**SKRIPSI**

# MODEL HIBRIDA HMM-XGBOOST UNTUK PREDIKSI SINYAL *TRADING CRYPTOCURRENCY* BERBASIS *FEATURE AUGMENTATION* REZIM PASAR

**MOHAMMAD FARIS AL FATIH**
NPM 22081010277

**DOSEN PEMBIMBING**
Dr. Rizky Parlika, S.Kom, M.Kom
Hendra Maulana, S.Kom, M.Kom

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS DAN TEKNOLOGI**
**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR**
**FAKULTAS ILMU KOMPUTER**
**PROGRAM STUDI INFORMATIKA**
**SURABAYA**
**2026**

# LEMBAR PENGESAHAN

## MODEL HIBRIDA HMM-XGBOOST UNTUK PREDIKSI SINYAL *TRADING CRYPTOCURRENCY* BERBASIS *FEATURE AUGMENTATION* REZIM PASAR

**Oleh:**

**MOHAMMAD FARIS AL FATIH**

**NPM. 22081010277**

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Prodi Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur pada tanggal 29 Oktober 2026

**Dr. Rizky Parlika, S.Kom. M.Kom** ..... **(Pembimbing I)**
**NIP. 19840518 202121 1 003**

**Hendra Maulana, S.Kom, M.Kom** ..... **(Pembimbing II)**
**NIP. 19831223 202521 1 040**

**Dr. Rr. Ani Dijah Rahajoc, S.T.,M.Cs.** ..... **(Ketua Penguji)**
**NIP. 19730512 200501 2 003**

**Andreas Nugroho Sihananta, S.Kom., M.Kom.** ..... **(Anggota Penguji)**
**NIP. 19900412 202406 1 003**

**Mengetahui,**
**Dekan Fakultas Ilmu Komputer**

**Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT**
**NIP. 19681126 199403 2 001**

# LEMBAR PERSETUJUAN

**MODEL HIBRIDA HMM-XGBOOST UNTUK PREDIKSI SINYAL *TRADING CRYPTOCURRENCY* BERBASIS *FEATURE AUGMENTATION* REZIM PASAR**


Oleh:

MOHAMMAD FARIS AL FATIH

NPM. 22081010277


**Menyetujui,**

**Koordinator Program Studi Informatika**

**Fakultas Ilmu Komputer**

**Dr. Intan Yuniar Purbasari, S.Kom. MSc.**

**NIP. 19800602 202521 2 029**

# SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

| | |
|---|---|
| Nama Mahasiswa / NPM | : Mohammad Faris Al Fatih / 22081010277 |
| Program Studi | : Informatika |
| Dosen Pembimbing | : 1. Dr. Rizky Parlika, S.Kom, M.Kom |
| | 2. Hendra Maulana, S.Kom, M.Kom |

dengan ini menyatakan bahwa Skripsi dengan judul:

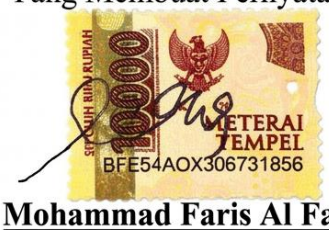
**"Model Hibrida HMM-XGBoost untuk Prediksi Sinyal *Trading Cryptocurrency* Berbasis *Feature Augmentation* Rezim Pasar"**

adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinil, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku di Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. Bukti hasil pengecekan plagiasi dokumen ini dapat ditelusuri melalui QR Code di bawah ini.

Surabaya, 29 Oktober 2026

Yang Membuat Pernyataan,




**Mohammad Faris Al Fatih**

NPM. 22081010277

# ABSTRAK


Nama Mahasiswa / NPM : Mohammad Faris Al Fatih / 22081010277

Judul Skripsi : Model Hibrida HMM-XGBoost untuk Prediksi Sinyal *Trading Cryptocurrency* Berbasis *Feature Augmentation* Rezim Pasar

