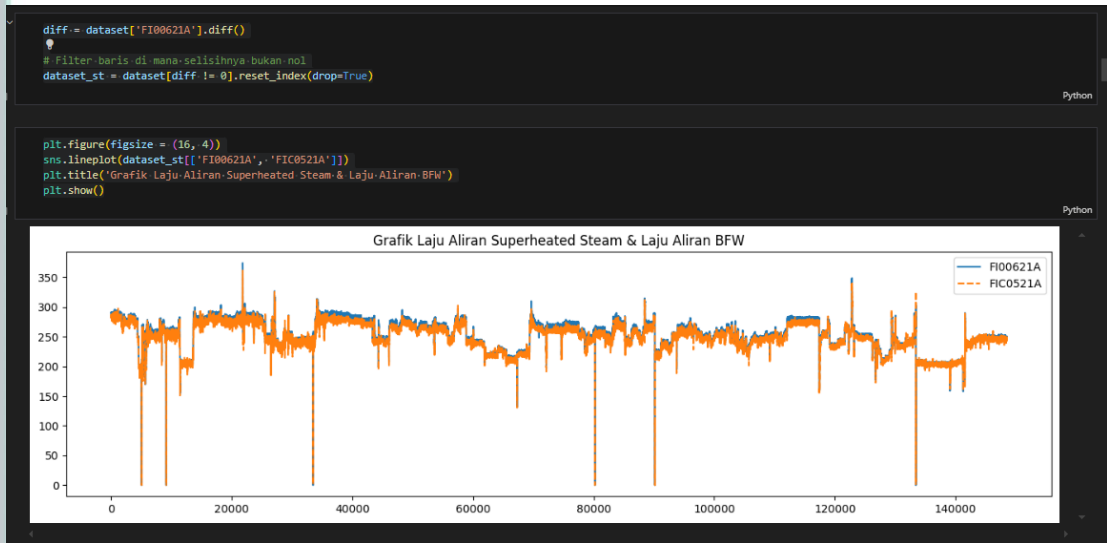




## Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### 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



```
dataset_mati = dataset[dataset.loc[:, 'AI000621'] >= 10]
dataset_ = dataset[dataset.loc[:, 'AI000621'] < 10]

dataset_mati.shape
```

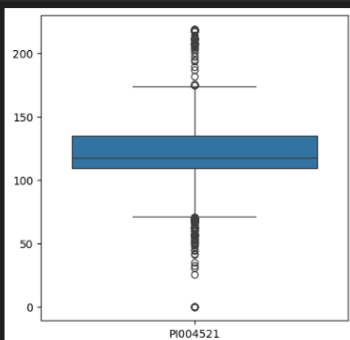
(3632, 17)

```
dataset_mati.describe()
```

	AI000621	FIC4521A	FIC0321A	PIC02221	PI004521	TI30721A	TI30621A	FIC0521A	PI001721	TI030321	TI030421	PI002821	LIC000821	TI0305
count	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000	3632.000000
mean	10.315444	48.229672	0.009579	0.243259	3.804375	112.429240	67.328892	0.422759	8.394070	100.264089	112.006892	6.420507	53.600992	145.4506
std	0.011214	37.607357	0.231945	0.844073	11.668995	51.263365	28.781401	4.985327	10.746667	5.200765	37.559375	10.905657	22.417094	55.9099
min	10.045682	34.297199	0.000000	0.000000	0.000156	36.393829	32.392605	0.000000	2.073019	71.913652	43.207576	0.033623	0.281979	90.6085
25%	10.316425	37.227400	0.000000	0.005000	0.297119	69.942278	46.204224	0.000000	2.393658	101.133950	85.601776	0.138713	37.146413	102.2636
50%	10.318159	37.949100	0.000000	0.015000	0.974356	94.251797	66.896107	0.000000	2.445420	101.589240	99.518716	0.631929	56.786161	114.5471
75%	10.319115	38.623200	0.000000	0.025000	2.018448	149.762514	75.755251	0.000000	11.537785	101.921167	128.374144	9.746387	67.722184	182.9676
max	10.322137	420.420013	7.206953	3.950667	185.195617	334.073442	204.897249	117.278333	62.347190	106.949690	229.933657	60.592466	106.293579	451.8425

