



**ANALISIS PREDICTIVE MAINTENANCE DENGAN  
UNSUPERVISED LEARNING DAN ANOVA PADA VIBRASI SOLAR  
CENTAUR 50 GAS TURBINE DI PT. XYZ**

**SKRIPSI**

**AZARYA RAFFAEL SIBURIAN**

**1910311078**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

**2025**



***ANALISIS PREDICTIVE MAINTENANCE DENGAN UNSUPERVISED  
LEARNING DAN ANOVA PADA VIBRASI SOLAR CENTAUR 50 GAS  
TURBINE DI PT. XYZ***

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**AZARYA RAFFAEL SIBURIAN**

**1910311078**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN**

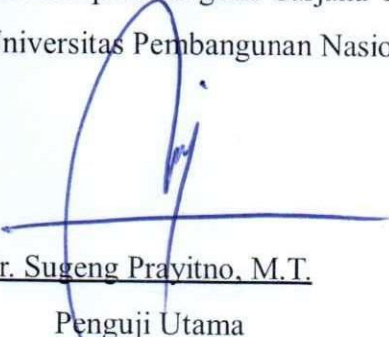
**2025**

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI


Skripsi diajukan oleh:

Nama : Azarya Raffael Siburian  
NIM : 1910311078  
Program Studi : S-1 Teknik Mesin  
Judul Skripsi : ANALISIS PREDICTIVE MAINTENANCE DENGAN  
UNSUPERVISED LEARNING DAN ANOVA PADA VIBRASI  
SOLAR CENTAUR 50 GAS TURBINE DI PT. XYZ

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.

  
Ir. Sugeng Prayitno, M.T.

Penguji Utama

  
Fitri Wahyuni, S.Si., M.Eng

Penguji Lembaga




Muchamad Oktaviandri, S.T., M.T., IPM., ASEN., Eng

Ph. Dekan Fakultas Teknik

  
Sigit Pradana, S.T., M.T.

Penguji III (Pembimbing)

  
Ir. Fahrudin, S.T., M.T.

Ka.Prodi S-1 Teknik Mesin

Ditetapkan di: Jakarta

Tanggal Ujian: Senin, 13 Januari 2025

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

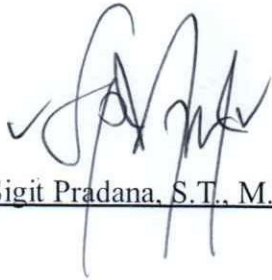
Skripsi diajukan oleh:

Nama : Azarya Raffael Siburian  
NIM : 1910311078  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : ANALISIS PREDICTIVE MAINTENANCE DENGAN  
UNSUPERVISED LEARNING DAN ANOVA PADA VIBRASI  
SOLAR CENTAUR 50 GAS TURBINE DI PT. XYZ

Telah berhasil dan diperbaiki oleh penulis atas arahan dari dosen pembimbing.

Menyetujui,

Pembimbing I



Sigit Pradana, S.T., M.T.

Pembimbing II



M. Arifudin Lukmana, S.T., M.T.

Jakarta, 24 Januari 2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi S-1 Teknik Mesin



Ir. Fahrudin, S.T., M.T.

## LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri, dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Azarya Raffael Siburian

NIM : 1910311078

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksamaan dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 24 Januari 2025

Yang menyatakan,



(Azarya Raffael Siburian)

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Azarya Raffael Siburian

NIM : 1910311078

Fakultas : Fakultas Teknik

Program Studi : S1 Teknik Mesin

Jenis Karya : Skripsi

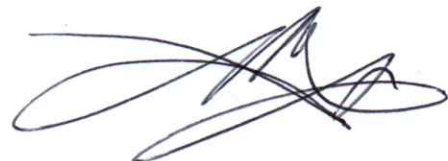
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jakarta Hak Bebas Royalti Non Eksklusif (*Non-Exclusive Royalty Free Right*) atas Skripsi saya yang berjudul:

“ANALISIS *PREDICTIVE MAINTENANCE* DENGAN *UNSUPERVISED LEARNING* DAN ANOVA PADA VIBRASI *SOLAR CENTAUR 50 GAS TURBINE* DI PT. XYZ”

Dengan Hak Bebas Royalti ini Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan *data (database)*, merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Jakarta, 24 Januari 2025

Yang menyatakan,



(Azarya Raffael Siburian)

# ***ANALISIS PREDICTIVE MAINTENANCE DENGAN UNSUPERVISED LEARNING DAN ANOVA PADA VIBRASI SOLAR CENTAUR 50 GAS TURBINE DI PT. XYZ***

