UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Evaluasi Model Hybrid Autoregressive Integrated Moving Average-Cumulative Sum-Long Short-Term Memory (Hybrid ARIMA-CUSUM-LSTM) untuk Peramalan Harga Emas Global
Reinhard Halomoan Pane, Dr. Irwan Endrayanto Aluicius, S.Si., M.Sc.
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**
PRAKATA . . . . . **v**
DAFTAR ISI . . . . . **vii**
DAFTAR TABEL . . . . . **xi**
DAFTAR GAMBAR . . . . . **xiii**
INTISARI . . . . . **xiv**
ABSTRACT . . . . . **xv**
I PENDAHULUAN **1**
1.1. Latar Belakang Masalah 1
1.2. Rumusan Masalah 5
1.3. Pembatasan Masalah 5
1.4. Tujuan Penelitian dan Manfaat Penelitian 8
1.5. Tinjauan Pustaka 10
1.6. Metodologi Penelitian 12
1.7. Sistematika Penulisan 15
II LANDASAN TEORI **16**
2.1. Variabel Random dan Distribusi Probabilitas 16
2.1.1. Definisi Variabel Random 16
2.1.2. Variabel Random Diskrit 17
2.1.3. Variabel Random Kontinu 18
2.2. Peramalan 20
2.2.1. Definisi Peramalan 20
2.2.2. Tujuan Peramalan 21
2.3. Deret Waktu 21
2.3.1. Definisi Deret Waktu 21
2.3.2. Proses Stokastik 22
2.3.3. Pola dan Komponen Deret Waktu 24
2.3.4. Klasifikasi Deret Waktu 27
2.4. Stasioneritas 28
2.4.1. Stasioneritas Mean 29

UNIVERSITAS GADJAH MADA
Evaluasi Model Hybrid Autoregressive Integrated Moving Average-Cumulative Sum-Long Short-Term Memory (Hybrid ARIMA-CUSUM-LSTM) untuk Peramalan Harga Emas Global
Reinhard Halomoan Pane, Dr. Irwan Endrayanto Aluicius, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.4.2. Stasioneritas Variansi 30
2.4.3. Uji Akar Unit (*Unit Root Test*) 31
2.5. Transformasi Data 35
2.5.1. Transformasi Logaritma 35
2.5.2. Transformasi Box-Cox 35
2.6. Differencing 36
2.6.1. *Differencing* Orde Pertama 36
2.6.2. *Differencing* Orde ke-d 37
2.7. *Autocorrelation Function* (ACF) 38
2.7.1. Autokovarians dan Autokorelasi 38
2.7.2. Estimasi ACF dari Data Sampel 39
2.7.3. Interpretasi ACF dalam Identifikasi Model 40
2.8. *Partial Autocorrelation Function* (PACF) 41
2.8.1. Definisi Autokorelasi Parsial 41
2.8.2. Persamaan Yule-Walker 42
2.8.3. Estimasi PACF dari Data Sampel 42
2.8.4. Interpretasi PACF dalam Identifikasi Model 43
2.9. *White Noise* 44
2.10. Model *Autoregressive* 45
2.11. Model *Moving Average* 48
2.12. Uji Asumsi Residual 51
2.12.1. Uji Autokorelasi Residual 52
2.12.2. Uji Normalitas Residual 53
2.12.3. Uji Homoskedastisitas 54
2.13. Kriteria Pemilihan Model 55
2.13.1. *Akaike Information Criterion* (AIC) 56
2.13.2. *Bayesian Information Criterion* (BIC) 56
2.14. *Cumulative Sum* (CUSUM) 57
2.14.1. Konsep Dasar CUSUM 58
2.14.2. CUSUM Dua Sisi (*Two-Sided Page's CUSUM*) 58
2.14.3. Nilai Referensi k dan Batas Keputusan h 59
2.14.4. *Average Run Length* (ARL) 60
2.14.5. Ilustrasi Perhitungan CUSUM Dua Sisi 61
2.14.6. CUSUM untuk Deteksi Titik Perubahan 62
2.15. *Machine Learning* 62
2.16. *Deep Learning* 64

