UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Metode Hibrida ARIMAX-SVR dengan Optimasi Hiperparameter Berbasis Particle Swarm Optimization untuk
Peramalan Konsentrasi PM2.5**
Dara Oktavia Risti, Prof. Dr. Drs. Gunardi, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL . . . . . **i**
HALAMAN PENGESAHAN . . . . . **ii**
HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI . . . . . **iii**
HALAMAN PERSEMBAHAN . . . . . **iv**
HALAMAN MOTTO . . . . . **v**
PRAKATA . . . . . **vi**
DAFTAR ISI . . . . . **x**
DAFTAR TABEL . . . . . **xiii**
DAFTAR GAMBAR . . . . . **xiv**
INTISARI . . . . . **xv**
ABSTRACT . . . . . **xvi**
I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 5
1.3. Pembatasan Masalah 5
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian 7
1.5. Tinjauan Pustaka 7
1.6. Metodologi Penelitian 11
1.7. Sistematika Penulisan 12
II LANDASAN TEORI **14**
2.1. Matriks 14
2.1.1. Definisi Matriks 14
2.1.2. Operasi Matriks 14
2.2. Vektor 21
2.2.1. Panjang Vektor (Norma) 21
2.2.2. *Dot Product* 22
2.2.3. Jarak Euclidean 23
2.3. Runtun Waktu 24
2.3.1. Pola Data Runtun Waktu 25
2.3.2. Stasioneritas Data 26
2.3.3. Transformasi Box–Cox 27
2.3.4. Diferensiasi 28
2.3.5. Proses Stokastik 28

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Metode Hibrida ARIMAX-SVR dengan Optimasi Hiperparameter Berbasis Particle Swarm Optimization untuk Peramalan Konsentrasi PM2.5
Dara Oktavia Risti, Prof. Dr. Drs. Gunardi, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.3.6. Proses *Wide-Sense Stationary* dan *Strictly Stationary* 30
2.3.7. Proses *White Noise* 36
2.3.8. Fungsi Autokorelasi (ACF) 38
2.3.9. Fungsi Autokorelasi Parsial (PACF) 39
2.4. Model Runtun Waktu 42
2.4.1. Proses *Autoregressive* (AR) 42
2.4.2. *Integrated* (I) 43
2.4.3. Proses *Moving Average* (MA) 44
2.4.4. Model *Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variable* (ARIMAX) 45
2.5. Lagrange Multiplier 46
2.6. Uji Linearitas 50
2.7. Nilai Ekstrem Lokal 54
2.8. *Machine Learning* 55
2.8.1. *Supervised Learning* 56
2.8.2. *Unsupervised Learning* 56
2.8.3. *Reinforcement Learning* 57
2.8.4. Data *Splitting* 57
2.8.5. *Regression Evaluation Metrics* 58
2.8.6. *Underfitting* dan *Overfitting* 60
2.9. Kondisi Karush-Kuhn Tucker (KKT) 60
2.10. Pemrograman Kuadratik (*Quadratic Programming*) 61
2.11. Metode Kernel 62
2.11.1. Kernel Linear 62
2.11.2. Kernel Polinomial 63
2.11.3. Kernel *Radial Basis Function* (RBF) 64
2.12. Fungsi *Fitness Particle Swarm Optimization* 64
2.13. *Inertia Weight* 65
2.14. Pergerakan Partikel 66
2.15. Polusi Udara dan *Particulate Matter* 2.5 68
2.15.1. *Particulate Matter* 2.5 68
2.15.2. Variabel Meteorologis 69
III MODEL HIBRIDA ARIMAX-SVR-PSO DALAM PEMODELAN PM2.5 **71**
3.1. *Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variables* (ARIMAX) 71
3.2. *Support Vector Regression* 72

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Metode Hibrida ARIMAX-SVR dengan Optimasi Hiperparameter Berbasis Particle Swarm Optimization untuk Peramalan Konsentrasi PM2.5
Dara Oktavia Risti, Prof. Dr. Drs. Gunardi, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.3. *Particle Swarm Optimization* (PSO) 78
3.3.1. Parameter Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) . 80
3.3.2. Mekanisme Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) . 82
3.4. Optimasi *Hyperparameter* SVR menggunakan PSO 83
3.5. Model hibrida ARIMAX-SVR 86
3.6. Pemilihan Variabel Eksogen 88
3.7. Kerangka Pemodelan ARIMAX-SVR-PSO 89
IV STUDI KASUS 92
4.1. Alat Analisis 92
4.2. Deskripsi Data 92
4.3. Pemodelan Runtun Waktu dengan Metode ARIMAX 95
4.3.1. *Preprocessing data* 95
4.3.2. Alur Analisis 97
4.3.3. Diagnostik Residual ARIMAX 104
4.4. Pemodelan Runtun Waktu dengan Metode SVR 106
4.4.1. Transformasi Data 106
4.4.2. Pemodelan dan Evaluasi 107
4.5. Pemodelan Runtun Waktu dengan Metode Hibrida ARIMAX-SVR . 108
4.6. Pemodelan Runtun Waktu dengan Metode Hibrida ARIMAX-SVR berdasarkan PSO 111
4.6.1. Optimasi PSO pada Model Hibrida ARIMAX-SVR 111
4.6.2. Evaluasi Model 112
4.7. Perbandingan Performa Model 113
4.8. Hasil Prediksi *Out-Sample* Dengan Model Terbaik 115
V PENUTUP 117
5.1. Kesimpulan 117
5.2. Saran 118
DAFTAR PUSTAKA 120
A Data Konsentrasi PM2.5, T2M (suhu), RH2M (kelembapan), WS2M (kecepatan angin) 128
B Syntax Python 130