### 3. Penghapusan Nilai Outlier

```
plt.figure(figsize = (5, 5))
sns.boxplot(dataset[['PI004521']])
plt.show()
```





## © Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### Hak Cipta :

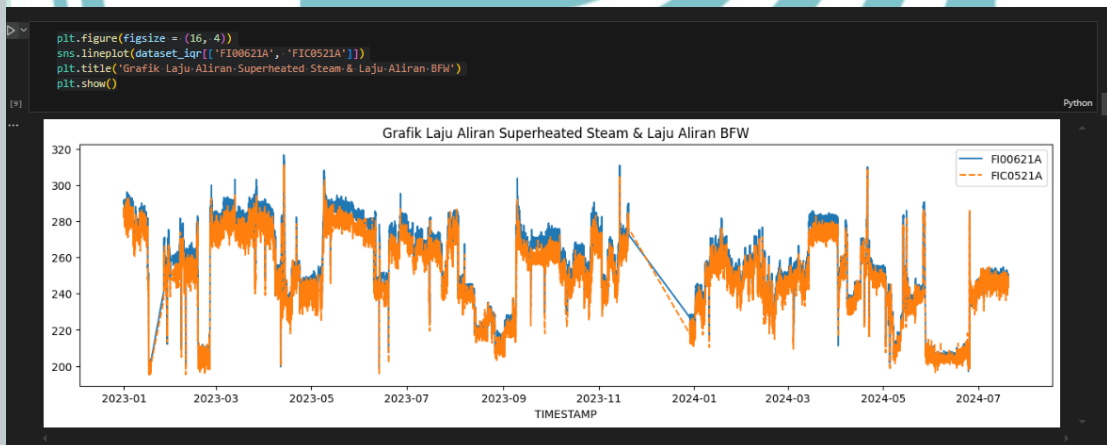
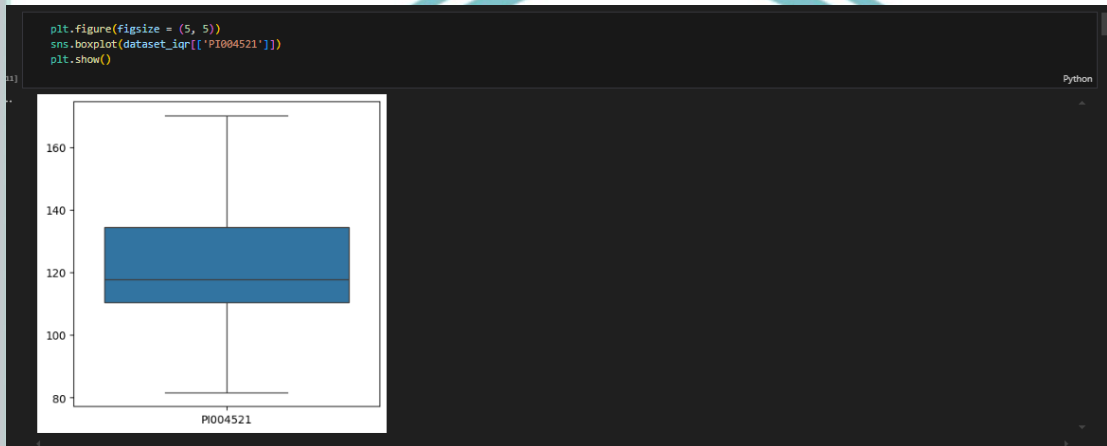
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
# Membersikan univariate outliers metode Interquartile Range (IQR)
start = time()
lower = 0.25
upper = 0.75