Dosen Pembimbing : 1. Dr. Rizky Parlika, S.Kom, M.Kom

2. Hendra Maulana, S.Kom, M.Kom



Pasar *cryptocurrency* bergejolak tinggi, dan indikator teknikal sering memberi sinyal palsu saat harga bergerak mendatar. Penelitian ini menguji apakah probabilitas rezim pasar dari *Hidden Markov Model* (HMM), yang ditambahkan sebagai fitur masukan (*feature augmentation*), meningkatkan kinerja XGBoost dalam memprediksi sinyal *Buy*, *Hold*, dan *Sell*. Data berupa harga OHLC SOL/USDT dan XRP/USDT interval 4 jam dari Tokocrypto (1 Januari 2021 sampai 30 Juni 2026), sebanyak 11.985 baris yang dibagi 80% data latih dan 20% data uji menurut urutan waktu. Skenario A (*baseline*) memakai 17 indikator teknikal, sedangkan Skenario B (hibrida) menambahkan tiga probabilitas rezim HMM (*bullish*, *sideways*, *bearish*) yang dihitung dengan *forward algorithm* untuk mencegah *lookahead bias*. Label dibentuk dari ambang *Average True Range* (ATR), bobot kelas menggunakan $\alpha = 0{,}5$, dan *Grid Search* menguji 162 kombinasi *hyperparameter*. Skenario B menaikkan presisi dari 0,3723 menjadi 0,3944 dan *F1-score* dari 0,3542 menjadi 0,3637 pada SOL, serta presisi dari 0,3726 menjadi 0,4106 dan *F1-score* dari 0,3635 menjadi 0,3800 pada XRP. Analisis *feature importance* menempatkan RSI sebagai fitur dominan, sementara fitur rezim HMM berada di peringkat ke-9 sampai ke-19. Dalam *backtesting* dengan biaya transaksi 0,4044%, Skenario B memperkecil kerugian: ROI membaik dari -6,00% menjadi -4,62% pada SOL dan dari -13,18% menjadi -3,72% pada XRP. Kedua model tetap mencatat ROI negatif dan hanya mengungguli *Buy and Hold* yang merugi -58,00% (SOL) dan -54,97% (XRP).



**Kata kunci** : *Hidden Markov Model*, XGBoost, rezim pasar, *feature augmentation*, sinyal trading, *cryptocurrency*

# *ABSTRACT*


| | | |
|---|---|---|
| *Student Name / NPM* | *:* | *Mohammad Faris Al Fatih / 22081010277* |
| *Thesis Title* | *:* | *Hybrid HMM-XGBoost for Cryptocurrency Trading Signal Prediction Using Regime-Aware Feature Augmentation* |
| *Advisor* | *:* | *1. Dr. Rizky Parlika, S.Kom, M.Kom*<br>*2. Hendra Maulana, S.Kom, M.Kom* |



*The cryptocurrency market is highly volatile, and technical indicators often give false signals when prices move sideways. This study tests whether market regime probabilities from a Hidden Markov Model (HMM), added as input features (feature augmentation), improve the performance of XGBoost in predicting Buy, Hold, and Sell signals. The data are 4-hour OHLC prices of SOL/USDT and XRP/USDT from Tokocrypto (January 1, 2021 to June 30, 2026), comprising 11,985 rows split chronologically into 80% training data and 20% test data. Scenario A (baseline) uses 17 technical indicators, while Scenario B (hybrid) adds three HMM regime probabilities (bullish, sideways, bearish) computed with the forward algorithm to prevent lookahead bias. Labels are built from an Average True Range (ATR) threshold, class weighting uses $\alpha = 0.5$, and Grid Search evaluates 162 hyperparameter combinations. Scenario B raises precision from 0.3723 to 0.3944 and F1-score from 0.3542 to 0.3637 on SOL, and precision from 0.3726 to 0.4106 and F1-score from 0.3635 to 0.3800 on XRP. Feature importance analysis ranks RSI as the dominant feature, while the HMM regime features sit between ranks 9 and 19. In backtesting with a transaction cost of 0.4044%, Scenario B reduces losses: ROI improves from -6.00% to -4.62% on SOL and from -13.18% to -3.72% on XRP. Both models still record negative ROI and outperform only Buy and Hold, which loses -58.00% (SOL) and -54.97% (XRP).*



***Keywords**: Hidden Markov Model, XGBoost, market regime, feature augmentation, trading signal, cryptocurrency*

# KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Model Hibrida HMM-XGBoost untuk Prediksi Sinyal Trading *Cryptocurrency* Berbasis *Feature Augmentation* Rezim Pasar"**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi di Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan berjalan lancar tanpa adanya bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT., selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, atas segala kebijakan dan fasilitas yang diberikan selama masa studi.
2. Ibu Dr. Intan Yuniar Purbasari, S.Kom. M.Sc., selaku Koordinator Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, atas arahan dan motivasi yang telah diberikan.
3. Bapak Dr. Rizky Parlika, S.Kom, M.Kom., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah dengan sabar meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Bapak Hendra Maulana, S.Kom, M.Kom., selaku Dosen Pembimbing II, yang juga telah memberikan bimbingan, saran, dan kritik yang sangat membangun selama proses penelitian dan penulisan skripsi ini.
5. Ibu Dr. Rr. Ani Dijah Rahajoe, ST., M.Cs., selaku Ketua Penguji, yang telah memberikan masukan dan evaluasi yang berharga demi kesempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Andreas Nugroho Sihananto, S.Kom., M.Kom., selaku Dosen Penguji, yang telah memberikan masukan dan evaluasi yang berharga demi kesempurnaan skripsi ini.

