

DAFTAR ISI

Halaman Persetujuan Tim Promotor	iii
Halaman Persetujuan Tim Penguji	iv
Pernyataan Promovendus	v
PRAKATA	vi
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	10
1.3 Tujuan Penelitian	11
1.4 Batasan Masalah	11
1.5 Manfaat Penelitian	12
1.6 Keaslian Penelitian	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	28
2.1 Tinjauan Pustaka	28
2.1.1 Arsitektur model untuk prediksi saham	30
2.1.2 <i>Preprocessing</i> dan Penapisan Sinyal	40
2.1.3 Seleksi Fitur pada Prediksi Saham	44
2.1.4 Optimasi Hiperparameter	48
2.1.5 Ringkasan <i>state-of-the-art</i> dan <i>gap</i>	54
2.2 Dasar Teori	56
2.2.1 Saham	56
2.2.2 Konsep Dasar Runtun Waktu Finansial: Stasioneritas dan Musiman	59
2.2.3 Transformasi Sinyal untuk <i>Time Series</i>	61
2.2.4 Seleksi Fitur pada <i>Machine Learning</i> dan <i>Deep Learning</i>	67
2.2.5 Optimasi Hiperparameter Model	69
2.2.6 Arsitektur <i>Deep Learning</i> untuk <i>Time Series</i>	73
2.2.7 Evaluasi Model	83
2.2.8 Konvensi Optimasi dan Parameter Pelatihan	86
2.3 Pertanyaan Penelitian	87

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	88
3.1 Alat dan Bahan Penelitian.....	88
3.1.1 Perangkat-keras	88
3.1.2 Perangkat-lunak.....	88
3.1.3 Bahan Penelitian	89
3.2 Dataset Penelitian	89
3.2.1 Sumber dan Rentang Waktu	89
3.2.2 <i>Preprocessing</i> Awal	91
3.2.3 Penapisan dengan AWT dan Fitur DWT	91
3.2.4 Ekstraksi dan Pemilihan Fitur (mRMR)	95
3.2.5 Definisi dan Perhitungan Metrik Evaluasi	98
3.3 Langkah penelitian	99
3.3.1 Studi Literatur	100
3.3.2 Pengumpulan <i>Dataset</i>	101
3.3.3 Pembersihan data.....	101
3.3.4 Pengujian Model <i>Deep Learning</i> Tunggal.....	102
3.3.5 Pengujian Model <i>Deep Learning</i> Hibrid	114
3.3.6 <i>Pipeline Deep Learning</i> Hibrid Lengkap.....	116
3.3.7 Pengujian <i>Ablation Study</i>	126
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	130
4.1 Pendahuluan	130
4.2 Evaluasi Model <i>Deep Learning</i> Tunggal	130
4.2.1 Kondisi Pengujian	130
4.2.2 Kinerja Deskriptif.....	131
4.2.3 Uji Normalitas dan Homogenitas	138
4.2.4 Uji Friedman	139
4.2.5 Uji <i>Post-hoc</i> Nemenyi.....	140
4.2.6 Interpretasi Hasil Inferensial	144
4.2.7 Pembahasan Karakteristik Model Tunggal.....	145
4.2.8 Implikasi untuk Pengembangan Model Hibrid.....	147
4.3 Evaluasi Model <i>Deep Learning</i> Hibrid	147
4.3.1 Analisis Kinerja Model Hibrid	148
4.3.2 Uji Normalitas dan Homogenitas	153
4.3.3 Uji Friedman	155
4.3.4 Uji <i>Post-hoc</i> Nemenyi.....	156
4.3.5 Uji Wilcoxon <i>Signed-Rank</i> antara TCN-GRU dan TCN-LSTM	160

4.4 Model TCN-GRU dan TCN-LSTM dengan mRMR, AWT, dan BO.....	162
4.4.1 Seleksi Fitur (mRMR)	162
4.4.2 Penapisan Sinyal (<i>Adaptive Wavelet Thresholding</i>)	162
4.4.3 Optimasi Hiperparameter dengan <i>Bayesian Optimization</i>	162
4.4.4 Evaluasi Hasil <i>Pipeline</i>	164
4.4.5 Analisis Kompleksitas Komputasi	174
4.5 Ablation Study	176
4.5.1. Analisis Deskriptif Keseluruhan	176
4.5.2 Analisis Perbandingan Detail per Komponen	179
4.5.3 Uji Signifikansi Statistik	181
4.5.4 Analisis Kontribusi Relatif	184
4.5.5 Diskusi Teoritis dan Empiris	185
4.5.6 Kontribusi Metodologis	186
4.5.7 Keterbatasan dan Pertimbangan Implementasi	187
4.5.8 Hasil <i>Ablation Study</i>	189
4.6 Perbandingan dengan Model Lain	191
4.7 Ringkasan Hasil dan Evaluasi Metodologi	194
4.8 Ringkasan Hasil dan Jawaban atas Pertanyaan Penelitian (RQ)	196
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	199
5.1 Kesimpulan	199
5.2 Saran	200