Q1 = dataset.quantile(lower)
Q3 = dataset.quantile(upper)
IQR = Q3 - Q1

dataset_iqr = dataset[~((dataset < (Q1 - 1.5 * IQR)) | (dataset > (Q3 + 1.5 * IQR))).any(axis = 1)]

end = time()
print(f'{dataset_iqr.shape} Done in {end - start:.3f}s')
```



```
Pemilihan Variabel Input

[{'AI000621': 'O2 Excess', 'FI04521A': 'Laju Aliran Udara Pembakaran', 'FI0321A': 'Laju Aliran Bahan Bakar Gas', 'PIC0221': 'Tekanan Bahan Bakar Gas',
  'I521': 'Tekanan Furnaces', 'TI30721A': 'Temp. Gas Buang Sebelum Economizer', 'TI30621A': 'Temp. Gas Buang Setelah Economizer', 'FI0521A': 'Laju Aliran Boiler Feed Water',
  'I721': 'Tekanan Boiler Feed Water', 'TI030321': 'Temp. BFW Sebelum Economizer', 'TI030421': 'Temp. BFW Setelah Economizer', 'PI002821': 'Tekanan Boiler Steam Drum', 'LI000821':
  'I3521': 'Temp. Superheated Steam', 'TI00621': 'Temp. Superheated Steam Setelah Attamp', 'PI01821B': 'Tekanan Superheated Steam', 'FI00621A': 'Laju Aliran Superheated Steam'})]

# Menghitung korelasi pearson
correlation_matrix = dataset_.corr(method = 'pearson')

# Membuat heatmap
plt.figure(figsize = (14, 12))
sns.heatmap(correlation_matrix, annot = True, fmt = '.2f', cmap = 'coolwarm', cbar = True, square = True, linewidths = 0.2, annot_kws={'size': 8})
plt.title('Heatmap Korelasi Pearson')
plt.show()
```



## 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

```
dataset___ = dataset_ [['O2 Excess', 'Laju Aliran Udara Pembakaran', 'Laju Aliran Bahan Bakar Gas', 'Tekanan Furnaces', 'Temp. Gas Buang Sebelum Economizer',  
                       'Temp. Gas Buang Setelah Economizer', 'Laju Aliran Boiler Feed Water', 'Tekanan Boiler Feed Water', 'Tekanan Boiler Steam Drum', 'Temp. Superheated',  
                       'Temp. Superheated Steam Setelah Attmp', 'Tekanan Superheated Steam', 'Laju Aliran Superheated Steam']]
```

```
from xgboost import XGBRegressor  
xgb = XGBRegressor()  
xgb._fit(dataset___, 1:, dataset___, :1)  
feature_importances = xgb._feature_importances_  
# Membuat DataFrame untuk visualisasi  
importance_df = pd.DataFrame({'Feature': dataset___, 1:].columns, 'Importance': feature_importances})  
# Mengurutkan berdasarkan pentingnya fitur  
importance_df = importance_df.sort_values(by = 'Importance', ascending = False)  
importance_df['Importance'] = round(importance_df['Importance'], 4)  
# Menampilkan fitur penting menggunakan seaborn  
plt.figure(figsize=(10, 6))  
ax = sns.barplot(x = 'Importance', y = 'Feature', data = importance_df)  
ax.bar_label(ax.containers[0], fontsize = 8)  
plt.title('Feature Importance')  
plt.show()
```

Pemilihan Variabel Input

```
dataset_md1 = dataset_ [['AI000621', 'FIC4521A', 'FIC0321A', 'PI004521', 'TI30721A', 'TI30621A',  
                       'FIC0521A', 'PI001721', 'PI002821', 'TI030521', 'TIC00621', 'PI01821B', 'FI00621A']]
```

```
from xgboost import XGBRegressor  
xgb = XGBRegressor()  
xgb._fit(dataset_md1, 1:, dataset_md1, :1)  
feature_importances = xgb._feature_importances_  
# Membuat DataFrame untuk visualisasi  
importance_df = pd.DataFrame({'Feature': dataset_md1, 1:].columns, 'Importance': feature_importances})  
# Mengurutkan berdasarkan pentingnya fitur  
importance_df = importance_df.sort_values(by = 'Importance', ascending = False)  
importance_df['Importance'] = round(importance_df['Importance'], 4)  
# Menampilkan fitur penting menggunakan seaborn  
plt.figure(figsize=(10, 6))  
ax = sns.barplot(x = 'Importance', y = 'Feature', data = importance_df)  
ax.bar_label(ax.containers[0], fontsize = 8)  
plt.title('Feature Importance')  
plt.show()
```

