



SKRIPSI

**PENERAPAN MODEL BiLSTM-ATTENTION
DENGAN OPTIMASI MOTH FLAME UNTUK
PREDIKSI KADAR PARTICULATE MATTER
(PM10)**

MOHAMMAD LUCKY KURNIAWAN
NPM 21081010206

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Ir. Anggraini Puspita Sari, ST., MT.
Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
SURABAYA
2025**



SKRIPSI

PENERAPAN MODEL BiLSTM-ATTENTION DENGAN OPTIMASI MOTH FLAME UNTUK PREDIKSI KADAR PARTICULATE MATTER (PM10)

MOHAMMAD LUCKY KURNIAWAN
NPM 21081010206

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Ir. Anggraini Puspita Sari, ST., MT.
Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
SURABAYA
2025**

Halaman ini sengaja dikosongkan

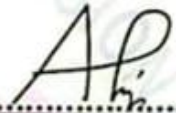
LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN MODEL BiLSTM-ATTENTION DENGAN OPTIMASI MOTH FLAME UNTUK PREDIKSI KADAR PARTICULATE MATTER (PM10)

Oleh :
MOHAMMAD LUCKY KURNIAWAN
NPM. 21081010206

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Prodi Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Pada tanggal 26 November 2025.

Dr. Eng. Ir. Anggraini Puspita Sari, ST., MT
NPT. 222198 60 816400


..... (Pembimbing I)

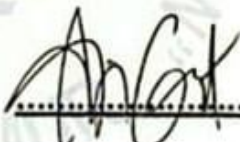
Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom
NIP. 19890705 202121 2 002


..... (Pembimbing II)

Eka Prakarsa Mandyartha, S.T., M.Kom
NIP. 19880525 201803 1 001


..... (Penguji I)

Chrystia Aji Putra, S.Kom, M.T
NIP. 19861008 202121 1 001


..... (Penguji II)

Mengetahui,
Dekan Fakultas Ilmu Komputer


Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT
NIP. 19681126 199403 2 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENERAPAN MODEL BILSTM-ATTENTION DENGAN OPTIMASI
MOTH FLAME UNTUK PREDIKSI KADAR
PARTICULATE MATTER (PM10)**

Oleh:
MOHAMMAD LUCKY KURNIAWAN
NPM. 21081010206



Menyetujui,
Koordinator Program Studi Informatika
Fakultas Ilmu Komputer

Fetty Tri Anggraeny, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19820211 202121 2 005

Halaman ini sengaja dikosongkan

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Mohammad Lucky Kurniawan
NPM : 21081010206
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Informatika
Fakultas : Ilmu Komputer

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Surabaya, 3 Desember 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Mohammad Lucky Kurniawan

NPM. 21081010206

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Mohammad Lucky Kurniawan / 21081010206
Judul Skripsi : PENERAPAN MODEL BiLSTM-ATTENTION
DENGAN OPTIMASI MOTH FLAME UNTUK
PREDIKSI KADAR PARTICULATE MATTER
(PM10)
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Eng. Ir. Anggraini Puspita Sari, ST., MT.
2. Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom

Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi konsentrasi Particulate Matter (PM₁₀) sebagai salah satu parameter utama pencemar udara dengan menerapkan model Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) yang dilengkapi dengan Attention Mechanism dan dioptimasi menggunakan algoritma Moth Flame Optimization (MFO). Metode penelitian meliputi delapan tahapan utama, yaitu pengumpulan data kualitas udara dari *Satu Data Jakarta*, penggabungan dengan data meteorologi dari BMKG, proses *preprocessing* data (pembersihan, *smoothing*, normalisasi, dan pembentukan *sequence*), pembangunan model BiLSTM-Attention, optimasi hiperparameter menggunakan MFO, pelatihan model, skenario pengujian, serta evaluasi performa model. Model BiLSTM digunakan untuk menangkap pola hubungan dua arah pada data deret waktu, sedangkan mekanisme Attention diterapkan untuk memberikan fokus lebih pada fitur yang relevan terhadap hasil prediksi. Proses optimasi menggunakan MFO dilakukan untuk menyesuaikan parameter penting seperti jumlah *neuron*, *learning rate* dan *dropout* agar diperoleh konfigurasi model terbaik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model BiLSTM-Attention-MFO memberikan performa paling optimal dengan nilai MAE sebesar 2.2788, RMSE sebesar 2.9774, MAPE sebesar 5.01%, dan R² sebesar 0.9316. Dengan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penerapan algoritma MFO mampu meningkatkan akurasi dan stabilitas model BiLSTM-Attention, sehingga model ini efektif digunakan untuk prediksi konsentrasi PM₁₀ dan dapat mendukung sistem peringatan dini serta kebijakan mitigasi pencemaran udara.

