

**ESTIMASI NELDER-MEAD DALAM MODEL
LOGISTIC SMOOTH TRANSITION AUTOREGRESSIVE
PADA DATA HARGA SAHAM
PT TELKOM INDONESIA (PERSERO)**

SKRIPSI

**OLEH
NISAA ATI SURYANI
NIM. 220601110082**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2026**

**ESTIMASI NELDER-MEAD DALAM MODEL
LOGISTIC SMOOTH TRANSITION AUTOREGRESSIVE
PADA DATA HARGA SAHAM
PT TELKOM INDONESIA (PERSERO)**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
Nisaa Ati Suryani
NIM. 220601110082**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2026**

**ESTIMASI NELDER-MEAD DALAM MODEL
LOGISTIC SMOOTH TRANSITION AUTOREGRESSIVE
PADA DATA HARGA SAHAM
PT TELKOM INDONESIA (PERSERO)**

SKRIPSI

Oleh
Nisaa Ati Suryani
NIM. 220601110082

Telah Disetujui Untuk Diuji

Malang, 6 Mei 2026

Dosen Pembimbing I



Abdul Aziz, M.Si.
NIP. 19760318 200604 1 002

Dosen Pembimbing II



Mohammad Nafie Jahhari, M.Si.
NIPPPK. 19870218 202321 1 018

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika



Dr. Fachrudin Kozi, M.Si.
NIP. 19800302 200801 1 012

**ESTIMASI NELDER-MEAD DALAM MODEL
LOGISTIC SMOOTH TRANSITION AUTOREGRESSIVE
PADA DATA HARGA SAHAM
PT TELKOM INDONESIA (PERSERO)**

SKRIPSI

**Oleh
Nisaa Ati Suryani
NIM. 220601110082**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)

Tanggal 5 Juni 2026

Ketua Penguji : Prof. Dr. Sri Harini, M.Si.

Anggota Penguji 1 : Dr. Fachrur Rozi, M.Si.

Anggota Penguji 2 : Abdul Aziz, M.Si.

Anggota Penguji 3 : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

.....
.....
.....
.....

Mengetahui,
Dekan Program Studi Matematika


.....
Dr. Fachrur Rozi, M.Si.
NIP. 19800527 200801 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nisaa Ati Suryani
NIM : 220601110082
Program Studi : Matematika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Skripsi : Estimasi Nelder-Mead dalam Model *Logistic Smooth Transition Autoregressive* pada Data Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)

Menyatakan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pemikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan dalam daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi ini merupakan hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 5 Juni 2026

Yang membuat pernyataan,



Nisaa Ati Suryani

NIM. 220601110082

MOTO

“Never wait for a perfect moment. Take the moment and make it perfect”

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Ayah dan Ibu, atas segala doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tulus, serta dukungan dan pengorbanan yang diberikan dengan penuh keikhlasan. Setiap nasihat, kepercayaan, dan semangat yang diberikan menjadi kekuatan dalam setiap langkah dan alasan untuk terus berjuang. Kedua saudara dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan semangat dan dukungan. Serta kepada diri sendiri, atas segala perjuangan, keteguhan, dan kesabaran dalam melewati setiap proses.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyusun skripsi yang berjudul “Estimasi Nelder-Mead dalam Model *Logistic Smooth Transition Autoregressive* pada Data Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membimbing umat manusia dari masa kegelapan menuju kehidupan yang penuh cahaya melalui ajaran Islam.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari adanya dukungan, arahan, serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-sebarnya kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Fachrur Rozi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus Anggota Penguji I yang telah memberikan arahan dan masukan yang bermanfaat kepada penulis.
4. Abdul Aziz, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengetahuan, arahan, masukan, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Mohammad Nafie Jauhari, M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan pengetahuan, arahan, masukan, serta motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
6. Prof. Dr. Sri Harini, M.Si., selaku Ketua Penguji yang telah memberikan arahan dan masukan yang bermanfaat kepada penulis.
7. Seluruh Dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, atas ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.