7. Keluarga tercinta, terutama Ayah dan Ibu, adik-adik saya, serta Mbah yang selalu mendoakan, yang senantiasa memberikan kasih sayang dan dukungan moral maupun materiil yang tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan studi ini.
8. Seseorang yang spesial, yang selalu hadir memberikan semangat, perhatian, dan dukungan di setiap langkah perjalanan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman Komunitas WES KABEH, yaitu Mohammad Isnan, Ahmad Rafi Raihan, Sofyano Fadilah Rosyad, Sayyid Haqqu Ahmad Shol'am, Ardiansyah Wahyu Wardana, dan Esa Pillardien Arafa Ramzy, yang telah memberikan dukungan, semangat, kebersamaan, dan hiburan selama masa perkuliahan hingga proses penyelesaian skripsi ini.
10. Seluruh teman-teman Angkatan 22, yang telah menjadi bagian dari perjalanan dan memberikan kebersamaan selama masa perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu kelancaran penelitian dan penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan penelitian selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi kontribusi kecil bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang prediksi pasar keuangan berbasis kecerdasan buatan.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Surabaya, 29 Oktober 2026

Penulis

Mohammad Faris Al Fatih

# DAFTAR ISI

**LEMBAR PENGESAHAN** ..... **iii**
**LEMBAR PERSETUJUAN** ..... **v**
**SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI** ..... **vii**
**ABSTRAK** ..... **ix**
***ABSTRACT*** ..... **xi**
**KATA PENGANTAR** ..... **xiii**
**DAFTAR ISI** ..... **xv**
**DAFTAR GAMBAR** ..... **xxi**
**DAFTAR TABEL** ..... **xxiii**
**DAFTAR ALGORITMA** ..... **xxv**
**DAFTAR ISTILAH** ..... **xxvii**
**BAB I PENDAHULUAN** ..... **1**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 3
1.3 Tujuan ..... 3
1.4 Manfaat ..... 4
1.5 Batasan Masalah ..... 4
**BAB II TINJAUAN PUSTAKA** ..... **5**
2.1 Penelitian Terdahulu ..... 5
2.2 *Cryptocurrency* ..... 6
2.2.1 Solana (SOL) ..... 7
2.2.2 Ripple (XRP) ..... 8
2.2.3 Tokocrypto ..... 8
2.2.4 Data OHLC ..... 8
2.2.5 *Timeframe* ..... 9
2.3 Indikator Teknikal ..... 9
2.3.1 Indikator Level Harga ..... 10

2.3.2 Indikator Tren ..... 10
2.3.3 Indikator Momentum ..... 15
2.3.4 Indikator Volatilitas ..... 18
2.4 *Hidden Markov Model* (HMM) ..... 20
2.4.1 Imbal Hasil Logaritmik (*Log Return*) ..... 21
2.4.2 Parameter Dasar HMM ..... 21
2.4.3 Peluang Emisi Gauss (Gaussian Emission Probability) ..... 22
2.4.4 Algoritma Baum-Welch (*Forward-Backward*) ..... 23
2.4.5 Algoritma Maju (*Forward Algorithm*) ..... 26
2.5 Pelabelan Data Berbasis ATR ..... 27
2.6 Pembagian Data ..... 30
2.7 Klasifikasi ..... 31
2.8 *Extreme Gradient Boosting* (XGBoost) ..... 32
2.8.1 Model Prediksi Aditif ..... 32
2.8.2 Fungsi Tujuan dan Penalti Regularisasi ..... 33
2.8.3 Pendekatan Deret Taylor Orde Kedua ..... 34
2.8.4 Bobot Daun Optimal ..... 35
2.8.5 Kriteria Pembagian Simpul ..... 36
2.8.6 Tingkat Kepentingan Fitur ..... 36
2.8.7 Fungsi *Softmax* ..... 37
2.8.8 *Hyperparameter* XGBoost ..... 38
2.9 Pencarian Kisi (*Grid Search*) ..... 39
2.10 Simulasi *Trading* (*Backtesting*) ..... 40
2.11 Evaluasi ..... 40
2.11.1 Evaluasi Klasifikasi ..... 41
2.11.2 Evaluasi *Trading* (*Backtesting*) ..... 43