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Fishbone Penelitian Prediksi Saham.....	20
Gambar 2.1 Struktur LSTM [106].....	75
Gambar 2.2 Struktur BiLSTM [172].....	77
Gambar 2.3 Arsitektur RNN [233].....	77
Gambar 2.4 Arsitektur GRU [153].....	78
Gambar 2.5 Skema Walk-Forward Cross-Validation.....	85
Gambar 3.1 Grafik saham BBRI (a) close, (b) hasil penapisan, (c) perbandingan sinyal dengan hasil penapisan AWT	94
Gambar 3.2 Alur Penelitian.....	100
Gambar 3.3 Data IHSG periode 4 – 21 Januari 2000.....	102
Gambar 3.4 Skema Walk-Forward Cross-Validation yang Digunakan	105
Gambar 3.5 Arsitektur Model TCN.....	108
Gambar 3.6 Arsitektur Model LSTM.....	109
Gambar 3.7 Arsitektur Model BiLSTM	110
Gambar 3.8 Arsitektur Model GRU	111
Gambar 3.9 Arsitektur Model Simple RNN.....	112
Gambar 3.10 Arsitektur Model CNN-1D.....	112
Gambar 3.11 Arsitektur Model Transformer.....	114
Gambar 3.12 Training, Validasi, dan Evaluasi Prediksi Saham dengan Model Deep Learning Hibrid Pipeline Lengkap	118
Gambar 3.13 Contoh Arsitektur TCN-GRU Hasil Bayesian Optimization	119
Gambar 3.14 Contoh Arsitektur TCN-LSTM Hasil Bayesian Optimization	119
Gambar 4.1 Distribusi hasil 5-fold walk-forward cross-validation untuk (a) Mean Squared Error (MSE, log-scale), (b) Root Mean Squared Error (RMSE), dan (c) koefisien determinasi (R^2) pada tujuh arsitektur deep learning tunggal.....	136
Gambar 4.2 Loss Plots Pelatihan Model TCN pada Saham BBNI	137
Gambar 4.3 Hasil Prediksi Saham BBNI menggunakan Model TCN.....	137
Gambar 4.4 Diagram Critical Difference untuk MSE, RMSE, dan R^2	143
Gambar 4.5 Distribusi hasil 5-fold walk-forward cross-validation untuk (a) Mean Squared Error (MSE, log-scale), (b) Root Mean Squared Error (RMSE), dan (c) koefisien determinasi (R^2) pada tujuh model hibrid TCN-{TCN, GRU, LSTM, BiLSTM, RNN, 1D-CNN, Transformer}	151
Gambar 4.6 Loss Plots Pelatihan Model TCN-GRU pada Saham TLKM.....	152
Gambar 4.7 Hasil Prediksi Saham TLKM menggunakan Model Hibrid TCN-GRU.....	153
Gambar 4.8 Diagram Critical Difference untuk model hibrid pada metrik (a) MSE, (b) RMSE, dan (c) R^2	160
Gambar 4.9 Distribusi hasil 5-fold walk-forward cross-validation untuk (a) MSE, (b) RMSE, (c) koefisien determinasi (R^2), (d) MAE_Rp, dan (e) MAE_norm pada pipeline lengkap TCN-GRU-mRMR-AWT-BO versus TCN-LSTM-mRMR-AWT-BO.....	168
Gambar 4.10 Loss Plots Pelatihan Model TCN-GRU pada Saham ASII	169
Gambar 4.11 Hasil Prediksi Saham ASII menggunakan Model Hibrid TCN-GRU	170
Gambar 4.12 Loss Plots Pelatihan Model TCN-LSTM pada Saham ASII	171
Gambar 4.13 Hasil Prediksi Saham ASII menggunakan Model Hibrid TCN-LSTM.....	172
Gambar 4.14 Heatmap Kinerja Semua Varian Ablation	190