8. Ayah dan Ibu, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, semangat, serta kasih sayang yang menjadi sumber kekuatan bagi penulis.
9. Kedua saudara dan seluruh keluarga, yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
10. Seluruh mahasiswa Program Studi Matematika angkatan 2022, yang telah berjuang bersama selama masa perkuliahan.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang terbaik atas segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan. Semoga Allah SWT memberikan balasan atas segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Malang, 5 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
مستخلص البحث.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Manfaat Penelitian.....	6
1.5 Batasan Masalah	7
1.6 Definisi Istilah	7
BAB II KAJIAN TEORI	9
2.1 Teori Pendukung.....	9
2.1.1 <i>Time Series</i>	9
2.1.1.1 Model <i>Time Series</i> Linier	9
2.1.1.2 Model <i>Time Series</i> Nonlinier	10
2.1.2 Pembagian Data.....	12
2.1.3 Pembentukan Model <i>Autoregressive</i>	12
2.1.3.1 Identifikasi Model <i>Autoregressive</i>	12
2.1.3.2 Estimasi Parameter Model <i>Autoregressive</i>	13
2.1.4 Estimasi Parameter Model LSTAR dengan Nelder-Mead.	13
2.1.5 Uji Asumsi.....	18
2.1.5.1 Uji Stasioneritas	18
2.1.5.2 Uji Linieritas.....	19
2.1.5.3 Identifikasi Model STAR	21
2.1.5.4 Uji Autokorelasi	22
2.1.5.5 Uji Heteroskedastisitas	23
2.1.5.6 Uji Normalitas	24
2.1.6 Transformasi Data	25
2.1.7 Evaluasi Model.....	25
2.1.8 Saham PT Telkom Indonesia	26
2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits.....	27
2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung.....	28

BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Jenis Penelitian	31
3.2 Data dan Sumber Data	31
3.3 Teknik Analisis Data	31
3.4 Diagram Alir	35
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
4.1 Statistika Deskriptif Data.....	37
4.2 Uji Stasioneritas.....	38
4.3 Identifikasi Model <i>Autoregressive</i>	39
4.4 Estimasi Parameter Model <i>Autoregressive</i>	42
4.5 Uji Linieritas.....	42
4.6 Identifikasi Model STAR	44
4.7 Estimasi Parameter Model LSTAR dengan Nelder-Mead	46
4.8 Uji Asumsi Residual.....	52
4.8.1 Uji Autokorelasi Residual	52
4.8.2 Uji Heteroskedastisitas Residual	53
4.8.3 Uji Normalitas Residual	54
4.9 Prediksi dan Transformasi	55
4.10 Evaluasi Model	57
4.11 Kajian Integrasi Penelitian dalam Islam	59
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN.....	67
RIWAYAT HIDUP	88

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kriteria Nilai MAPE	26
Tabel 4.1	Hasil Uji Stasioneritas pada Tingkat Level.....	38
Tabel 4.2	Hasil Uji Stasioneritas pada Tingkat <i>Differencing</i> Orde Pertama .	39
Tabel 4.3	Kandidat Model ARIMA Berdasarkan Nilai AIC	41
Tabel 4.4	Estimasi Parameter Model AR(2)	42
Tabel 4.5	Uji Linieritas Model AR(2).....	44
Tabel 4.6	Estimasi Model Regresi Bantu dengan $s_t = X_{t-1}$	45
Tabel 4.7	Hasil Estimasi Parameter Model LSTAR(2,1)	51
Tabel 4.8	Hasil Uji Autokorelasi Residual	53
Tabel 4.9	Hasil Uji Heteroskedastisitas Residual LSTAR(2,1).....	54
Tabel 4.10	Hasil Uji Normalitas Residual LSTAR(2,1)	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar 4.1 Grafik Pergerakan Harga Saham TLKM	37
Gambar 4.2 Grafik Data <i>Training</i> dan <i>Testing</i> Harga Saham TLKM	40
Gambar 4.3 Grafik Data <i>Training</i> dan <i>Testing</i> Perubahan Harga Saham TLKM	40
Gambar 4.4 Grafik Fungsi Objektif Nelder-Mead pada Iterasi 300-584	50
Gambar 4.5 Selisih Fungsi Objektif pada Iterasi 300-584	50
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Data Aktual dan Prediksi Harga Saham TLKM	58
Gambar 4.7 Grafik <i>Error</i> Prediksi Harga Saham TLKM	59