2.12 *Software* dan *Library* ..... 45

**BAB III METODOLOGI ..... 47**

3.1 Alur Penelitian ..... 47

3.2 Pengambilan Data ..... 48

3.3 Perhitungan Indikator Teknikal ..... 50

3.3.1 Perhitungan *Pivot Point* ..... 51

3.3.2 Perhitungan *Simple Moving Average* (SMA) ..... 52

3.3.3 Perhitungan *Exponential Moving Average* (EMA) ..... 52

3.3.4 Perhitungan MACD ..... 53

3.3.5 Perhitungan *Ichimoku Cloud* ..... 55

3.3.6 Perhitungan *Relative Strength Index* (RSI) ..... 58

3.3.7 Perhitungan *Stochastic Oscillator* ..... 59

3.3.8 Perhitungan *Bollinger Bands* ..... 60

3.3.9 Ringkasan Ilustrasi Perhitungan Manual ..... 63

3.4 Perhitungan *Hidden Markov Model* ..... 64

3.4.1 Perhitungan *Log Return* ..... 65

3.4.2 Perhitungan Parameter Dasar HMM ..... 66

3.4.3 Perhitungan Peluang Emisi Gauss ..... 67

3.4.4 Perhitungan Algoritma Baum-Welch ..... 68

3.4.5 Perhitungan *Forward Algorithm* ..... 69

3.4.6 Ringkasan Ilustrasi Perhitungan Manual ..... 71

3.5 Pelabelan Data Berbasis ATR ..... 71

3.6 Pembersihan dan Pembagian Data ..... 76

3.7 Skenario Eksperimen ..... 77

3.7.1 Skenario Pemodelan ..... 77

3.7.2 Skenario *Backtesting* ..... 77

3.8 Pemodelan XGBoost ..... 78
3.8.1 Perhitungan Pembobotan Kelas ..... 79
3.8.2 Optimasi *Hyperparameter Grid Search* ..... 80
3.8.3 Perhitungan Pohon Keputusan dan Prediksi XGBoost ..... 81
3.9 Evaluasi dan Simulasi *Backtesting* ..... 83
3.9.1 Evaluasi Kinerja Klasifikasi ..... 83
3.9.2 Evaluasi Tingkat Kepentingan Fitur (*Feature Importance*) ..... 84
3.9.3 Evaluasi Simulasi *Backtesting* ..... 84
3.10 Perancangan Antarmuka Sistem Analisis ..... 86
3.11 Perangkat Keras ..... 86
**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 87**
4.1 Hasil Pengambilan Data ..... 87
4.2 Hasil Perhitungan Indikator Teknikal ..... 89
4.2.1 Hasil Perhitungan *Pivot Point* ..... 89
4.2.2 Hasil Perhitungan *Simple Moving Average* (SMA) ..... 90
4.2.3 Hasil Perhitungan *Exponential Moving Average* (EMA) ..... 91
4.2.4 Hasil Perhitungan MACD ..... 92
4.2.5 Hasil Perhitungan *Ichimoku Cloud* ..... 94
4.2.6 Hasil Perhitungan *Relative Strength Index* (RSI) ..... 97
4.2.7 Hasil Perhitungan *Stochastic Oscillator* ..... 98
4.2.8 Hasil Perhitungan *Bollinger Bands* ..... 99
4.3 Hasil Perhitungan *Hidden Markov Model* ..... 101
4.3.1 Hasil Perhitungan Imbal Hasil Logaritmik (*Log Return*) ..... 101
4.3.2 Hasil Estimasi Parameter Model HMM (Baum-Welch) ..... 102
4.3.3 Hasil Ekstraksi Fitur Probabilitas Rezim Pasar ..... 105
4.4 Hasil Pelabelan ATR ..... 106