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Evaluasi Model Hybrid Autoregressive Integrated Moving Average-Cumulative Sum-Long Short-Term Memory (Hybrid ARIMA-CUSUM-LSTM) untuk Peramalan Harga Emas Global
Reinhard Halomoan Pane, Dr. Irwan Endrayanto Aluicius, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.17. *Artificial Neural Network* (ANN) 65
2.18. *Recurrent Neural Network* (RNN) 69
2.19. *Feature Scaling* 71
2.20. *Windowing Data* 73
2.21. Metrik Evaluasi Peramalan 74
2.21.1. *Root Mean Square Error* (RMSE) 75
2.21.2. *Mean Absolute Error* (MAE) 75
2.21.3. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) 76
2.22. Harga Emas Global 76
III HYBRID AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE-CUMULATIVE SUM-LONG SHORT-TERM MEMORY (HYBRID ARIMA-CUSUM-LSTM) 78
3.1. *Long Short-Term Memory* (LSTM) 78
3.1.1. Arsitektur Sel LSTM 79
3.1.2. Aliran Gradien pada LSTM 83
3.2. *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) 84
3.2.1. Definisi ARIMA 84
3.2.2. Identifikasi Orde Model ARIMA 86
3.2.3. Estimasi Parameter Model ARIMA 88
3.2.4. Uji Signifikansi Parameter 88
3.2.5. *Diagnostic Checking* 89
3.2.6. Pemilihan Model ARIMA Terbaik 90
3.2.7. Algoritma Pemodelan ARIMA 91
3.3. *Cumulative Sum* (CUSUM) pada Residual ARIMA 92
3.3.1. Objek yang Dipantau dan Standardisasi 93
3.3.2. Rekursi CUSUM dan Parameter Penelitian 93
3.3.3. Dua Mekanisme CUSUM: *Reset* dan *No-Reset* 94
3.3.4. Keterhubungan dengan Komponen LSTM 95
3.4. *Hybrid Autoregressive Integrated Moving Average–Cumulative Sum–Long Short-Term Memory* (Hybrid ARIMA-CUSUM-LSTM) 95
3.4.1. Dekomposisi Aditif dan Peran Tiga Komponen 96
3.4.2. Tahap Pertama: Komponen Linear dan Residual ARIMA . . 97
3.4.3. Tahap Kedua: Pemetaan Rezim Residual dengan CUSUM . 97
3.4.4. Tahap Ketiga: Pemodelan Residual Non-Linear dengan LSTM 97
3.4.5. Prediksi Akhir Model Hybrid 99
3.4.6. Algoritma Pemodelan Hybrid ARIMA-CUSUM-LSTM . . 99
IV STUDI KASUS 102

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Evaluasi Model Hybrid Autoregressive Integrated Moving Average-Cumulative Sum-Long Short-Term Memory (Hybrid ARIMA-CUSUM-LSTM) untuk Peramalan Harga Emas Global
Reinhard Halomoan Pane, Dr. Irwan Endrayanto Aluicius, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.1. Alat Analisis . . . 102
4.2. Deskripsi Data . . . 104
4.3. Prapemrosesan Data . . . 106
4.4. Gambaran Data Harga Emas . . . 107
4.5. *Splitting* Data . . . 108
4.6. Pemodelan ARIMA . . . 109
4.6.1. Uji Stasioneritas . . . 110
4.6.2. Identifikasi Orde Model . . . 112
4.6.3. Estimasi Parameter dan Uji Signifikansi . . . 114
4.6.4. *Diagnostic Checking* . . . 126
4.6.5. Pemilihan Model ARIMA Terbaik . . . 128
4.7. Penerapan CUSUM pada Residual . . . 130
4.7.1. Residual ARIMA sebagai Objek Pemantauan . . . 130
4.7.2. Standardisasi dan Penetapan Parameter CUSUM . . . 131
4.7.3. Dua Bentuk Keluaran CUSUM . . . 133
4.7.4. Hasil Deteksi Change-Point . . . 133
4.8. Penskalaan Fitur dan Pembentukan Jendela . . . 137
4.8.1. *Input Features* . . . 137
4.8.2. Pembentukan *Window* . . . 138
4.9. Pemodelan LSTM . . . 139
4.9.1. Arsitektur Model . . . 140
4.9.2. Konfigurasi Pelatihan . . . 140
4.9.3. Hasil Pelatihan . . . 141
4.10. Model Hibrida dan Evaluasi . . . 143
4.10.1. Pembentukan Model Hibrida . . . 143
4.10.2. Evaluasi dan Perbandingan Model . . . 144
4.10.3. Visualisasi Peramalan *One-Step* . . . 146
4.11. Peramalan untuk Periode Mendatang . . . 147
4.11.1. Pelatihan Ulang Model pada Seluruh Data . . . 147
4.11.2. Hasil Peramalan Lima Hari Mendatang . . . 148
4.11.3. Keterbatasan Peramalan . . . 150
V PENUTUP . . . 151
5.1. Kesimpulan . . . 151
5.2. Saran . . . 152
DAFTAR PUSTAKA . . . 153
LAMPIRAN . . . 160