```
feature = importance_df['Feature'].values[0:12]
```

Pemisahan Data Latih dan Data Uji

```
from sklearn.model_selection import train_test_split  
x = dataset_md1, 1:]  
y = dataset_md1, :1]  
x_train, x_test, y_train, y_test = train_test_split(x, y, test_size = 0.2, random_state = 50)  
x_train.head()
```

	FIC4521A	FIC0321A	PI004521	TI30721A	TI30621A	FIC0521A	PI001721	PI002821	TI030521	TIC00621	PI01821B	FI00621A
TIMESTAMP												
2024-04-17 06:05:00	247.325403	20.129233	128.457110	391.873680	171.216876	265.210000	65.643899	62.421653	447.117524	439.348790	61.164637	269.107985
2023-09-02 03:30:00	232.254398	16.793973	108.349256	375.499067	166.623883	219.838333	64.586017	61.782176	447.201769	439.291082	61.053202	224.175079
2023-07-09 01:15:00	256.494001	20.405620	136.811637	391.326675	172.811070	265.865000	65.731052	62.438245	448.010282	440.886900	61.133623	274.372607
2023-11-16 10:40:00	250.567802	20.362427	129.298036	390.044088	171.660222	259.905000	65.784899	62.574214	447.930880	441.034267	61.317037	270.469765
2023-07-13 20:35:00	255.158402	19.947467	134.255176	389.043525	172.104068	260.321667	65.583163	62.351594	447.013036	440.051152	61.124984	268.283509





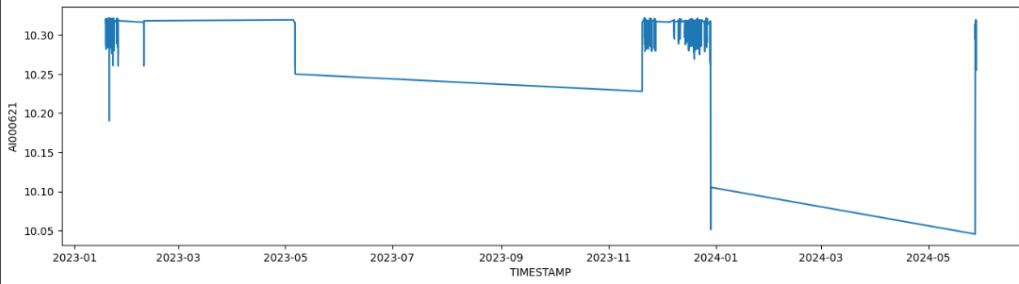
Hak Cipta :

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

4. Pemodelan

Boiler Tidak Aktif

```
plt.figure(figsize = (16, 4))
sns.lineplot(dataset_mati['AI000621'])
plt.show()
```



Boiler Aktif

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.tree import DecisionTreeRegressor
from sklearn.cross_decomposition import PLSRegression
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor, AdaBoostRegressor, ExtraTreesRegressor, GradientBoostingRegressor
from sklearn.svm import SVR
from xgboost import XGBRegressor
from lightgbm import LGBMRegressor
from catboost import CatBoostRegressor
from sklearn.neural_network import MLPRegressor

from sklearn.model_selection import cross_val_score, GridSearchCV, KFold
from sklearn.feature_selection import SequentialFeatureSelector
from sklearn.metrics import root_mean_squared_error, mean_absolute_error, r2_score, max_error
```

```
dtr = DecisionTreeRegressor(max_depth = 15)
rfr = RandomForestRegressor(n_estimators = 20, max_depth = 10)
etr = ExtraTreesRegressor(n_estimators = 20, max_depth = 10)
adb = AdaBoostRegressor()
ggb = GradientBoostingRegressor()
xgb = XGBRegressor()
lgb = LGBMRegressor()
```

```
result = {
    'MAE_DTR (k02)': [], 'R2_DTR': [],
    'MAE_RFR (k02)': [], 'R2_RFR': [],
    'MAE_ETR (k02)': [], 'R2_ETR': [],
    'MAE_ADB (k02)': [], 'R2_ADB': [],
    'MAE_GGB (k02)': [], 'R2_GGB': [],
    'MAE_XGB (k02)': [], 'R2_XGB': [],
    'MAE_LGB (k02)': [], 'R2_LGB': [],
    'Jumlah Feature': [],
}
```