Kata kunci : PM₁₀, BiLSTM, Attention Mechanism, Moth Flame Optimization (MFO), Prediksi Kualitas Udara, Time Series.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Student Name / NPM : Mohamamd Lucky Kurniawan / 21081010206
Thesis Title : Implementation BiLSTM-Attention Model with
Moth Flame Optimization for Predicting
Particulate Matter (PM₁₀) Concentration
Advisor : 1. Dr. Eng. Ir. Anggraini Puspita Sari, ST., MT.
2. Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom

This research aims to predict the concentration of Particulate Matter (PM₁₀) as one of the main indicators of air pollution by implementing the Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM) model, which is enhanced with an Attention Mechanism and optimized using the Moth Flame Optimization (MFO) algorithm. The research methodology consists of eight main stages, namely data collection of air quality from *Satu Data Jakarta*, integration with meteorological data from BMKG, data preprocessing (including cleaning, smoothing, normalization, and sequence formation), model development of BiLSTM-Attention, hyperparameter optimization using MFO, model training, testing scenarios, and model evaluation. The BiLSTM model is utilized to capture bidirectional temporal dependencies within the time-series data, while the Attention Mechanism focuses on emphasizing the most relevant features that influence prediction outcomes. The MFO algorithm is employed to optimize crucial hyperparameters such as the number of neurons, learning rate, and dropout rate in order to obtain the best-performing configuration. The experimental results indicate that the BiLSTM-Attention-MFO model achieves the most optimal performance, with MAE of 2.2788, RMSE of 2.9774, MAPE of 5.01%, and R² of 0.9316. These findings demonstrate that the integration of the MFO algorithm effectively enhances the accuracy and stability of the BiLSTM-Attention model. Therefore, this model can be effectively utilized for predicting PM₁₀ concentrations and can serve as a decision-support tool for early warning systems and air pollution mitigation policies.

Keywords: PM₁₀, BiLSTM, Attention Mechanism, Moth Flame Optimization (MFO), Air Quality Prediction, Time Series.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Penerapan Model BiLSTM-Attention dengan Optimasi Moth Flame untuk Prediksi Kadar Particulate Matter (PM10)”** dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan motivasi. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
2. Ibu Fetty Tri Anggraeny, S.Kom., M.Kom., selaku Koordinator Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Ibu Dr. Eng. Ir. Anggraini Puspita Sari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, yang dengan penuh kesabaran telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, serta dukungan yang sangat berarti kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini, sehingga penulis dapat menyelesaikannya dengan baik.
4. Ibu Eva Yulia Puspaningrum, S.Kom., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing II yang dengan penuh kesabaran, ketelitian, serta dedikasi tinggi telah membimbing, mengarahkan, dan memberikan masukan yang sangat berarti dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Andreas Nugroho Sihananto, S.Kom., M.Kom., selaku PIC Skripsi Program Studi Informatika.
6. Bapak Eka Prakarsa Mandyartha, S.T., M.Kom. selaku Dosen Penguji I, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan saran, kritik, dan masukan yang sangat berharga selama proses sidang skripsi, guna menyempurnakan penyusunan skripsi.
7. Bapak Chrystia Aji Putra, S.Kom, M.T selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan, saran, dan koreksi yang sangat bermanfaat demi kesempurnaan skripsi ini.