**Azarya Raffael Siburian**

## **ABSTRAK**

*Rotating machinery*, seperti turbin gas, memainkan peran penting dalam berbagai industri, sehingga pemeliharaan prediktif menjadi krusial untuk mencegah *downtime* tak terduga. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *predictive maintenance* dengan pendekatan *unsupervised learning* dan ANOVA pada *data* vibrasi mesin. *Data* vibrasi dianalisis menggunakan *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan pola operasional mesin, sementara ANOVA digunakan untuk seleksi fitur guna memfilter variabel yang signifikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa algoritma *Isolation Forest* berhasil membedakan kondisi operasional *normal* dan *anomaly* dengan tingkat akurasi 93,07%. Studi ini membuktikan bahwa pendekatan *unsupervised learning* dapat memberikan wawasan tentang kondisi mesin berdasarkan *cluster* vibrasi serta *anomaly detection*, membantu *model* algoritma *isolation forest* mengidentifikasi kondisi operasional turbin gas berdasarkan vibrasi, ANOVA memberikan pemahaman fitur apa saja berkontribusi pada temuan *anomaly* tersebut, menjadi metode reduksi *data* yang bagus untuk *model* prediksi XGBoost dan membantu untuk kebutuhan perawatan preventif maupun kondisional.

**Kata Kunci:** *Predictive Maintenance Unsupervised Learning, Vibrasi*

***PREDICTIVE MAINTENANCE ANALYSIS WITH UNSUPERVISED  
LEARNING AND ANOVA ON THE VIBRATION OF THE SOLAR  
CENTAUR 50 GAS TURBINE AT PT. XYZ***

**Azarya Raffael Siburian**

**ABSTRACT**

*Rotating machinery, such as gas turbines, play an important role in various industries, so predictive maintenance is crucial to prevent unexpected downtime. This study aims to analyze predictive maintenance with unsupervised learning and ANOVA approaches on engine vibration data. Vibration data is analyzed using K-Means Clustering to cluster machine operational patterns, while ANOVA is used for feature selection to filter out significant variables. The analysis results show that the Isolation Forest algorithm successfully distinguishes normal and anomaly operational conditions with an accuracy rate of 93.07%. This study proves that the unsupervised learning approach can provide insight into engine conditions based on vibration clusters as well as anomaly detection, help the isolation forest algorithm model identify gas turbine operational conditions based on vibrations, ANOVA provides an understanding of what features contribute to the anomaly findings, be a good data reduction method for the XGBoost prediction model and help for preventive and conditional-based maintenance needs.*

**Keywords:** *Predictive Maintenance, Unsupervised Learning, Vibration Rotating Machinery*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis *Predictive Maintenance* Dengan *Unsupervised Learning* dan ANOVA Pada Vibrasi *Solar Centaur 50 Gas Turbine* di PT. XYZ”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jakarta.

Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan nikmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan baik.
2. Orangtua saya yang selalu memberikan dukungan serta doa.
3. Keluarga penulis, yang selalu mendukung dan mengingatkan penulis agar semangat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) ini.
4. Bapak Sigit Pradana, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing I dan bapak M. Arifiin Lukmana, S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing II yang telah membimbing dan mengarahkan penulis.
5. Bapak Ir. Fahrudin, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Pembangunan Nasional ‘Veteran’ Jakarta.
6. Teman – teman Teknik Mesin UPN ‘Veteran’ Jakarta, OPTIMIS 2019 yang telah menyemangati dan kebersamai penulis selama penulisan skripsi.
7. Reyhan Arighy, Rachmat Adrian Syafutra, Sutisna Ranu Wiharja dan Andrew Jordan yang telah menemani penulis selama penulisan skripsi.
8. Seluruh pihak di PT. XYZ, yang telah memberikan kesempatan dan dukungan kepada penulis agar penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Yang terkasih Adies Bani Nurcahyo. S.H. yang menyemangati penulis, serta kawan-kawan magang di PT. XYZ yang mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan untuk meningkatkan kualitas penelitian ini di masa depan.

Akhir kata, semoga skripsi “Analisis *Predictive Maintenance* Dengan *Unsupervised Learning* dan ANOVA Pada Vibrasi *Solar Centaur 50 Gas Turbine* Di PT. XYZ” ini bermanfaat bagi orang – orang yang membacanya, terkhususkan mahasiswa teknik mesin.

