

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	<b>iii</b>
<b>PRAKATA</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	<b>12</b>
3.1 Data Pre-Processing .....	12
3.2 Partial Autocorrelation Function .....	18
3.3 <i>Sliding Window</i> .....	19
3.4 <i>Ensemble Learning: Stacking</i> .....	19
3.5 SETAR-Tree .....	21
3.6 Gated Recurrent Unit (GRU) .....	24
3.7 <i>Meta Learner</i> .....	26

3.7.1	Multi Layer Perceptron (MLP).....	26
3.7.2	Decision Tree Regression (DTR) .....	28
3.7.3	Extreme Gradient Boosting (XGBoost) .....	30
3.8	<i>Seasonal Decompose</i> .....	31
3.9	<i>Time Series Cross Validation</i> .....	33
3.10	Evaluasi Performa Model.....	34
3.11	Uji Diebold-Mariano .....	35
3.12	Particulate Matter (PM).....	37
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>39</b>
4.1	Deskripsi Penelitian.....	39
4.2	Tahapan Penelitian .....	41
4.2.1	Pengumpulan data .....	41
4.2.2	Data pre-processing.....	42
4.2.3	<i>Deseasonalized</i> data dengan dekomposisi komponen.....	47
4.2.4	Pemodelan dengan SETAR-Tree.....	50
4.2.5	Pemodelan dengan GRU .....	52
4.2.6	Pemodelan <i>stacking</i> SETAR Tree dan GRU .....	54
4.2.7	Eksperimen.....	58
4.2.8	Pengujian dan evaluasi model .....	59
<b>BAB V IMPLEMENTASI SISTEM .....</b>		<b>65</b>
5.1	Pembagian Data.....	65
5.2	Imputasi Data .....	65
5.3	Pengecekan Partial Autocorrelation Function (PACF).....	67
5.4	Pemodelan GRU.....	67
5.4.1	Pra-pemrosesan data.....	67
5.4.2	Pelatihan model GRU.....	69

5.5	Pemodelan SETAR-Tree .....	70
	5.5.1 Pra-pemrosesan data.....	70
	5.5.2 Pelatihan model SETAR-Tree .....	71
5.6	Seasonal Decompose.....	72
5.7	Ekstraksi Pola <i>Seasonal</i> .....	72
5.8	Pemodelan <i>Stacking</i> dengan Multi Layer Perceptron (MLP) .....	73
5.9	Pemodelan <i>Stacking</i> dengan Extreme Gradient Boosting (XGBoost).....	74
5.10	Pelatihan <i>Stacking</i> dengan Decision Tree Regression (DTR).....	74
5.11	Evaluasi Model.....	75
	5.11.1 Evaluasi model berdasarkan <i>error</i> secara umum .....	75
	5.11.2 Evaluasi model dalam memprediksi perubahan mendadak.....	75
	5.11.3 Evaluasi model dalam memprediksi jangka panjang .....	76
<b>BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>82</b>
6.1	Eksplorasi Data .....	82
6.2	Dekomposisi Musiman.....	87
	6.2.1 Data Pelatihan .....	87
	6.2.2 Data Pengujian .....	92
6.3	Plot Partial Autocorrelation Function (PACF) .....	97
	6.3.1 Data Deret Waktu Tanpa Dekomposisi Musiman .....	98
	6.3.2 Tren.....	100
	6.3.3 Residual.....	102
6.4	<i>Hyperparameter</i> .....	104
6.5	Pemilihan <i>Hyperparameter</i> Skenario 1 (Tanpa Dekomposisi Komponen) .....	105
6.6	Pemilihan <i>Hyperparameter</i> Skenario 2 (Dekomposisi – <i>Stacking</i> Berbasis Komponen).....	107