DAFTAR SIMBOL

Y_t	: Harga saham pada periode ke- t
t	: Periode harga saham
X_t	: Perubahan harga saham pada periode ke- t
X_{t-i}	: Perubahan harga saham pada <i>lag</i> ke- i
φ_0	: Konstanta (<i>intercept</i>) model AR
φ_i	: Parameter model AR pada <i>lag</i> ke- i
p	: Orde model AR
d	: Orde <i>differencing</i>
ε_t	: Kesalahan acak (<i>error</i>) model AR
φ_{10}	: Konstanta AR rezim pertama
φ_{20}	: Konstanta AR rezim kedua
φ_{1i}	: Parameter AR rezim pertama pada <i>lag</i> ke- i
φ_{2i}	: Parameter AR rezim kedua pada <i>lag</i> ke- i
l	: <i>Delay</i>
$G(s_t; \gamma, c)$	: Fungsi transisi
$s_t = X_{t-l}$	: Variabel transisi
γ	: Parameter pemulusan
c	: Parameter ambang batas (<i>threshold</i>)
η_t	: Kesalahan acak (<i>error</i>) model STAR
n	: Banyaknya observasi
v	: Banyaknya parameter dalam model AR
τ	: Vektor parameter
$M(\tau)$	: Fungsi objektif
$f(X_{t-1}, \dots, X_{t-p}, \tau)$	: Fungsi model LSTAR
τ_0	: Titik pusat
τ_r	: Titik refleksi
ψ	: Koefisien refleksi
τ_e	: Titik ekspansi
λ	: Koefisien ekspansi
τ_{oc}	: Titik kontraksi luar
τ_{ic}	: Titik kontraksi dalam
δ	: Koefisien kontraksi
τ_b	: Titik Penyusutan
ϑ	: Koefisien penyusutan
ϕ	: Parameter pengujian akar unit (<i>unit root</i>)
$\hat{\phi}$	: Estimator parameter ϕ
$se(\hat{\phi})$	: <i>Standard error</i> dari estimator $\hat{\phi}$
SSE_0	: Jumlah kuadrat residual dari model AR(p)
T	: Banyaknya residual model AR(p)

β_{00}	: Konstanta regresi bantu
$\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}$	: Parameter/koeffisien regresi bantu
e_t	: Residual dari regresi bantu
SSE_1	: Jumlah residual kuadrat dari regresi bantu
$\hat{\beta}_{ji}$	: Estimator koefisien β_{ji}
$se(\hat{\beta}_{ji})$	: <i>Standard error</i> estimator $\hat{\beta}_{ji}$
$\hat{\rho}_k$	: Koefisien autokorelasi residual pada <i>lag</i> ke- k
N	: Banyaknya residual model
θ_0	: Konstanta regresi kuadrat residual
$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_w$	: Koefisien regresi untuk lag kuadrat residual
R^2	: Koefisien determinasi dari regresi kuadrat residual
D	: Nilai statistik uji Kolmogorov-Smirnov
$S(x)$	: Fungsi distribusi kumulatif dari residual
$F_0(x)$	: Fungsi distribusi kumulatif dari distribusi normal
$\hat{Y}_t$	: Prediksi harga saham pada periode ke- t .
$MAPE$	: <i>Mean Absolut Percentage Error</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero) (Y_t).....	67
Lampiran 2. Data Perubahan Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero) (X_t)	70
Lampiran 3. Residual Model AR(2) (ε_t).....	73
Lampiran 4. Residual Regresi Bantu dengan Variabel Transisi X_{t-1} (e_t).....	75
Lampiran 5. Nilai dan Selisih Fungsi Objektif pada Setiap Iterasi Nelder-Mead	77
Lampiran 6. Hasil Prediksi Perubahan Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero) ($\hat{X}_t$)	78
Lampiran 7. Perbandingan Data Aktual (Y_t) dan Data Prediksi ($\hat{Y}_t$) Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)	79
Lampiran 8. <i>Error</i> Prediksi Model LSTAR(2,1) pada Data Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)	80
Lampiran 9. <i>Script</i> Model LSTAR dengan Estimasi Nelder-Mead.....	81

ABSTRAK

Suryani, Nisaa Ati. 2026. **Estimasi Nelder-Mead dalam Model *Logistic Smooth Transition Autoregressive* pada Data Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)**. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (I) Abdul Aziz, M.Si. (II) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Kata Kunci: *Time Series* Nonlinier, LSTAR, Nelder-Mead, Saham.