8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, yang telah memberikan ilmu, wawasan, serta pengalaman berharga selama penulis menempuh pendidikan.
9. Ayah, Ibu, Kakak, serta seluruh keluarga besar, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, kasih sayang, dan semangat yang tiada henti, serta menjadi sumber kekuatan bagi penulis dalam setiap langkah perjalanan hidup, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dan penyusunan skripsi ini dengan baik.
10. Raissa Atha Febrianti, yang telah setia menemani, membersamai, dan memberikan dukungan moral kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini, serta menjadi pendengar yang baik di tengah kelelahan dan keraguan, dengan kesabaran, perhatian, dan kehadiran yang tulus baik dalam suka maupun duka.
11. Ferry, Iryad, Hafiyan, Mas Lugas, serta seluruh teman-teman penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah menjadi teman seperjuangan selama masa perkuliahan, memberikan dukungan, kebersamaan, serta kenangan indah yang berharga dan tak terlupakan bagi penulis.
12. Terakhir, terima kasih kepada diri saya sendiri, Mohammad Lucky Kurniawan, yang telah memilih untuk terus bertahan dan melangkah maju meski terasa berat dan sudah mengusahakan semuanya meski tidak mudah dan banyak pengorbanan di dalamnya. Terimakasih karena tidak menyerah dan sudah menyelesaikan perjalanan ini, selalu semangat menjalani kehidupan selanjutnya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih memiliki kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 25 November 2025

Penulis

Mohammad Lucky Kurniawan

NPM. 21081010206

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	v
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	vii
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	5
1.5. Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Terdahulu	6
2.2. Pencemaran Udara.....	10
2.3. Forecaster	11
2.4. Particulate Matter (PM ₁₀)	11
2.5. Interpolasi Linier	12
2.6. Simple Moving Average (SMA)	13
2.7. Dense (Fully Connected Layer)	13
2.8. Dropout.....	14
2.9. <i>Z-Score Normalization</i>	15
2.10. LSTM	15
2.11. Bidirectional LSTM	17
2.12. Attention Mechanism	18
2.13. Bidirectional Attention LSTM	19
2.14. MFO	21
2.15. Evaluasi Model Prediksi.....	22
2.15.1. Root Mean Square Error (RMSE).....	22

2.15.2.	Mean Absolute Error (MAE)	23
2.15.3.	Mean Absolute Percentage Error (MAPE).....	24
2.15.4.	R-squared	25
BAB III METODOLOGI		26
3.1	Studi Literatur	26
3.2	Pengumpulan Data	27
3.2.1.	Variabel Dependen (Target).....	27
3.2.2.	Variabel Independen (Features)	28
3.3	Preprocessing Data	29
3.3.1	Cleaning Data.....	29
3.3.2	Smoothing Data.....	31
3.3.3	Normalisasi Data	32
3.3.4	Sequence Data	33
3.3.5	Split Data.....	35
3.4	Pengembangan Model BiLSTM-Attention	35
3.4.1	Arsitektur Model	36
3.5	MFO	44
3.6	Proses Pelatihan Model	45
3.7	Skenario Pengujian.....	46
3.8	Evaluasi Model.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		49
4.1.	Preprocessing Data	49
4.1.1.	Cleaning Data.....	49
4.1.2.	Smoothing Data.....	50
4.1.3.	Normalisasi Data	52
4.1.4.	Sequence Data	53
4.1.5.	Split Data.....	54
4.2.	Pengembangan Model BiLSTM-Attention	55
4.2.1.	Arsitektur Model	55
4.3.	MFO	61
4.4.	Skenario Pengujian.....	63
4.4.1.	Pengujian Pada Parameter Split Data.....	64