6.7	Pemilihan <i>Hyperparameter</i> Skenario 3 (Dekomposisi – <i>Stacking</i> Berbasis Model) .....	109
6.8	Evaluasi Model Berdasarkan <i>Error</i> secara Umum.....	111
6.9	Evaluasi Model dalam Menangkap Perubahan Mendadak .....	127
6.10	Evaluasi Model dalam Menangkap Jangka Panjang .....	132
6.11	Perbandingan dengan Metode Lain.....	136
6.12	Pembahasan.....	137
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>141</b>
7.1	Kesimpulan.....	141
7.2	Saran.....	141
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>143</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>151</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Contoh Rekonstruksi Data BRITS .....	14
Gambar 3.2 Pendeteksian Pencilan .....	17
Gambar 3.3 Sliding Window .....	19
Gambar 3.4 Arsitektur <i>Stacking</i> .....	20
Gambar 3.5 Ilustrasi dari Model SETAR-Tree .....	22
Gambar 3.6 Struktur GRU <i>Cell</i> .....	25
Gambar 3.7 Arsitektur MLP.....	26
Gambar 3.8 <i>Regression Trees</i> .....	28
Gambar 3.9 <i>Time Series Cross Validation</i> .....	34
Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian.....	41
Gambar 4.2 Data Harian PM <sub>2.5</sub> (a) dan PM <sub>10</sub> (b) Tahun 2024 .....	42
Gambar 4.3 Diagram Alur Pemodelan SETAR-Tree .....	50
Gambar 4.4 Tahapan GRU .....	52
Gambar 4.5 Ilustrasi Arsitektur GRU.....	53
Gambar 4.6 Tahapan Pelatihan <i>Stacking</i> .....	54
Gambar 4.7 Proses Pelatihan <i>Meta-Learner</i> .....	55
Gambar 4.8 Alur Skenario 1.....	58
Gambar 4.9 Alur Skenario 2.....	59
Gambar 4.10 Alur Skenario 3.....	59
Gambar 4.11 Ilustrasi TSCV PM <sub>2.5</sub> .....	60
Gambar 4.12 Ilustrasi TSCV PM <sub>10</sub> .....	61
Gambar 5.1 Pembagian Data.....	65
Gambar 5.2 Persiapan Imputasi .....	65
Gambar 5.3 Proses Pelatihan Model BRITS.....	66
Gambar 5.4 Kode Program Partial Autocorrelation Function.....	67
Gambar 5.5 Kode Program Pra-Pemrosesan Data GRU.....	68
Gambar 5.6 Kode Program Pelatihan Model GRU.....	69
Gambar 5.7 Kode Program Pra-Pemrosesan Data SETAR Tree.....	71
Gambar 5.8 Kode Program Pelatihan Model SETAR-Tree .....	71

Gambar 5.9 Kode Program Seasonal Decompose .....	72
Gambar 5.10 Kode Program Ekstraksi Pola Seasonal .....	72
Gambar 5.11 Kode Program Pelatihan Model <i>Stacking</i> MLP .....	73
Gambar 5.12 Kode Program Pelatihan Model <i>Stacking</i> XGBoost .....	74
Gambar 5.13 Kode Program Pelatihan Model <i>Stacking</i> DTR .....	74
Gambar 5.14 Kode Program Evaluasi Model Secara Umum .....	75
Gambar 5.15 Kode Program Deteksi Perubahan Mendadak .....	76
Gambar 5.16 Kode Program Evaluasi Perubahan Mendadak .....	76
Gambar 5.17 Kode Program Prediksi Multistep untuk GRU .....	77
Gambar 5.18 Kode Program Prediksi SETAR-Tree .....	78
Gambar 5.19 Kode Program Prediksi Seasonal .....	78
Gambar 5.20 Kode Program Evaluasi Multistep Model Individu .....	79
Gambar 5.21 Bentuk Tabel Hasil Fungsi ‘_flatten_and_add_errors’ .....	79
Gambar 5.22 Bentuk Tabel Hasil Fungsi ‘_summarize_multihorizon_error’ .....	80
Gambar 5.23 Kode Program Prediksi dan Evaluasi Multistep Model <i>Ensemble</i> ..	81
Gambar 6.1 Visualisasi <i>Missingness</i> PM <sub>10</sub> .....	82
Gambar 6.2 Visualisasi <i>Missingness</i> PM <sub>2.5</sub> .....	83
Gambar 6.3 Plot Data PM <sub>10</sub> .....	84
Gambar 6.4 Plot Data PM <sub>2.5</sub> .....	86
Gambar 6.5 Plot <i>Seasonal Decomposition</i> PM <sub>10</sub> – Data Pelatihan .....	90
Gambar 6.6 Plot <i>Seasonal Decomposition</i> PM <sub>2.5</sub> – Data Pelatihan .....	92
Gambar 6.7 Plot <i>Seasonal Decomposition</i> PM <sub>10</sub> – Data Pengujian .....	95
Gambar 6.8 Plot <i>Seasonal Decomposition</i> PM <sub>2.5</sub> – Data Pengujian .....	97
Gambar 6.9 Plot PACF PM <sub>10</sub> .....	98
Gambar 6.10 Plot PACF PM <sub>2.5</sub> .....	99
Gambar 6.11 Plot PACF PM <sub>10</sub> – Komponen Tren .....	101
Gambar 6.12 Plot PACF PM <sub>2.5</sub> – Komponen Tren .....	102
Gambar 6.13 Plot PACF PM <sub>10</sub> – Komponen Residual .....	103
Gambar 6.14 Plot PACF PM <sub>2.5</sub> – Komponen Residual .....	104
Gambar 6.15 Aktual dan Prediksi PM <sub>10</sub> .....	113
Gambar 6.16 Aktual dan Prediksi PM <sub>2.5</sub> .....	114