Jakarta, Januari 2025

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 <i>Maintenance</i> .....	6
2.1.1 <i>Preventive Maintenance</i> .....	6
2.1.2 <i>Monitoring Based Maintenance</i> .....	6
2.1.3 <i>Predictive Maintenance</i> .....	7
2.2 <i>Unsupervised Learning</i> .....	7
2.2.1 <i>K-Means Clustering</i> .....	8
2.2.2 <i>Isolation Forest</i> .....	8
2.3 <i>eXtreme Gradient Boosting (XGBoost)</i> .....	9
2.4 <i>Teknik Statistik &amp; Tools Python</i> .....	9

2.4.1 <i>Kolmogorov-Smirnov (KS)</i> .....	9
2.4.2 <i>Analysis of Variance (ANOVA)</i> .....	10
2.4.3 <i>Scaler</i> .....	12
2.5 <i>Centaur 50 Gas Turbine</i> .....	13
2.6 <i>Dataset Centaur 50 Gas Turbine</i> .....	14
2.7 <i>Vibrasi Bearing</i> .....	16
2.7.1 <i>Failure Mode Vibrasi</i> .....	20
2.8 <i>Validasi Model</i> .....	24
2.8.1 <i>Accuracy Score &amp; Classification Report</i> .....	24
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b> .....	<b>28</b>
3.1 <i>Studi Literatur</i> .....	28
3.2 <i>Collecting Data</i> .....	28
3.3 <i>Model K-Means Clustering untuk Vibrasi</i> .....	28
3.4 <i>ANOVA &amp; Variable Feature Selection untuk Isolation Forest</i> .....	28
3.5 <i>Model Isolation Forest</i> .....	29
3.6 <i>Simulasi &amp; Validation Model Isolation Forest</i> .....	29
3.7 <i>ANOVA &amp; Variable Feature Selection untuk XGBoost</i> .....	29
3.8 <i>Model XGBoost untuk Predictive Vibrasi</i> .....	29
3.9 <i>Selesai</i> .....	30
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>32</b>
4.1 <i>Data Fitur Target Vibrasi</i> .....	32
4.2 <i>Data Fitur Variable</i> .....	33
4.3 <i>Uji Distribusi Normal Data</i> .....	33
4.4 <i>Standarisasi Data</i> .....	33
4.5 <i>Pemodelan K-Means Clustering</i> .....	34
4.5.1 <i>Elbow Visualizer</i> .....	35
4.6 <i>Analysis of Variance (ANOVA) Terhadap Cluster Vibrasi</i> .....	39
4.7 <i>Anomaly Detection Dengan Algoritma Isolation Forest</i> .....	40
4.8 <i>Simulasi Kejadian Dunia Nyata</i> .....	42
4.8.1 <i>Isolation Forest Dataset Simulasi</i> .....	42
4.9 <i>Predictive Model XGBOOST</i> .....	43

4.9.1 <i>Analysis of Variance Terhadap Anomaly</i> .....	44
4.9.2 Visualisasi Line Plot Predictive Vibrasi .....	47
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> <i>Package Centaur 50</i> .....	14
<b>Gambar 2.2</b> <i>Turbine Generator Sleeve Bearing</i> .....	17
<b>Gambar 2.3</b> <i>Turbine Engine Tilt-Pad Bearing</i> .....	18
<b>Gambar 2.4</b> <i>Amplitude Vibration</i> .....	19
<b>Gambar 2.5</b> <i>Failure Mode Unbalance</i> .....	20
<b>Gambar 2.6</b> <i>Failure Mode Misalignment</i> .....	21
<b>Gambar 2.7</b> <i>Failure Mode Looseness</i> .....	21
<b>Gambar 2.8</b> <i>Titik Vibrasi Centaur 50 Gas Turbine</i> .....	23
<b>Gambar 3.1</b> <i>Diagram Penelitian</i> .....	31
<b>Gambar 4.1</b> <i>Syntax Robust &amp; MinMax Scaler</i> .....	33
<b>Gambar 4.2</b> <i>Plot Histogram Fitur Unit 1.AN_Gas_Fuel_Flow Value</i> .....	34
<b>Gambar 4.3</b> <i>Syntax Visualizer ‘Distortion Metric’</i> .....	35
<b>Gambar 4.4</b> <i>Elbow Visualizer Vibrasi Engine Bearing 1</i> .....	36
<b>Gambar 4.5</b> <i>Elbow Visualizer Vibrasi Engine Bearing 2</i> .....	37
<b>Gambar 4.6</b> <i>Elbow Visualizer Vibrasi Engine Bearing 3</i> .....	37
<b>Gambar 4.7</b> <i>Elbow Visualizer Vibrasi Driven End Bearing</i> .....	38
<b>Gambar 4.8</b> <i>Elbow Visualizer Vibrasi Exciter End Bearing</i> .....	38
<b>Gambar 4.9</b> <i>Syntax Model Algoritma K-Means</i> .....	39
<b>Gambar 4.10</b> <i>Syntax Penggabungan enam (6) Fitur Anomaly</i> .....	41
<b>Gambar 4.11</b> <i>List Selected Variable ANOVA</i> .....	42
<b>Gambar 4.12</b> <i>Metric Score Validasi Model Anomaly</i> .....	43
<b>Gambar 4.13</b> <i>Alarm Limit Vibrasi Unacceptable</i> .....	45
<b>Gambar 4.14</b> <i>Alarm Limit Vibrasi Evaluation</i> .....	46
<b>Gambar 4.15</b> <i>Prediction vs Actual Unit 1.AN_Eng_Brg_1X_Vib Value</i> .....	47
<b>Gambar 4.16</b> <i>Prediction vs Actual Unit 1.AN_Eng_Brg_1Y_Vib Value</i> .....	48
<b>Gambar 4.17</b> <i>Prediction vs Actual Unit 1.AN_Eng_Brg_2X_Vib Value</i> .....	48
<b>Gambar 4.18</b> <i>Prediction vs Actual Unit 1.AN_Eng_Brg_2Y_Vib Value</i> .....	49
<b>Gambar 4.19</b> <i>Prediction vs Actual Unit 1.AN_Eng_Brg_3X_Vib Value</i> .....	49
<b>Gambar 4.20</b> <i>Prediction vs Actual Unit 1.AN_Eng_Brg_3Y_Vib Value</i> .....	50