4.4.2.	Pengujian Pada Parameter Learning Rate	73
4.4.3.	Pengujian Pada Parameter BiLSTM Units 1	82
4.4.4.	Pengujian Pada Parameter BiLSTM Units 2	91
4.4.5.	Pengujian Pada Parameter <i>Dropout</i>	100
4.4.6.	Pengujian Pada Parameter <i>n_moth</i> (Jumlah Populasi Moth)	109
4.4.7.	Pengujian Pada Parameter Iterasi Maksimum	118
4.4.8.	Hasil Skenario Pengujian	128
4.5.	Evaluasi Model	131
4.5.1.	Model BiLSTM Attention	131
4.5.2.	Model BiLSTM	134
4.5.3.	Hasil Evaluasi Model	137
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		140
5.1	Kesimpulan	140
5.2	Saran	141
DAFTAR PUSTAKA		142
LAMPIRAN		145

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur LSTM	16
Gambar 2.2 Arsitektur BiLSTM	17
Gambar 2.3 Arsitektur Hidden BiLSTM.....	18
Gambar 2.4 Arsitektur Attention Mechanism [11]	19
Gambar 2.5 Arsitektur BiLSTM-Attentions [14].....	20
Gambar 2.6 Pergerakan Spiral Ngengat Mengelilingi Nyala Api [30]	21
Gambar 3.1 Alur Penelitian.....	26
Gambar 3.2 Alur Pra-pemrosesan	29
Gambar 3.3 Alur BiLSTM Attention	36
Gambar 3.4 Alur MFO	44
Gambar 4.1 <i>Missing Rate</i> Sebelum dan Sesudah Interpolasi.....	50
Gambar 4.2 <i>Smoothing Data</i>	51
Gambar 4.3 <i>Normalisasi Data</i>	53
Gambar 4.4 Output Sequence Data	54
Gambar 4.5 Output Jumlah Pembagian Data	55
Gambar 4.6 Output <i>InputLayer</i>	56
Gambar 4.7 Output BiLSTM Layer	57
Gambar 4.8 Output Dropout Layer	58
Gambar 4.9 Output Attention Layer	60
Gambar 4.10 Output Dense Layer.....	60
Gambar 4.11 Hasil Pengujian Split Data 70:15:15	65
Gambar 4.12 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada Split data 70:15:15.....	65
Gambar 4.13 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada Split data 70:15:15.....	66
Gambar 4.14 Hasil Pengujian Split Data 80:10:10	67
Gambar 4.15 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada Split data 80:10:10.....	68
Gambar 4.16 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada Split data 80:10:10.....	69
Gambar 4.17 Hasil Pengujian Split Data 90:5:5	70
Gambar 4.18 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada Split data 90:5:5.....	71
Gambar 4.19 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada Split data 90:5:5.....	72
Gambar 4.20 Hasil Pengujian Learning Rate 0.0001–0.001	74