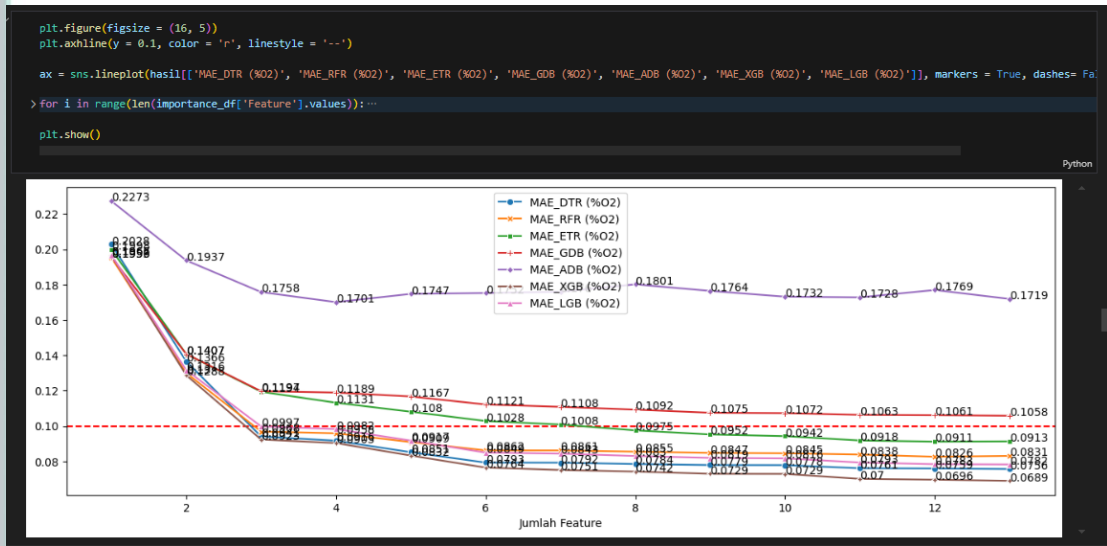
```
> for i in range(len(Importance_df['Feature'].values)): ...
hasil = pd.DataFrame(result)
hasil.set_index('Jumlah Feature', inplace = True)
hasil.columns
```