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Indikator teknikal yang digunakan.....	44
Tabel 2.2 Perbandingan dengan penelitian terkini prediksi saham menggunakan deep learning	51
Tabel 2.3 Indikator Teknikal	61
Tabel 2.4 Rangkuman justifikasi pemilihan arsitektur single deep learning.....	82
Tabel 2.5 Ringkasan Parameter Inti Pelatihan	86
Tabel 3.1 Perangkat-keras yang digunakan dalam penelitian	88
Tabel 3.2 Perangkat-lunak yang digunakan dalam penelitian.....	88
Tabel 3.3 Library yang digunakan	88
Tabel 3.4 Bahan penelitian.....	89
Tabel 3.5 Saham yang digunakan.....	90
Tabel 3.6 Komponen Wavelet dan Fungsinya	94
Tabel 3.7 Daftar Indikator Teknikal dan Fitur Wavelet	96
Tabel 3.8 Pertimbangan penggunaan tiap model deep learning.....	103
Tabel 3.9 Justifikasi metode yang digunakan	121
Tabel 3.10 Ruang pencarian hiperparameter dan justifikasi.....	123
Tabel 3.11 Parameter Bayesian Optimization	124
Tabel 4.1 Pemilihan Hiperparameter untuk model deep learning tunggal	131
Tabel 4.2 Rata-rata Kinerja Model Deep Learning Tunggal.....	132
Tabel 4.3 Statistik Deskriptif MSE	132
Tabel 4.4 Statistik Deskriptif RMSE.....	133
Tabel 4.5 Statistik Deskriptif R^2	133
Tabel 4.6 Hasil Uji Shapiro-Wilk per Model	138
Tabel 4.7 Hasil Uji Levene	139
Tabel 4.8 Hasil Uji Friedman	140
Tabel 4.9 Matriks Perbandingan Post-hoc Nemenyi untuk MSE.....	141
Tabel 4.10 Matriks Perbandingan Post-hoc Nemenyi untuk RMSE.....	141
Tabel 4.11 Matriks Perbandingan Post-hoc Nemenyi untuk R^2	141
Tabel 4.12 Rata-rata peringkat tujuh arsitektur model deep learning berdasarkan hasil 5-fold walk-forward cross-validation untuk metrik MSE, RMSE, dan R^2	142
Tabel 4.13 Statistik Deskriptif MSE Model Hibrid.....	148
Tabel 4.14 Statistik Deskriptif RMSE Model Hibrid.....	148
Tabel 4.15 Statistik Deskriptif R^2 Model Hibrid.....	148
Tabel 4.16 Hasil Uji Shapiro-Wilk untuk Model Hibrid.....	154
Tabel 4.17 Hasil Uji Levene Model Hibrid.....	155
Tabel 4.18 Hasil Uji Friedman Model Hibrid	155
Tabel 4.19 Matriks Perbandingan Post-hoc Nemenyi Model Hibrid (MSE)	156
Tabel 4.20 Matriks Perbandingan Post-hoc Nemenyi Model Hibrid (RMSE).....	157
Tabel 4.21 Matriks Perbandingan Post-hoc Nemenyi Model Hibrid (R^2)	157
Tabel 4.22 Rata-rata Peringkat Model Hibrid	158
Tabel 4.23 Hasil Uji Wilcoxon Signed-Rank (TCN-GRU vs TCN-LSTM).....	161
Tabel 4.24 Hasil Optimasi dengan Bayesian Optimization untuk Model TCN-GRU	163
Tabel 4.25 Hasil Optimasi dengan Bayesian Optimization untuk Model TCN-LSTM	163
Tabel 4.26 Statistik Deskriptif MSE Pipeline Lengkap	166

Tabel 4.27 Statistik Deskriptif RMSE Pipeline Lengkap.....	166
Tabel 4.28 Statistik Deskriptif R^2 Pipeline Lengkap.....	166
Tabel 4.29 Statistik Deskriptif MAE_norm Pipeline Lengkap	166
Tabel 4.30 Statistik Deskriptif MAE_Rp Pipeline Lengkap	166
Tabel 4.31 Hasil Uji Shapiro-Wilk pada Selisih Skor.....	172
Tabel 4.32 Hasil Uji Wilcoxon Signed-Rank Pipeline Lengkap.....	173
Tabel 4.33 Statistik Deskriptif Kinerja Semua Varian Pipeline (MSE).....	177
Tabel 4.34 Statistik Deskriptif Kinerja Semua Varian Pipeline (RMSE)	177
Tabel 4.35 Statistik Deskriptif Kinerja Semua Varian Pipeline (R^2)	177
Tabel 4.36 Model terbaik per emiten berdasarkan median MSE 5-fold	179
Tabel 4.37 Dampak Penghilangan mRMR terhadap Kinerja.....	179
Tabel 4.38 Dampak Penghilangan AWT terhadap Kinerja.....	180
Tabel 4.39 Dampak Penghilangan Bayesian Optimization terhadap Kinerja	180
Tabel 4.40 Ringkasan Bootstrap 1000× Kestabilan Keunggulan.....	181
Tabel 4.41 Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk Selisih Metrik Varian Penuh dengan Varian Ablation	182
Tabel 4.42 Hasil Uji Wilcoxon Signed-Rank Test.....	183
Tabel 4.43 Perbandingan dengan Model Lain.....	191

