

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
LEMBAR PENGESAH TIM PEMBIMBING	II
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI.....	III
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR	XI
DAFTAR TABEL	XIII
INTISARI.....	XIV
<i>ABSTRACT</i>	<i>XV</i>
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Keaslian dan Kebaruan Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1. Model termodinamika untuk prediksi kinerja turbin gas.....	11
2.2. Penerapan <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) dalam prediksi kinerja turbin gas	12
2.3. <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM) untuk Prediksi Kinerja Turbin Gas.....	16
2.4. Permasalahan Dimensionalitas Tinggi dan Pentingnya Feature Selection pada Prediksi Kinerja Turbin Gas	19

2.5. Optimalisasi <i>Hyperparameter</i> LSTM Menggunakan <i>Bayesian Optimization</i>	21
2.6. Identifikasi Gap Penelitian	22
BAB III DASAR TEORI	24
3.1 Gas Turbine	24
3.1.1 <i>Compressor Section</i>	26
3.1.2 <i>Combustion</i>	27
3.1.3 <i>Expantion</i>	28
3.1.4 <i>Exhaust</i>	28
3.2 <i>ENGINE PERFORMANCE</i>	29
3.2.1 Persamaan Laju Alir <i>Massa</i>	29
3.2.2 Hukum Termodinamika I	29
3.2.3 Kalor <i>specific</i>	30
3.2.4 Analisa Termodinamika siklus <i>Brayton</i>	31
3.2.5 <i>Compressor Section</i>	31
3.2.6 <i>Combustion Chamber</i>	32
3.2.7 <i>Turbine Section</i>	35
3.3 Parameter Kinerja Turbin Gas	35
3.3.1 <i>Thermal Efficiency</i>	36
3.3.2 <i>Power Output</i>	36
3.3.3 <i>Specific Fuel Consumption</i>	37
3.3.4 <i>Heat Rate</i>	37
3.4 <i>Deep Learning</i> (pembelajaran mendalam)	38
3.4.1 <i>Long Short-Term Memory</i> (LSTM)	40
3.4.2 Pemrosesan LSTM	41

3.4.3 Langkah kerja LSTM.....	43
3.5 <i>Feature Selection</i>	47
3.5.1 Metode <i>Feature Selection</i>	47
3.5.2 <i>Recursive Feature Elimination</i> (RFE)	47
3.6 Membangun Model LSTM.....	48
3.6.1 <i>Hyperparameter Tuning</i>	48
3.6.2 <i>Bayesian Optimization</i> (BO).....	49
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	51
4.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	51
4.2 Alat dan Bahan Penelitian	51
4.2.1 Alat Penelitian	51
4.2.2 Bahan Penelitian	52
4.3 Tata Laksana Penelitian.....	53
4.3.1 Sumber Data	54
4.3.2 <i>Preprocessing</i> Data.....	55
4.3.3 Pengembangan Model LSTM.....	56
4.3.4 <i>Hyperparameter Tuning</i>	57
4.3.5 <i>Cross Validation using K-fold</i>	57
4.3.6 Model <i>Training</i> dan <i>Predicting</i>	57
4. 3. 7 Visualisasi dan Interpretasi.....	57
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
5.1 <i>Preprocessing Data</i>	58
5.3 <i>Hyperparameter Tuning</i>	62
5.4 <i>Cross Validation using K-fold</i>	66



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Prediksi Kinerja Turbin Gas Menggunakan Long Short-Term Memory (Lstm) Dengan Kombinasi Recursive

Feature Elimination (Rfe) Dan Bayesian Hyperparameter Tuning

Tri Handoyo, Ir. Joko Waluyo, M.T., Ph.D., IPM, ASEAN Eng., APEC Eng. ; Ir. Noor Akhmad Setiawan, S.T., M.T., Pt