## 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



```
Machine Learning Model

# Inisialisasi k-Fold cross-validation dengan 5 fold
kfold = KFold(n_splits = 5, shuffle = True, random_state = 42)

dtr = DecisionTreeRegressor()
rfr = RandomForestRegressor()
etr = ExtraTreesRegressor()
adb = AdaBoostRegressor()
gdb = GradientBoostingRegressor()

# Lakukan cross-validation
for model in [dtr, rfr, etr, adb, gdb]:
    cv_results = cross_val_score(model, x_train, y_train, cv = kfold)
```

```
dtr = DecisionTreeRegressor(max_depth = 5)
rfr = RandomForestRegressor(n_estimators = 10, max_depth = 8, max_features = 8)
etr = ExtraTreesRegressor(n_estimators = 10, max_depth = 8, max_features = 8)
adb = AdaBoostRegressor(n_estimators = 30)
gdb = GradientBoostingRegressor(n_estimators = 10)
xgb = XGBRegressor(n_estimators = 10)
lgb = LGBMRegressor(n_estimators = 10)

dtr.fit(x_train, y_train)
rfr.fit(x_train, y_train)
etr.fit(x_train, y_train)
adb.fit(x_train, y_train)
gdb.fit(x_train, y_train)
xgb.fit(x_train, y_train)
lgb.fit(x_train, y_train)
```

```
5. Evaluasi

R2_dtr = r2_score(dtr.predict(x_train), y_train)
R2_rfr = r2_score(rfr.predict(x_train), y_train)
R2_etr = r2_score(etr.predict(x_train), y_train)
R2_adb = r2_score(adb.predict(x_train), y_train)
R2_gdb = r2_score(gdb.predict(x_train), y_train)
R2_xgb = r2_score(xgb.predict(x_train), y_train)
R2_lgb = r2_score(lgb.predict(x_train), y_train)

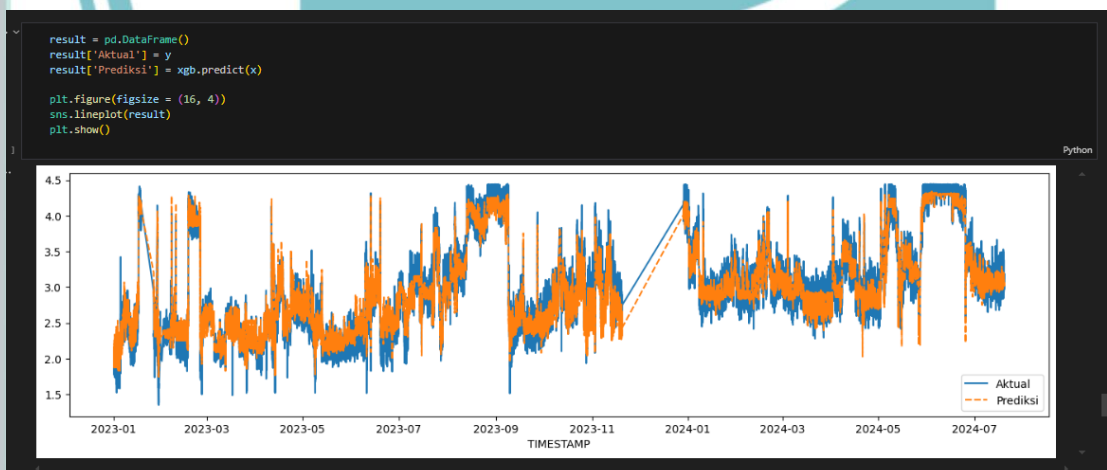
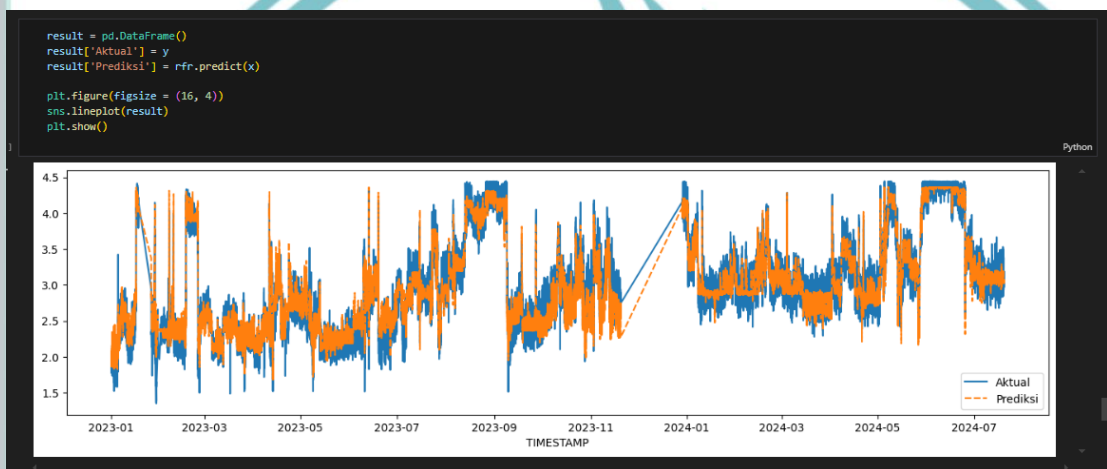
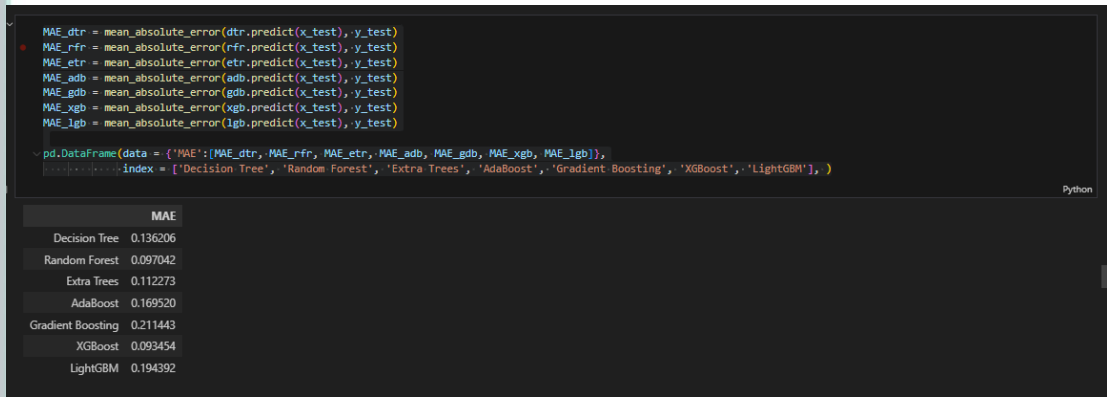
pd.DataFrame(data = {'R2 Score':[R2_dtr, R2_rfr, R2_etr, R2_adb, R2_gdb, R2_xgb, R2_lgb]},
              index = ['Decision Tree', 'Random Forest', 'Extra Trees', 'AdaBoost', 'Gradient Boosting', 'XGBoost', 'LightGBM'], )
```