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
A/D	Accumulation/Distribution
ACLB	Acceleration Bands
ANN	Artificial Neural Network
ARIMA	Autoregressive Integrated Moving Average
AROSC	Aroon Oscillator
ATR	Average True Range
AUC	Area Under the Curve
AWT	Adaptive Wavelet Thresholding
BB	Bollinger Band
BEI	Bursa Efek Indonesia
BIAS	Deviation Rate
BiLSTM	Bidirectional Long Short-Term Memory
BO	Bayesian Optimization
CCI	Commodity Channel Index
CEEMD	Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition
CEEMDAN	Complete Ensemble Empirical Mode Decomposition with Adaptive Noise
CMF	Chaikin Money Flow
CMO	Chande Momentum Oscillator
CNN	Convolutional Neural Network
CSI 100	China Securities Index 100
CV	Cross Validation
DCT	Discrete Cosine Transform
DFSS	Dynamic Feature Selection System
DJIA	The Dow Jones Industrial Average
DL	Deep Learning
DNN	Deep Neural Network
DTNN	Differential Transformer Neural Network
DWT	Discrete Wavelet Transform
DX	Directional Movement Index
EI	Expected Improvement
ELM	Extreme Learning Machine
EMA	Exponential Moving Average
EMV	Ease of Movement
FI	Force Index
FPA	Flower Pollination Algorithm
FSA	Feature Selection with Annealing
GAN	Generative Adversarial Network
GPU	Graphics Processing Unit
GRU	Gated Recurrent Unit
HMA	Hull Moving Average
HPO	Hyperparameter Optimization



HSI	Hang Seng Index
HSTPF	Hybrid Stock Trends Prediction Framework
IDX	Indonesia Stock Exchange
IHSG	Indeks Harga Saham Gabungan
IMI	Intraday Momentum Index
KAMA	Kaufman's Adaptive Moving Average
KDJ	KDJ line
KSEI	PT Kustodian Sentral Efek Indonesia
LOB	Limit Order Book
LSTM	Long Short-Term Memory
MA	Moving Average
MACD	Moving Average Convergence/Divergence
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MFI	Money Flow Index
MI	Mass Index
MLP	Multilayer Perceptron
MOM	Momentum Indicator
mRMR	Minimum Redundancy Maximum Relevance
MSE	Mean Squared Error
OBV	On Balance Volume
OHLCV	Open High Low Close Volume
OSC	Oscillator
PCA	Principal Component Analysis
PI	Probability of Improvement
PSAR	Parabolic SAR
PSO	Particle Swarm Optimization
RBFNN	Radial Basis Function Neural Network
RFE	Recursive Feature Elimination
RMSE	Root Mean Squared Error
RNN	Recurrent Neural Network
ROC	Price Rate Of Change
RSI	Relative Strength Index
RSV	Reserve
S&P 500	The Standard and Poor's 500
SHAP	SHapley Additive exPlanations
SID	Single Investor Identification
SMA	Simple Moving Average
SSA	Singular Spectrum Analysis
STCD%	Stochastic oscillator %D
STCK%	Stochastic oscillator %K
SVM	Support vector machines
SVR	Support Vector Regression
TCN	Temporal Convolutional Network
TEMA	Triple Exponential Moving Average



UNIVERSITAS
GADJAH MADA

**Prediksi Saham Blue-chip pada Bursa Efek Indonesia Menggunakan Deep Learning Hibrid,
penapisan
Adaptive Wavelet Thresholding dan Pemilihan Input Minimum Redundancy Maximum Relevance**
Bernadectus Yudi Dwiandiyanta, Dr. Ir. Rudy Hartanto, M.T., IPM.; Prof. Dr. Ir. Ridi Ferdiana, S.T., M.T., IPM.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

TLBO	Teaching and Learning Based Optimization
TMFG	Triangulated Maximally Filtered Graph
TPU	Tensor Processing Unit
TR	True Range
UCB	Upper Confidence Bound
ULTOSC	Ultimate Oscillator
VMAP	Volume-Weighted Average Price
VMD	Variational Mode Decomposition
WFCV	Walk-Forward Cross-Validation
WILLR%	Williams %R
WMA	Weighted Moving Average