UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pendekatan Peramalan Multivariat pada Indeks Saham Berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), Multivariate Variational Mode Decomposition (MVMD), dan Particle Swarm Optimization (PSO)
Hafizh Abiyaniqbal Harahap, Prof. Dr. Techn. Ahmad Ashari, M.I.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL **ii**

HALAMAN PENGESAHAN **iii**

HALAMAN PERNYATAAN **iv**

PRAKATA **v**

DAFTAR ISI **vi**

DAFTAR TABEL **x**

DAFTAR GAMBAR **xi**

INTISARI **xiii**

ABSTRACT **xiv**

I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Penelitian 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5

II TINJAUAN PUSTAKA **6**

III LANDASAN TEORI **13**

3.1 *Recurrent Neural Network* 13
3.1.1 *Long Short-Term Memory* (LSTM) 13
3.2 *Variational Mode Decomposition* (VMD) 16
3.2.1 *Multivariate Variational Mode Decomposition* (MVMD) . . . 17
3.3 *Particle Swarm Optimization* (PSO) 21
3.4 Metrik Akurasi Peramalan 24
3.4.1 Koefisien determinasi (R^2) 25
3.4.2 *Mean Squared Error* (MSE) 25

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pendekatan Peramalan Multivariat pada Indeks Saham Berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), Multivariate Variational Mode Decomposition (MVMD), dan Particle Swarm Optimization (PSO)
Hafizh Abiyaniqbal Harahap, Prof. Dr. Techn. Ahmad Ashari, M.I.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.4.3 *Root Mean Squared Error* (RMSE) 25
3.4.4 *Mean Absolute Error* (MAE) 25
3.4.5 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) 26
3.4.6 *Directional Accuracy* (DA) 26

IV METODOLOGI PENELITIAN 27
4.1 Gambaran Umum dan Prosedur Penelitian 27
4.1.1 Studi literatur 27
4.1.2 Persiapan dataset 27
4.1.3 Implementasi model peramalan deret waktu berbasis LSTM . 27
4.1.4 Integrasi dekomposisi deret waktu berbasis MVMD pada model peramalan LSTM 29
4.1.5 *Hyperparameter tuning* model terintegrasi LSTM-MVMD menggunakan metode optimasi PSO 29
4.1.6 Replikasi pelatihan dan pengujian serta evaluasi metrik akurasi 29
4.1.7 Penulisan laporan tesis 29
4.2 Rancangan Pengolahan Dataset 30
4.2.1 Pemilihan indeks saham dan analisis karakteristik dataset . . . 30
4.2.2 Prapemrosesan dataset 31
4.3 Rancangan Implementasi Model Usulan LSTM-MVMD-PSO 32
4.3.1 *Hyperparameter tuning* dengan PSO 32
4.3.2 Dekomposisi sinyal menggunakan MVMD 34
4.3.3 Peramalan deret waktu dengan LSTM 35
4.3.4 Integrasi komponen pada model LSTM-MVMD-PSO dan alur pemrosesan data 35
4.4 Rancangan Evaluasi Akurasi Model 40

V IMPLEMENTASI 44
5.1 Implementasi Fungsi Prapemrosesan Dataset 44
5.2 Implementasi Fungsi Dekomposisi Deret Waktu dengan MVMD . . . 45
5.3 Implementasi Model Prediksi LSTM serta Integrasi dengan MVMD . 51
5.3.1 Implementasi *hypermodel* LSTM 51
5.3.2 Implementasi *hypermodel* LSTM-MVMD 51
5.3.3 Implementasi *hypermodel* ARIMA 54
5.4 Implementasi Fungsi Evaluasi Model Prediksi 54
5.5 Implementasi Modul *Hyperparameter Tuner* Berbasis PSO 57

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pendekatan Peramalan Multivariat pada Indeks Saham Berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), Multivariate Variational Mode Decomposition (MVMD), dan Particle Swarm Optimization (PSO)
Hafizh Abiyaniqbal Harahap, Prof. Dr. Techn. Ahmad Ashari, M.I.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.5.1 Implementasi *hyperparameter tuner* PSO dengan KerasTuner 57
5.5.2 Eksekusi *hyperparameter tuner* PSO dengan Pemrosesan Paralel . . . 62
5.6 Pelatihan, Pengujian, dan Evaluasi Model . . . 62
5.6.1 Eksekusi pelatihan, pengujian, dan evaluasi model . . . 62
5.6.2 Replikasi eksperimen pelatihan model dan evaluasi statistik . 66