4.4.1 Hasil Perhitungan *Average True Range* (ATR) ..... 107
4.4.2 Hasil Pembentukan Label Tindakan Pasar Berbasis ATR ..... 107
4.5 Hasil Pembersihan dan Pembagian Data ..... 110
4.5.1 Hasil Pembersihan Data ..... 110
4.5.2 Hasil Pembagian Data ..... 111
4.6 Pemodelan XGBoost ..... 114
4.6.1 Perhitungan Pembobotan Kelas Target ..... 114
4.6.2 Pembangkitan Ruang Parameter *Grid Search* ..... 115
4.6.3 Optimasi *Hyperparameter* Berbasis Validasi Kronologis ..... 116
4.6.4 Pelatihan Model Akhir XGBoost Multikelas ..... 117
4.6.5 Hasil *Hyperparameter Grid Search* ..... 117
4.7 Hasil Evaluasi Klasifikasi ..... 119
4.7.1 Hasil Evaluasi Klasifikasi Dataset Solana (SOL/USDT) ..... 119
4.7.2 Hasil Evaluasi Klasifikasi Dataset Ripple (XRP/USDT) ..... 122
4.8 Hasil Peringkat Fitur Terpenting ..... 124
4.8.1 Hasil Rangking Fitur Dataset Solana (SOL/USDT) ..... 124
4.8.2 Hasil Peringkat Fitur Dataset Ripple (XRP/USDT) ..... 126
4.9 Hasil Evaluasi *Backtesting* ..... 128
4.9.1 Hasil Evaluasi *Backtesting* Dataset Solana (SOL/USDT) ..... 128
4.9.2 Hasil Evaluasi *Backtesting* Dataset Ripple (XRP/USDT) ..... 130
4.10 Antarmuka Sistem ..... 131
4.10.1 Antarmuka Eksekusi *Pipeline* Sistem ..... 131
4.10.2 Antarmuka Statistik Data Mentah (*Raw Data*) ..... 132
4.10.3 Antarmuka Visualisasi Grafik Fitur ..... 132
4.10.4 Antarmuka Pelabelan Data ATR ..... 133
4.10.5 Antarmuka Pembersihan dan Pembagian Data ..... 133

4.10.6 Antarmuka Peringkat Hyperparameter Grid Search.....134
4.10.7 Antarmuka Evaluasi Kinerja Klasifikasi .....134
4.10.8 Antarmuka Peringkat Tingkat Kepentingan Fitur .....135
4.10.9 Antarmuka Evaluasi Kinerja Backtesting .....135
4.10.10 Antarmuka Simulasi Data CSV.....136
4.10.11 Antarmuka Simulasi Input Harga (OHLC).....137
4.11 Pembahasan Evaluasi Klasifikasi .....137
4.11.1 Penyaringan Sinyal Palsu Indikator Teknikal .....137
4.11.2 Kestabilan Metrik *Recall*.....138
4.11.3 Perbedaan Dampak Pemodelan Antar-Aset.....139
4.11.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu .....139
4.12 Pembahasan Fitur Terpenting.....140
4.12.1 Dominasi Indikator Teknikal Utama.....140
4.12.2 Peran Kontekstual Fitur Probabilitas HMM.....140
4.12.3 Mekanisme Pembagian Cabang Pohon XGBoost.....141
4.12.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu .....141
4.13 Pembahasan Evaluasi *Backtesting*.....142
4.13.1 Efektivitas Manajemen Risiko dan Proteksi Modal.....142
4.13.2 Penyelamatan Ekuitas Melalui Efisiensi Transaksi.....142
4.13.3 Analisis Rasio Efisiensi Imbal Hasil Terhadap Risiko.....143
4.13.4 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu .....143
**BAB V PENUTUP .....145**
5.1 Kesimpulan.....145
5.2 Saran.....146
**DAFTAR PUSTAKA.....147**