Gambar 6.17 Evaluasi Performa Setiap Model PM <sub>10</sub> dalam Menangkap Perubahan Mendadak.....	129
Gambar 6.18 Evaluasi Performa Setiap Model PM <sub>2.5</sub> dalam Menangkap Perubahan Mendadak.....	131
Gambar 6.19 Evaluasi Multistep PM <sub>10</sub> .....	133
Gambar 6.20 Evaluasi Multistep PM <sub>2.5</sub> .....	135

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Garis besar penelitian yang telah dilakukan.....	9
Tabel 3.1 Kriteria Nilai MAPE .....	35
Tabel 4.1 Contoh Data Perhitungan BRITS .....	43
Tabel 4.2 Representasi Jeda Waktu BRITS.....	44
Tabel 4.3 Data Ilustrasi Proses Dekomposisi Musiman.....	48
Tabel 4.4 Perhitungan Komponen Musiman.....	49
Tabel 4.5 Ilustasi TSCV .....	60
Tabel 4.6 Contoh Data PM <sub>2.5</sub> Untuk Perhitungan Evaluasi.....	62
Tabel 4.7 Contoh Perhitungan Evaluasi 1 .....	62
Tabel 4.8 Contoh Hasil Perhitungan Evaluasi 1.....	63
Tabel 4.9 Contoh Perhitungan Evaluasi 2 .....	63
Tabel 4.10 Contoh Perhitungan Evaluasi 3 .....	64
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Evaluasi 3.....	64
Tabel 6.1 Statistika Deskriptif PM <sub>10</sub> .....	84
Tabel 6.2 Banyaknya Perubahan Mendadak Polutan PM <sub>10</sub> .....	85
Tabel 6.3 Statistika Deskriptif PM <sub>2.5</sub> .....	86
Tabel 6.4 Banyaknya Perubahan Mendadak Polutan PM <sub>2.5</sub> .....	87
Tabel 6.5 Tabel <i>Hyperparameter</i> .....	105
Tabel 6.6 Parameter Optimal PM <sub>10</sub> Skenario 1 .....	105
Tabel 6.7 Parameter Optimal PM <sub>2.5</sub> Skenario 1 .....	106
Tabel 6.8 Parameter Optimal PM <sub>10</sub> Skenario 2 – Model Individu.....	107
Tabel 6.9 Parameter Optimal PM <sub>2.5</sub> Skenario 2 – Model Individu .....	108
Tabel 6.10 Parameter Optimal PM <sub>10</sub> Skenario 2 – Model <i>Stacking</i> .....	108
Tabel 6.11 Parameter Optimal PM <sub>2.5</sub> Skenario 2 – Model <i>Stacking</i> .....	109
Tabel 6.12 Parameter Optimal PM <sub>10</sub> Skenario 3 – Model <i>Stacking</i> .....	110
Tabel 6.13 Parameter Optimal PM <sub>2.5</sub> Skenario 3 – Model <i>Stacking</i> .....	110
Tabel 6.14 Hasil Evaluasi Umum PM <sub>10</sub> .....	115
Tabel 6.15 Hasil Evaluasi Umum PM <sub>2.5</sub> .....	120
Tabel 6.16 Perbandingan dengan Metode Machine Learning (MAPE).....	136



Tabel 6.17 Analisis *Error*..... 138