VI HASIL DAN PEMBAHASAN 72
6.1 Hasil Pengolahan dan Analisis Karakteristik Dataset . . . 72
6.2 Hasil *Hyperparameter Tuning* PSO pada Model LSTM-MVMD-PSO dan LSTM-PSO . . . 74
6.3 Hasil Dekomposisi MVMD pada Model Usulan LSTM-MVMD-PSO dan LSTM-MVMD . . . 78
6.4 Hasil Pelatihan, Pengujian, dan Evaluasi Model pada Satu Sampel Eksperimen . . . 81
6.5 Hasil Distribusi Metrik Model pada Replikasi Pelatihan . . . 87
6.5.1 Hasil distribusi metrik R^2 . . . 88
6.5.2 Hasil distribusi metrik MSE . . . 91
6.5.3 Hasil distribusi metrik RMSE . . . 92
6.5.4 Hasil distribusi metrik MAE . . . 95
6.5.5 Hasil distribusi metrik MAPE . . . 97
6.5.6 Hasil distribusi metrik DA . . . 98
6.6 Analisis Komparatif dan Studi Ablasi Model . . . 100
6.6.1 Analisis komparatif kinerja model usulan terhadap model-model basis . . . 101
6.6.2 Studi ablasi pengaruh dekomposisi dan optimasi *hyperparameter* terhadap kinerja model . . . 102
6.6.3 Pengujian hipotesis . . . 104
6.7 Perbandingan dengan Model pada Berbagai Penelitian Sebelumnya . . 105

VII PENUTUP 107
7.1 Kesimpulan . . . 107
7.2 Saran . . . 108

DAFTAR PUSTAKA 109

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pendekatan Peramalan Multivariat pada Indeks Saham Berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), Multivariate Variational Mode Decomposition (MVMD), dan Particle Swarm Optimization (PSO)
Hafizh Abiyaniqbal Harahap, Prof. Dr. Techn. Ahmad Ashari, M.I.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

LAMPIRAN **112**

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pendekatan Peramalan Multivariat pada Indeks Saham Berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), Multivariate Variational Mode Decomposition (MVMD), dan Particle Swarm Optimization (PSO)
Hafizh Abiyaniqbal Harahap, Prof. Dr. Techn. Ahmad Ashari, M.I.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

2.1 Tabel Perbandingan Literatur Peramalan Saham 9

4.1 Konfigurasi *hyperparameter* pada model LSTM-MVMD-PSO 39
4.2 Konfigurasi *hyperparameter* dasar pada komponen dari model basis . 42

6.1 Statistik deskriptif dataset 73
6.2 Hasil uji karakteristik dataset 74
6.3 *Hyperparameter* optimal hasil *tuning* model dengan PSO 77
6.4 Hasil metrik evaluasi eksperimen pada satu sampel replikasi dengan inisialisasi $seed = 0$ 87
6.5 Distribusi metrik R^2 pada pelatihan berulang setiap model pada setiap dataset 90
6.6 Distribusi metrik MSE pada pelatihan berulang setiap model pada setiap dataset 92
6.7 Distribusi metrik RMSE pada pelatihan berulang setiap model pada setiap dataset 94
6.8 Distribusi metrik MAE pada pelatihan berulang setiap model pada setiap dataset 96
6.9 Distribusi metrik MAPE pada pelatihan berulang setiap model pada setiap dataset 97
6.9 Distribusi metrik MAPE pada pelatihan berulang setiap model pada setiap dataset (Lanjutan) 98
6.10 Distribusi metrik DA pada pelatihan berulang setiap model pada setiap dataset 99
6.10 Distribusi metrik DA pada pelatihan berulang setiap model pada setiap dataset (Lanjutan) 100
6.11 Hasil *p-value* terkoreksi dari uji berpasangan model usulan terhadap model basis menggunakan uji Wilcoxon *signed-rank* dengan koreksi Holm-Bonferroni 104
6.12 Perbandingan model usulan terhadap model penelitian sebelumnya pada dataset S&P 500 106
6.13 Perbandingan model usulan terhadap model penelitian sebelumnya pada dataset N225 106

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pendekatan Peramalan Multivariat pada Indeks Saham Berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), Multivariate Variational Mode Decomposition (MVMD), dan Particle Swarm Optimization (PSO)
Hafizh Abiyaniqbal Harahap, Prof. Dr. Techn. Ahmad Ashari, M.I.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