# DAFTAR GAMBAR

**Gambar 2.1** Peringkat Aset *Cryptocurrency* di CoinMarketCap [21] ..... 7
**Gambar 2.2** Ilustrasi Struktur dan Alur Kerja HMM [40] ..... 20
**Gambar 2.3** Ilustrasi Penggabungan Pohon Keputusan pada XGBoost [56] ..... 32
**Gambar 3.1** Diagram Alur Penelitian ..... 47
**Gambar 3.2** Contoh Respons JSON API Tokocrypto ..... 48
**Gambar 3.3** Diagram Alur Perhitungan HMM ..... 64
**Gambar 3.4** Diagram Alur Pelabelan Data Berbasis ATR ..... 72
**Gambar 3.5** Diagram Alur Pemodelan XGBoost ..... 78
**Gambar 3.6** Diagram Alur Penentuan Tingkat Kepentingan Fitur ..... 84
**Gambar 4.1** Grafik Harga Historis Solana 2021 – 30 Juni 2026 ..... 88
**Gambar 4.2** Grafik Harga Historis Ripple 2021 – 30 Juni 2026 ..... 88
**Gambar 4.3** Hasil Perhitungan PP Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ..... 90
**Gambar 4.4** Hasil Perhitungan SMA Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ..... 91
**Gambar 4.5** Hasil Perhitungan EMA Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ..... 92
**Gambar 4.6** Hasil Perhitungan MACD Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ... 94
**Gambar 4.7** Hasil *Ichimoku Cloud* Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ..... 96
**Gambar 4.8** Hasil Perhitungan RSI Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ..... 98
**Gambar 4.9** Hasil Stochastic Oscillator Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) .. 99
**Gambar 4.10** Hasil Perhitungan BB Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ..... 101
**Gambar 4.11** Hasil Deteksi Rezim HMM (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ..... 106
**Gambar 4.12** Distribusi Kelas Pelabelan Solana ..... 108
**Gambar 4.13** Distribusi Kelas Pelabelan Ripple ..... 109
**Gambar 4.14** Hasil Pelabelan ATR Solana (01 Juni 2026 – 29 Juni 2026) ..... 109
**Gambar 4.15** Distribusi Pembagian Data Solana ..... 112
**Gambar 4.16** Distribusi Pembagian Data Ripple ..... 113
**Gambar 4.17** Hasil Pembagian Data Solana (09 Januari 2021 – 29 Juni 2026) 113
**Gambar 4.18** Hasil Pembagian Data Ripple (09 Januari 2021 – 29 Juni 2026) 114
**Gambar 4.19** Matriks Konfusi Skenario A Dataset Solana (SOL/USDT) ..... 121
**Gambar 4.20** Matriks Konfusi Skenario B Dataset Solana (SOL/USDT) ..... 121
**Gambar 4.21** Matriks Konfusi Skenario A Dataset Ripple (XRP/USDT) ..... 123

**Gambar 4.22** Matriks Konfusi Skenario B Dataset Ripple (XRP/USDT) .....123
**Gambar 4.23** Antarmuka Eksekusi *Pipeline* Sistem .....132
**Gambar 4.24** Antarmuka Statistik Data Mentah (*Raw Data*) .....132
**Gambar 4.25** Antarmuka Visualisasi Grafik Fitur .....133
**Gambar 4.26** Antarmuka Distribusi Pelabelan Data ATR .....133
**Gambar 4.27** Antarmuka Laporan Pembersihan dan Pembagian Data .....134
**Gambar 4.28** Antarmuka Peringkat *Hyperparameter Grid Search* .....134
**Gambar 4.29** Antarmuka Evaluasi Kinerja Klasifikasi .....135
**Gambar 4.30** Antarmuka Peringkat Tingkat Kepentingan Fitur .....135
**Gambar 4.31** Antarmuka Evaluasi Kinerja *Backtesting* .....136
**Gambar 4.32** Antarmuka Simulasi Data CSV .....136
**Gambar 4.33** Antarmuka Simulasi Input Harga (OHLC) .....137

# DAFTAR TABEL

**Tabel 2.1** Penelitian Terdahulu ..... 5
**Tabel 2.2** Pemetaan Indikator Teknikal dan Referensi Terdahulu ..... 9
**Tabel 2.3** Pembagian Data pada Penelitian Terdahulu ..... 30
**Tabel 2.4** *Hyperparameter* XGBoost pada Penelitian Terdahulu ..... 38
**Tabel 2.5** Parameter Simulasi *Trading* pada Penelitian Terdahulu ..... 40
**Tabel 2.6** *Software* dan *Library* ..... 45
**Tabel 3.1** Konfigurasi dan Verifikasi Pengambilan Data ..... 49
**Tabel 3.2** Sampel Riwayat Data Mentah OHLC SOL/USDT ..... 49
**Tabel 3.3** Daftar Fitur Indikator Teknikal dan Parameter Pemodelan ..... 50
**Tabel 3.4** Ringkasan Ilustrasi Perhitungan Indikator Teknikal ..... 63
**Tabel 3.5** Daftar Fitur *Hidden Markov Model* (HMM) ..... 65
**Tabel 3.6** Ringkasan Ilustrasi Perhitungan Manual HMM (Parameter Ilustrasi) . 71
**Tabel 3.7** Hasil Pelabelan Data Berbasis ATR SOL/USDT ($t = 1$ - $t = 7$) .... 75
**Tabel 3.8** Perkiraan Data Kosong Akibat Pemrosesan Fitur dan Pelabelan ..... 76
**Tabel 3.9** Pembagian Data Latih dan Data Uji (80:20) ..... 76
**Tabel 3.10** Skenario Pemodelan XGBoost ..... 77
**Tabel 3.11** Skenario *Backtesting* Strategi Perdagangan ..... 77
**Tabel 3.12** Metrik Evaluasi Kinerja Klasifikasi ..... 83
**Tabel 3.13** Pengaturan Parameter Simulasi *Backtesting* ..... 85
**Tabel 3.14** Indikator Evaluasi Kinerja *Backtesting* ..... 85
**Tabel 3.15** Spesifikasi Perangkat Keras Penelitian ..... 86
**Tabel 4.1** Statistik Deskriptif Harga Penutupan SOL/USDT dan XRP/USDT .... 89
**Tabel 4.2** Hasil Pembersihan Baris Kosong Solana dan Ripple ..... 111
**Tabel 4.3** Hasil 10 Kombinasi *Hyperparameter* Terbaik Skenario A Solana .... 118
**Tabel 4.4** Hasil 10 Kombinasi *Hyperparameter* Terbaik Skenario B Solana .... 118
**Tabel 4.5** Hasil 10 Kombinasi *Hyperparameter* Terbaik Skenario A Ripple .... 118
**Tabel 4.6** Hasil 10 Kombinasi *Hyperparameter* Terbaik Skenario B Ripple .... 119
**Tabel 4.7** Hasil Evaluasi Metrik Klasifikasi Dataset Solana (SOL/USDT) ..... 120
**Tabel 4.8** Hasil Evaluasi Metrik Klasifikasi Dataset Ripple (XRP/USDT) ..... 122
**Tabel 4.9** Peringkat Tingkat Kepentingan Fitur Skenario A Dataset Solana ..... 124