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





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

### 6. Implementasi

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
dataset_md1_2 = dataset_md1[dataset_md1.index >= '2024-01-01 00:00:00']

X = dataset_md1_2.iloc[:, 1:]
Y = dataset_md1_2.iloc[:, :1]

X_train, X_test, Y_train, Y_test = train_test_split(X, Y, test_size = 0.2, random_state = 50)

feature_ = importance_df['Feature'].values[0:8]
feature_ = ['FI00621A', 'TIC00621', 'TI030521', 'PI001721', 'FIC0321A', 'PI002821', 'PI01821B', 'FIC4521A']
```

```
xgb = XGBRegressor(n_estimators = 15)
xgb_fit(x_train, y_train)
```

```
XGBRegressor(base_score=None, booster=None, callbacks=None,
              colsample_bylevel=None, colsample_bynode=None,
              colsample_bytree=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=None, max_bin=None,
              max_cat_threshold=None, max_cat_to_onehot=None,
              max_delta_step=None, max_depth=None, max_leaves=None,
              min_child_weight=None, missing=nan, monotone_constraints=None,
              multi_strategy=None, n_estimators=15, n_jobs=None,
              num_parallel_tree=None, random_state=None, ...)
```

```
# Save the model using pickle
xgb._save_model('o2excess_21.json')
```

```
import m2cgen as m2c

# Assuming 'model' is your trained XGBoost model
model = XGBRegressor()
model.load_model('o2excess_21.json') # Load your model

# Generate Visual Basic code
vb_code = m2c.export_to_visual_basic(model)
vbs_code = vb_code.replace("inputVector", "x")
vbs_code = vbs_code.replace("var", "y")

# Save the generated code to a .vbs file
with open("o2excess_21.vbs", "w") as file:
    file.write(vbs_code)
```

```
print(f'Dim x({len(feature)}) As Double')
for i, name in enumerate(feature):
    print(f'x({i}) = {Root.MODULE2.IP_ANALOG2.{name}.Value}')
print(f'[RESULT] = xgb_o2excess_21(x)')
```

```
import m2cgen as m2c

model.load_model('o2excess_21.json')

vb_code = m2c.export_to_visual_basic(model)
vbs_code = vb_code.replace("inputVector", "x")
vbs_code = vbs_code.replace("var", "y")

with open("o2excess_21.vbs", "w") as file:
    file.write(vbs_code)
```

```
# Memasukkan nama file
nama_file = 'AQL_TA.xlsx'

# Membaca file excel
raw = pd.read_excel(
    nama_file,
    header = 0
)
raw.shape
```

(34201, 13)

```
dataset = pd.DataFrame(raw.values, columns = raw.columns)
dataset['TIMESTAMP'] = pd.to_datetime(dataset['TIMESTAMP'])
dataset.set_index('TIMESTAMP', inplace = True)
dataset = dataset.astype('float')
dataset.describe()
```



## © 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





## LAMPIRAN 2 IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING MODEL