Gambar 4.21 Visualisasi Train vs Validation Loss Learning Rate 0.0001–0.001	75
Gambar 4.22 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada Learning Rate 0.0001–0.001	76
Gambar 4.23 Hasil Pengujian Learning Rate 0.001–0.005	77
Gambar 4.24 Visualisasi Train vs Validation Loss Learning Rate 0.001–0.005	77
Gambar 4.25 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada Learning Rate 0.001–0.005	78
Gambar 4.26 Hasil Pengujian Learning Rate 0.005–0.01	79
Gambar 4.27 Visualisasi Train vs Validation Loss Learning Rate 0.005–0.01	80
Gambar 4.28 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada Learning Rate 0.005–0.01	81
Gambar 4.29 Hasil Pengujian Units 1 [32 – 64]	83
Gambar 4.30 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada Units 1 [32–64]	84
Gambar 4.31 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada Units 1 [32–64]	85
Gambar 4.32 Hasil Pengujian Units 1 [64 – 96]	86
Gambar 4.33 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada Units 1 [64–96]	86
Gambar 4.34 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada Units 1 [64–96]	87
Gambar 4.35 Hasil Pengujian <i>Units</i> 1 [96 – 128]	89
Gambar 4.36 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada <i>Units</i> 1 [96–128]	89
Gambar 4.37 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada <i>Units</i> 1 [96–128]	90
Gambar 4.38 Hasil Pengujian <i>Units</i> 2 [32 – 64]	92
Gambar 4.39 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada <i>Units</i> 2 [32–64]	93
Gambar 4.40 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada <i>Units</i> 2 [32–64]	94
Gambar 4.41 Hasil Pengujian <i>Units</i> 2 [64 – 96]	95
Gambar 4.42 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada <i>Units</i> 2 [64–96]	96
Gambar 4.43 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada <i>Units</i> 2 [64–96]	97
Gambar 4.44 Hasil Pengujian <i>Units</i> 1 [96 – 128]	97
Gambar 4.45 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada <i>Units</i> 2 [96–128]	98
Gambar 4.46 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada <i>Units</i> 2 [96–128]	99
Gambar 4.47 Hasil Pengujian <i>Dropout</i> [0.05 – 0.15]	101
Gambar 4.48 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada <i>Dropout</i> [0.05 – 0.15]	102
Gambar 4.49 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada <i>Dropout</i> [0.05 – 0.15]	102
Gambar 4.50 Hasil Pengujian <i>Dropout</i> [0.10 – 0.35]	104
Gambar 4.51 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada <i>Dropout</i> [0.10 – 0.35]	104
Gambar 4.52 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada <i>Dropout</i> [0.10 – 0.35]	105

Gambar 4.53 Hasil Pengujian <i>dropout</i> [0.01 – 0.50]	106
Gambar 4.54 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada <i>dropout</i> [0.01 – 0.50].	107
Gambar 4.55 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada <i>dropout</i> [0.01 – 0.50].....	107
Gambar 4. 56 Hasil Pengujian 5 <i>n_moth</i>	110
Gambar 4.57 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada 5 <i>n_moth</i>	110
Gambar 4.58 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada 5 <i>n_moth</i>	111
Gambar 4.59 Hasil Pengujian 10 <i>n_moth</i>	112
Gambar 4.60 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada 10 <i>n_moth</i>	113
Gambar 4.61 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada 10 <i>n_moth</i>	113
Gambar 4.62 Hasil Pengujian 15 <i>n_moth</i>	115
Gambar 4.63 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada 15 <i>n_moth</i>	116
Gambar 4.64 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada 15 <i>n_moth</i>	117
Gambar 4.65 Hasil Pengujian 10 Iterasi.....	119
Gambar 4.66 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada 10 Iterasi	120
Gambar 4.67 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada 10 Iterasi	121
Gambar 4.68 Hasil Pengujian 15 Iterasi.....	122
Gambar 4.69 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada 15 Iterasi	123
Gambar 4.70 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada 15 Iterasi	123
Gambar 4.71 Hasil Pengujian 20 Iterasi.....	125
Gambar 4.72 Visualisasi Train vs Validation Loss Pada 20 Iterasi	125
Gambar 4.73 Visualisasi Aktual vs Prediksi Pada 20 Iterasi	126
Gambar 4.74 Hasil Evaluasi Model BiLSTM-Attention-MFO	128
Gambar 4.75 Visualisasi Train vs Validation Loss BiLSTM-Attention-MFO...	129
Gambar 4.76 Visualisasi Aktual vs Prediksi Model BiLSTM-Attention-MFO..	130
Gambar 4.77 Nilai Aktual vs Prediksi Model BiLSTM-Attention-MFO	130
Gambar 4.78 Hasil Evaluasi Model BiLSTM-Attention	131
Gambar 4.79 Visualisasi Train vs Validation Loss BiLSTM-Attention.....	132
Gambar 4.80 Visualisasi Aktual vs Prediksi BiLSTM-Attention	133
Gambar 4.81 Evaluasi Model BiLSTM	135
Gambar 4.82 Visualisasi Train vs Validation Loss Model BiLSTM.....	136
Gambar 4.83 Visualisasi Aktual vs Prediksi Model BiLSTM	137
Gambar 4.84 Visualisasi Perbandingan Aktual vs Prediksi	139