**Tabel 4.10** Peringkat Tingkat Kepentingan Fitur Skenario B Dataset Solana....125
**Tabel 4.11** Peringkat Tingkat Kepentingan Fitur Skenario A Dataset Ripple....126
**Tabel 4.12** Peringkat Tingkat Kepentingan Fitur Skenario B Dataset Ripple....127
**Tabel 4.13** Hasil Evaluasi Kinerja *Backtesting* Dataset Solana (SOL/USDT)...129
**Tabel 4.14** Hasil Evaluasi Kinerja Backtesting Dataset Ripple (XRP/USDT)...130

# DAFTAR ALGORITMA

**Algoritma 4.1:** Pengambilan Data Riwayat Klines Tokocrypto ..... 87
**Algoritma 4.2:** Perhitungan Indikator *Pivot Point* ..... 90
**Algoritma 4.3:** Perhitungan Indikator *Simple Moving Average* (SMA) ..... 91
**Algoritma 4.4:** Perhitungan Indikator *Exponential Moving Average* (EMA)..... 92
**Algoritma 4.5:** Perhitungan Fitur *MACD Line* ..... 93
**Algoritma 4.6:** Perhitungan Fitur *MACD Signal Line* ..... 93
**Algoritma 4.7**: Perhitungan Fitur *MACD Histogram*..... 94
**Algoritma 4.8:** Perhitungan Fitur *Tenkan-sen* ..... 95
**Algoritma 4.9:** Perhitungan Fitur *Kijun-sen* ..... 95
**Algoritma 4.10**: Perhitungan Fitur *Senkou Span A* ..... 95
**Algoritma 4.11:** Perhitungan Fitur *Senkou Span B* ..... 96
**Algoritma 4.12:** Perhitungan Fitur *Chikou Span* ..... 96
**Algoritma 4.13:** Perhitungan Indikator *Relative Strength Index* (RSI)..... 97
**Algoritma 4.14:** Perhitungan Fitur *Stochastic %K* ..... 98
**Algoritma 4.15:** Perhitungan Fitur *Stochastic %D* ..... 99
**Algoritma 4.16:** Perhitungan Fitur *Bollinger Upper Band* ..... 100
**Algoritma 4.17:** Perhitungan Fitur *Bollinger Lower Band* ..... 100
**Algoritma 4.18:** Perhitungan Fitur *Bollinger BandWidth* ..... 100
**Algoritma 4.19:** Perhitungan Imbal Hasil Logaritmik (*Log Return*) ..... 102
**Algoritma 4.20:** Inisialisasi Parameter Model HMM Berbasis Kuantil ..... 102
**Algoritma 4.21:** Perhitungan Fungsi Peluang Emisi Gaussian ..... 103
**Algoritma 4.22:** Perhitungan *Forward-Backward* (Langkah Ekspektasi)..... 103
**Algoritma 4.23:** Pembaruan Parameter Model HMM (Langkah Maksimasi) ... 104
**Algoritma 4.24:** Pelatihan Model HMM Iteratif dan Pengurutan Rezim ..... 104
**Algoritma 4.25:** Ekstraksi Fitur Probabilitas Rezim Pasar (*Forward-Only*) ..... 105
**Algoritma 4.26:** Perhitungan *Average True Range* (ATR)..... 107
**Algoritma 4.27:** Pelabelan Data Berbasis *Average True Range* ..... 108
**Algoritma 4.28:** Pembersihan Data dan Penyelarasan Nilai Kosong (*Lag*)..... 110
**Algoritma 4.29:** Pembagian Data Latih dan Data Uji Berbasis Urutan Waktu . 112
**Algoritma 4.30:** Pembobotan Kelas Target dan Pembobotan Sampel..... 115