3.1 Diagram alir algoritma PSO (Vasuki, 2020) 24

4.1 Diagram alir tahapan penelitian secara umum 28
4.2 Diagram alir proses optimasi *hyperparameter* model LSTM-MVMD menggunakan PSO 33
4.3 Diagram alir subproses dekomposisi dan prediksi dengan model LSTM-MVMD 41

5.1 *Source code* fungsi akuisisi dataset indeks saham dengan *yfinance* . . 45
5.2 *Source code* fungsi prapemrosesan dataset 46
5.3 *Source code* fungsi dekomposisi dataset berbasis MVMD 47
5.4 *Source code* metode MVMD - Inisialisasi (Rehman dan Aftab, 2019) . 48
5.5 *Source code* metode MVMD - Pembaruan iteratif (Rehman dan Aftab, 2019) 49
5.6 *Source code* metode MVMD - Pascapemrosesan (Rehman dan Aftab, 2019) 50
5.7 *Source code hypermodel* LSTM berbasis Keras dan KerasTuner 52
5.8 *Source code hypermodel* LSTM-MVMD berbasis Keras dan KerasTuner 53
5.9 *Source code hypermodel* ARIMA 55
5.10 *Source code* fungsi evaluasi model 56
5.11 *Source code constructor* pada *class PsoParallelTuner* 58
5.12 *Source code constructor* pada *class PsoOracle* 59
5.13 *Source code method* inisialisasi *swarm* PSO 60
5.14 *Source code method* pembaruan *swarm* PSO 61
5.15 *Source code method* antarmuka manajemen *trial tuner* 63
5.16 *Source code entry-point hyperparameter tuner* dengan pemrosesan paralel 64
5.17 *Source code* fungsi *worker* pada pemrosesan paralel 65
5.18 *Source code* fungsi pelatihan dan evaluasi model ARIMA 66
5.19 *Source code* fungsi pelatihan dan evaluasi model LSTM 67
5.20 *Source code* fungsi pelatihan dan evaluasi model LSTM-MVMD . . . 68
5.21 *Source code* fungsi pelatihan dan evaluasi model LSTM-PSO dan LSTM-MVMD-PSO 69

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pendekatan Peramalan Multivariat pada Indeks Saham Berbasis Long Short-Term Memory (LSTM), Multivariate Variational Mode Decomposition (MVMD), dan Particle Swarm Optimization (PSO)
Hafizh Abiyaniqbal Harahap, Prof. Dr. Techn. Ahmad Ashari, M.I.Kom.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

5.22 *Source code entry-point* replikasi pelatihan model dengan pemrosesan paralel 70
5.23 *Source code* fungsi *worker* untuk replikasi pelatihan model 71

6.1 Dataset indeks saham S&P 500, N225, dan IHSG beserta pembagian 85:15 75
6.2 Grafik konvergensi PSO pada model LSTM-PSO dan LSTM-MVMD-PSO 76
6.3 Hasil dekomposisi model LSTM-MVMD pada dataset S&P 500 . . . 79
6.4 Hasil dekomposisi model LSTM-MVMD-PSO pada dataset S&P 500 80
6.5 Hasil dekomposisi model LSTM-MVMD pada dataset N225 81
6.6 Hasil dekomposisi model LSTM-MVMD-PSO pada dataset N225 . . 82
6.7 Hasil dekomposisi model LSTM-MVMD pada dataset IHSG 83
6.8 Hasil dekomposisi model LSTM-MVMD-PSO pada dataset IHSG . . 84
6.9 Grafik perubahan *loss* pada proses latih dan uji model-model berbasis LSTM 85
6.10 Perbandingan grafik nilai aktual harga *Close* pada tiga dataset indeks terhadap nilai terprediksi hasil peramalan oleh model usulan LSTM-MVMD-PSO terhadap model-model acuan 86
6.11 Perbandingan distribusi metrik evaluasi setiap model pada tiga dataset dengan box & violin plot 89
6.12 Diagram perbandingan median dan mean metrik R^2 setiap model pada tiga dataset 90
6.13 Diagram perbandingan median dan mean metrik MSE setiap model pada tiga dataset 93
6.14 Diagram perbandingan median dan mean metrik RMSE setiap model pada tiga dataset 94
6.15 Diagram perbandingan median dan mean metrik MAE setiap model pada tiga dataset 96
6.16 Diagram perbandingan median dan mean metrik MAPE setiap model pada tiga dataset 98
6.17 Diagram perbandingan median dan mean metrik DA setiap model pada tiga dataset 100