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi Literatur	6
Tabel 2.2 Kategori nilai MAPE.....	24
Tabel 3.1 Sampel data ISPU	27
Tabel 3.2 Sampel data Meteorologi	28
Tabel 3. 3 Sampel Data Gabungan.....	29
Tabel 3.4 Contoh Data Kosong.....	30
Tabel 3.5 Interpolasi data kosong	31
Tabel 3.6 Data PM10 Sebelum dan Sesudah Smoothing.....	32
Tabel 3.7 Data PM10 Sebelum dan Sesudah Normalisasi	33
Tabel 3.8 Jumlah Data Latih, Validasi dan Uji Berdasarkan Skenario.....	35
Tabel 3.9 Bobot, Hidden State, dan Bias untuk Perhitungan Model BiLSTM	37
Tabel 3.10 Hasil Penggabungan Dua Arah pada Lapisan BiLSTM	39
Tabel 3.11 Hasil Perhitungan Lapisan Dropout per Timestep	40
Tabel 3.12 Output Dropout	41
Tabel 3.13 Variabel Awal Attention Mechanism.....	41
Tabel 3.14 Context Vector Akhir.....	42
Tabel 3.15 Hasil Perhitungan Lapisan Dense per Timestep	43
Tabel 3.16 Skenario Pengujian.....	46
Tabel 3.17 Variabel Perhitungan MAE, RMSE, MAPE, R^2	47
Tabel 4.1 Pembagian Split Data.....	55
Tabel 4.2 Best Parameter Split Data 70:15:15	64
Tabel 4.3 Best Parameter Split Data 80:10:10	67
Tabel 4.4 Best Parameter Split Data 90:5:5	70
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Split Data	73
Tabel 4.6 Best Parameter Learning Rate [0.0001–0.001]	74
Tabel 4.7 Best Parameter Learning Rate [0.001–0.005]	76
Tabel 4.8 Best Parameter Learning Rate [0.005–0.01]	79
Tabel 4.9 Hasil Pengujian <i>Learning Rate</i>	82
Tabel 4.10 Best Parameter BiLSTM Units 1 [32–64].....	83
Tabel 4.11 Best Parameter BiLSTM Units 1 [64–96].....	85

Tabel 4.12 Best Parameter BiLSTM <i>Units</i> 1 [96–128].....	88
Tabel 4.13 Hasil Pengujian BiLSTM <i>Units</i> 1	91
Tabel 4.14 Best Parameter BiLSTM <i>Units</i> 2 [32–64].....	92
Tabel 4.15 Best Parameter BiLSTM <i>Units</i> 2 [64–96].....	95
Tabel 4.16 Best Parameter BiLSTM <i>Units</i> 2 [96–128].....	97
Tabel 4.17 Hasil Pengujian BiLSTM <i>Units</i> 2	100
Tabel 4.18 Best Parameter <i>Dropout</i> [0.05 – 0.15]	101
Tabel 4.19 Best Parameter <i>Dropout</i> [0.10 – 0.35]	103
Tabel 4.20 Best Parameter <i>Dropout</i> [0.01 – 0.50]	106
Tabel 4.21 Hasil Pengujian <i>Dropout</i>	108
Tabel 4.22 Best Parameter 5 <i>n_moth</i>	109
Tabel 4.23 Best Parameter 10 <i>n_moth</i>	112
Tabel 4.24 Best Parameter 15 <i>n_moth</i>	115
Tabel 4.25 Hasil Pengujian <i>n_moth</i>	118
Tabel 4.26 Best Parameter 10 Iterasi	119
Tabel 4.27 Best Parameter 15 Iterasi	122
Tabel 4.28 Best Parameter 20 Iterasi	124
Tabel 4.29 Hasil Pengujian Iterasi Maksimum	127
Tabel 4.30 Best Parameter Skenario Terbaik.....	128
Tabel 4.31 Hasil Evaluasi Model	138