**Algoritma 4.31:** Pembangkitan Kombinasi Ruang Parameter *Grid Search*.....115
**Algoritma 4.32:** Optimasi Hyperparameter Grid Search.....116
**Algoritma 4.33:** Pelatihan Model Akhir XGBoost Multikelas.....117

# DAFTAR ISTILAH

| | |
|---|---|
| *Volatile* (Volatilitas) | : Sifat fluktuasi pergerakan harga aset yang naik atau turun tajam dalam waktu singkat. |
| *Noise* | : Fluktuasi harga acak jangka pendek yang tidak mencerminkan arah tren pasar sebenarnya. |
| Rezim Pasar | : Fase atau karakteristik pergerakan pasar pada periode tertentu, yaitu tren naik (*bullish*), mendatar (*sideways*), atau turun (*bearish*). |
| *Bullish* | : Kondisi pasar keuangan yang didominasi oleh tekanan beli dengan kecenderungan harga bergerak naik. |
| *Sideways* | : Kondisi pasar keuangan yang bergerak mendatar dalam rentang sempit tanpa arah tren yang jelas. |
| *Bearish* | : Kondisi pasar keuangan yang didominasi oleh tekanan jual dengan kecenderungan harga bergerak turun. |
| *Backtesting* | : Pengujian strategi perdagangan pada data historis masa lalu untuk menilai kelayakan imbal hasil dan risikonya. |
| *Overfitting* | : Kondisi saat model terlalu menghafal data latih sehingga berkinerja buruk saat memprediksi data baru. |
| *Feature Augmentation* | : Penambahan variabel masukan baru ke dalam kumpulan fitur model untuk memperkaya informasi prediksi. |
| *Feature Importance* | : Pengukuran kuantitatif untuk melihat besarnya kontribusi tiap variabel fitur terhadap hasil prediksi model. |
| *Log Return* | : Nilai logaritma natural dari rasio harga penutupan periode saat ini terhadap sebelumnya agar data deret waktu menjadi stasioner. |
| *Lookahead Bias* | : Kesalahan metodologis akibat masuknya informasi masa depan ke dalam proses analisis atau keputusan saat ini. |
| *Class Imbalance* | : Ketimpangan jumlah sampel antarkelas target, dengan kelas *Hold* lebih dominan daripada kelas *Buy* atau *Sell*. |

| | | |
|---|---|---|
| *Sample Weight* | : | Pembobotan penalti pada setiap baris data latih agar kelas minoritas diperhatikan oleh model tanpa mengubah urutan waktu data. |
| *Maximum Drawdown* | : | Persentase penurunan modal terdalam dari titik puncak tertinggi (*peak*) ke titik terendah (*trough*) portofolio. |
| *Stop-Loss* (SL) | : | Perintah otomatis untuk menutup transaksi saat kerugian mencapai batas toleransi tertentu guna membatasi risiko modal. |
| *Take-Profit* (TP) | : | Perintah otomatis untuk menutup transaksi saat keuntungan mencapai target tertentu guna mengamankan laba. |
| *Forward Algorithm* | : | Algoritma penghitung probabilitas rezim pasar hanya dari data hingga waktu saat ini. |
| *Baum-Welch* | : | Metode iteratif berbasis *Expectation-Maximization* untuk mengestimasi parameter HMM dari data tanpa label. |
| *Average True Range* | : | Ukuran volatilitas harga rata-rata yang dipakai sebagai ambang dinamis untuk menentukan label *Buy*, *Hold*, *Sell*. |
| *Buy and Hold* | : | Strategi pasif yang membeli aset di awal periode uji dan menahannya sampai akhir, dipakai sebagai pembanding. |
| *Spot Trading* | : | Perdagangan aset secara langsung yang hanya mengambil posisi beli, tanpa posisi *short* atau *leverage*. |