Pergerakan harga saham bersifat fluktuatif dan menunjukkan pola nonlinier, sehingga diperlukan model yang mampu merepresentasikan pola pergerakan tersebut. Salah satu model *time series* nonlinier yang banyak digunakan dalam bidang ekonomi dan keuangan adalah model *Smooth Transition Autoregressive* (STAR). Model STAR memiliki dua bentuk utama berdasarkan fungsi transisinya, yaitu Logistic STAR (LSTAR) dan Exponential STAR (ESTAR). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh model LSTAR pada perubahan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) serta mengukur tingkat akurasi model dalam melakukan prediksi harga saham. Data yang digunakan berupa harga penutupan mingguan saham PT Telkom Indonesia (Persero) periode 6 Januari 2019 hingga 26 April 2026. Estimasi model LSTAR dilakukan menggunakan algoritma Nelder-Mead, yaitu metode iteratif tanpa turunan untuk meminimumkan fungsi objektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang diperoleh adalah LSTAR(2,1) dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 0,72%, yang menunjukkan tingkat akurasi model sangat baik dalam memprediksi harga saham.

ABSTRACT

Suryani, Nisaa Ati. 2026. **Nelder-Mead Estimation in a Logistic Smooth Transition Autoregressive Model for PT Telkom Indonesia (Persero) Stock Price Data.**

Thesis. Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Advisors: (I) Abdul Aziz, M.Si. (II) Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

Keywords: Nonlinear Time Series, LSTAR, Nelder-Mead, Stock.

Stock price movements are fluctuating and exhibit nonlinear patterns, therefore a model capable of representing these movement patterns is required. One of the nonlinear time series models widely used in the fields of economics and finance is the Smooth Transition Autoregressive (STAR) model. The STAR model has two main forms based on its transition function, namely Logistic STAR (LSTAR) and Exponential STAR (ESTAR). This study aims to obtain an LSTAR model for the stock price changes of PT Telkom Indonesia (Persero) and measure the accuracy model in predicting stock prices. The data used are the weekly closing stock prices of PT Telkom Indonesia (Persero) for the period January 6, 2019 to April 26, 2026. The estimation of the LSTAR model was carried out using the Nelder-Mead algorithm, which is a derivative-free iterative method for minimizing the objective function. The results showed that the obtained model was LSTAR(2,1) with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value of 0,72%, indicating that the model has a very good level of accuracy in predicting stock prices.

مستخلص البحث

سورياني، نيسا ئتي. ٢٠٢٦. تقدير نيلدر-ميد في نموذج *Logistic Smooth Transition Autoregressive* على بيانات أسعار أسهم شركة تيليكون إندونيسيا (*Persero*). البحث الجامعي. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف: (١) عبد العزيز، الماجستير في العلوم. (٢) محمد نافع جوهرى، الماجستير في العلوم.

الكلمات الأساسية: نماذج السلاسل الزمنية، *LSTAR*، الأسهم، نيلدر-ميد.