```
Enter the VBScript used to perform the calculation(s).  
End If  
End If  
Else  
If x(6) < 61.06437 Then  
If x(6) < 60.87423 Then  
y9 = -0.013536368  
Else  
y9 = 0.015737537  
End If  
Else  
y9 = 0.06465151  
End If  
End If  
Else  
If x(7) < 225.0654 Then  
If x(3) < 64.48444 Then  
If x(6) < 17.094427 Then  
y9 = 0.0065191253  
Else  
y9 = 0.014893779  
End If  
Else  
If x(5) < 61.731094 Then  
y9 = -0.0014721277  
Else  
y9 = 0.004774224  
End If  
End If  
Else  
If x(4) < 16.836912 Then  
If x(6) < 61.062485 Then  
y9 = 0.016376982  
Else  
y9 = 0.06704364
```

### 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

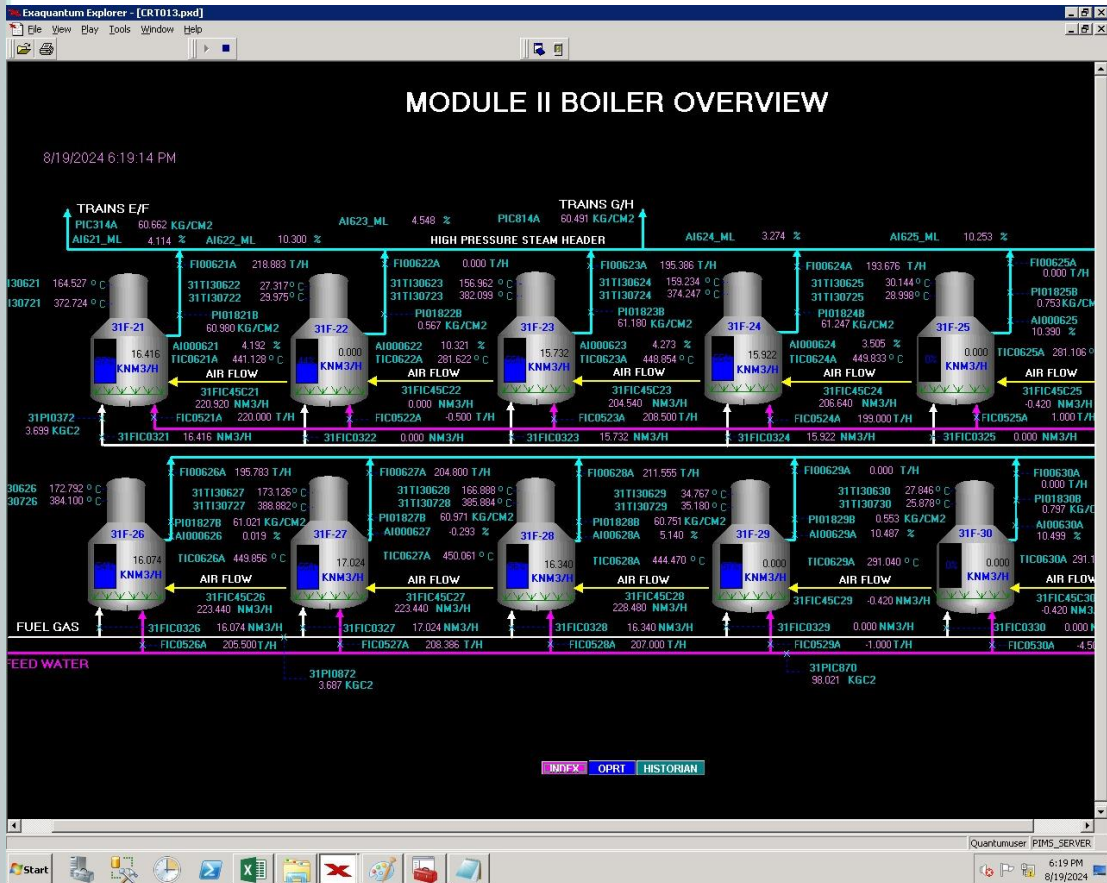




## Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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



POLITEKNIK  
NEGERI  
JAKARTA