<b>Gambar 4.21</b> <i>Prediction vs Actual</i> Unit 1.AN_GEN_DE_X_Vib Value .....	50
<b>Gambar 4.22</b> <i>Prediction vs Actual</i> Unit 1.AN_GEN_DE_Y_Vib Value .....	51
<b>Gambar 4.23</b> <i>Prediction vs Actual</i> Unit 1.AN_GEN_EE_X_Vib Value .....	51
<b>Gambar 4.24</b> <i>Prediction vs Actual</i> Unit 1.AN_GEN_EE_Y_Vib Value .....	52

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Fitur Variable .....	14
<b>Tabel 2.2</b> Fitur Target.....	15
<b>Tabel 2.3</b> Ambang Batas RMS Vibrasi.....	20
<b>Tabel 2.4</b> Validasi Model .....	24
<b>Tabel 4.1</b> Fitur Target Vibrasi.....	32
<b>Tabel 4.2</b> Hasil ANOVA pada Anomaly .....	44
<b>Tabel 4.3</b> MSE dan MAE Model XGBoost .....	46



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1** Deskripsi Fitur *Variable*
- Lampiran 2** Hasil Uji *Kolmogorov-Smirnov*
- Lampiran 3** Hasil ANOVA *Cluster* Vibrasi 1
- Lampiran 3.1** Hasil ANOVA *Cluster* Vibrasi 2
- Lampiran 3.2** Hasil ANOVA *Cluster* Vibrasi 3
- Lampiran 3.3** Hasil ANOVA *Cluster* Vibrasi 4
- Lampiran 3.4** Hasil ANOVA *Cluster* Vibrasi 5
- Lampiran 4** ANOVA *anomaly* vibrasi *bearing* 1 & 2
- Lampiran 4.1** ANOVA *anomaly* vibrasi *bearing* 3 & 4
- Lampiran 4.2** ANOVA *anomaly* vibrasi *bearing* 5
- Lampiran 5** *Syntax Hyperparameter Tuning Isolation Forest Dataset yang Sebenarnya*
- Lampiran 6** *Syntax Hyperparameter Tuning Isolation Forest Dataset Simulasi*
- Lampiran 7** *Condition\_Turbine*
- Lampiran 8** *Syntax Hyperparameter Tuning XGBoost*
- Lampiran 8.1** *Syntax Hyperparameter Tuning XGBoost*
- Lampiran 9** *Alarm Limit Vibrasi Bearing Centaur 50 Gas Turbine*
- Lampiran 10** *Engine Vibration Screen*
- Lampiran 11** *Generator Vibration Screen*
- Lampiran 12** Standar *Sensor* API 670
- Lampiran 13** *Illustrated Part Turbine Engine*
- Lampiran 14** *Illustrated Part Turbine Generator*
- Lampiran 15** Lembar Konsultasi Dosen Pembimbing 1
- Lampiran 16** Lembar Konsultasi Dosen Pembimbing 2