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

5.5 <i>Training dan Predicting Model</i>	66
5.5.1 <i>Training Model</i>	66
5.5.2 <i>Predicting Model</i>	67
5.6.3 Kesiapan Model dalam Monitoring di Industri	71
BAB VI PENUTUP	73
6.1 Kesimpulan.....	73
6.2. Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	78

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Pengaruh ambient temperature terhadap <i>output power</i>	11
Gambar 2.2 PR , mf , and TET <i>relative Errors from reverse evaluation</i>	14
Gambar 2.3 WGT , PR, and TET <i>relative errors from forward evaluation</i>	14
Gambar 2.4 Kapasitas daya pembangkit dari pengukuran dan prediksi turbin gas	15
Gambar 2.5 Arsitektur LSTM	17
Gambar 2.6 <i>Trajectory of degradation of training engine</i>	18
Gambar 2. 7 <i>Trajectory of degradation of testing engine #76 at different cycle of truncation</i>	19
Gambar 3.1 <i>Brayton Cycle</i>	24
Gambar 3.2 Kurva P vs V	25
Gambar 3.3 Kurva P vs T	25
Gambar 3.4 Kurva T vs S	26
Gambar 3.5 Compressor Rotor	27
Gambar 3.6 <i>Station Numbering Split shaft</i>	28
Gambar 3.7 Keseimbangan Energi pada Volume Atur	29
Gambar 3.8 Analisa Termodinamika <i>Brayton Cycle</i>	31
Gambar 3.9 Jaringan LSTM terdiri dari modul LSTM yang dipanggil berulang	41
Gambar 3.10 Modul LSTM	41
Gambar 3.11 Ide Kunci LSTM	42
Gambar 3.12 Gerbang Sigmoid	43
Gambar 3.13 <i>Forget Gate</i>	43
Gambar 3.14 <i>Forget gate</i>	44
Gambar 3.15 <i>Input Gate</i>	44
Gambar 3.16 Penjumlahan <i>forget gate</i> dan <i>input gate</i>	45
Gambar 3.17 <i>Output Gate</i>	46
Gambar 4. 1 <i>Offshore Platform</i>	51
Gambar 4. 2 Alur Penelitian	53
Gambar 4. 3 Proses pengambilan data variabel turbin gas	54



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Prediksi Kinerja Turbin Gas Menggunakan Long Short-Term Memory (Lstm) Dengan Kombinasi Recursive

Feature Elimination (Rfe) Dan Bayesian Hyperparameter Tuning

Tri Handoyo, Ir. Joko Waluyo, M.T., Ph.D., IPM, ASEAN Eng., APEC Eng. ; Ir. Noor Akhmad Setiawan, S.T., M.T., Pt

Universitas Gadjah Mada, 2025 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Gambar 5.1 Perbandingan sebelum dan sesudah penghapusan outlier menggunakan IQR.....	61
Gambar 5. 2 <i>Feature selection output</i>	62
Gambar 5.3 Proses <i>Hyperparameter tuning</i>	63
Gambar 5. 4 <i>Loss function vs epoch</i> (a) MSE, (b) MAE	67

Daftar Tabel

Tabel 1. 1 Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2.1 Perbandingan prediksi <i>engine</i> RUL	17
Tabel 2.2 Perfoma model dengan dan tanpa <i>Feature selection</i>	20
Tabel 2. 3 Perbandingan Galat Model.....	22
Tabel 4. 1 Variabel Turbin Gas	55
Tabel 5. 1 Perbandingan jumlah original data dengan splitting data	59
Tabel 5. 2 Perbandingan data sebelum dan setelah preprocessing data	60
Tabel 5. 3 <i>Hyperparameter tuning</i> pada beberapa trial	64
Tabel 5. 4 <i>Hyperparameter space</i> dan <i>Optimal Hyperparameter</i>	65
Tabel 5. 5 <i>Cross Validation Matrix</i>	66
Tabel 5. 6 <i>Loss function predicting model</i>	68