تتسم حركة أسعار الأسهم بالتقلب وتظهر أنماطاً غير خطية، لذلك هناك حاجة إلى نموذج قادر على تمثيل أنماط الحركة هذه. يُعد نموذج *Smooth Transition Autoregressive (STAR)* أحد نماذج السلاسل الزمنية غير الخطية المستخدمة على نطاق واسع في مجالي الاقتصاد والتمويل. ويحتوي نموذج *STAR* على شكلين رئيسيين بناءً على دالة الانتقال، وهما *Logistic STAR (LSTAR)* و *Exponential STAR (ESTAR)*. هدف هذا البحث إلى الحصول على نموذج *LSTAR* لتغيرات أسعار أسهم شركة تيليكون إندونيسيا (*Persero*) وقياس مستوى دقة النموذج في التنبؤ بأسعار الأسهم. البيانات المستخدمة هي بيانات أسعار الإغلاق الأسبوعية لأسهم شركة تيليكون إندونيسيا (*Persero*) خلال الفترة من ٦ يناير ٢٠١٩ إلى ٢٦ أبريل ٢٠٢٦. تم تقدير نموذج *LSTAR* باستخدام خوارزمية نيلدر-ميد، وهي طريقة تكرارية لا تعتمد على المشتقات لتصغير دالة الهدف. أظهرت نتائج البحث أن النموذج المتحصل عليه هو $LSTAR(2,1)$ بقيمة لمتوسط نسبة الخطأ المطلق ($MAPE$) بلغت ٠,٧٢٪، مما يدل على أن مستوى دقة النموذج في التنبؤ بأسعار الأسهم مرتفع جداً.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Time series (deret waktu) didefinisikan sebagai rangkaian observasi pada suatu variabel yang dicatat berdasarkan waktu kejadian dengan interval yang sama (Wei, 2006). Model *time series* merupakan salah satu pendekatan statistika yang digunakan untuk menggambarkan pola data dengan mempertimbangkan hubungan antara nilai masa kini dan nilai masa lalu. Pendekatan tersebut telah diimplementasikan dalam berbagai bidang, seperti ekonomi, geofisika, pertanian, dan kedokteran (Ridla dkk., 2023).

Model *time series* dibedakan menjadi dua kelompok utama, yakni model linier dan model nonlinier (Montgomery dkk., 2015). Salah satu model *time series* linier adalah *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) (Kumar & Murugan, 2017). Dalam penelitian Putri, dkk. (2017), data inflasi menunjukkan kecenderungan pola fluktuatif dan bersifat nonlinier sehingga model ARIMA memiliki nilai akurasi model *Root Mean Squared Error* (RMSE) dan *Mean Squared Error* (MSE) lebih tinggi dari model LSTAR. Model ARIMA akan memberikan hasil yang cukup baik apabila data yang digunakan cenderung bersifat linier. Namun, jika suatu data menunjukkan fluktuasi ekstrem, maka kinerja model tersebut kurang optimal. Menurut Tong, (2016), terdapat perilaku dalam data yang tidak dapat dijelaskan menggunakan pendekatan linier sehingga diperlukan pendekatan nonlinier.

Model *time series* nonlinier digunakan ketika suatu data menunjukkan hubungan yang tidak dapat dijelaskan secara linier, seperti adanya perubahan pola

atau perilaku yang berbeda pada kondisi tertentu (Fadillah & Widyasari, 2023). Model *Threshold Autoregressive* (TAR) merupakan salah satu model *time series* nonlinier yang banyak digunakan dalam bidang ekonomi dan keuangan (Zhang dkk., 2022). Lukkonen, dkk. (1988) dalam Nor, dkk. (2015) menjelaskan bahwa model TAR memiliki keterbatasan karena perpindahan antar rezim terjadi secara tiba-tiba berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*).

Dalam mengatasi keterbatasan tersebut, dikembangkan model *Smooth Transition Autoregressive* (STAR) yang memungkinkan perpindahan antar rezim terjadi secara bertahap melalui fungsi transisi (Lestari dkk., 2021). Pada penelitian ini, rezim diartikan sebagai kondisi atau keadaan dalam pergerakan harga saham. Rezim yang umum terjadi pada pasar modal adalah *bullish* dan *bearish* (Respati dkk., 2018). Rezim *bullish* terjadi ketika pergerakan harga saham cenderung mengalami kenaikan, sedangkan rezim *bearish* terjadi ketika pergerakan harga saham cenderung mengalami penurunan (Aini dkk., 2023). Model STAR berdasarkan fungsi transisinya, dikelompokkan ke dalam dua jenis utama, yaitu *Exponential Smooth Transition Autoregressive* (ESTAR) dan *Logistic Smooth Transition Autoregressive* (LSTAR) (Teräsvirta, 1994).

Yaya & Shitu (2016) dalam Mehreyan (2024) menjelaskan bahwa model LSTAR memiliki karakteristik asimetris, yaitu respons model terhadap kenaikan dan penurunan nilai tidak sama, sehingga model ini sesuai untuk memodelkan data ekonomi dan keuangan yang bersifat nonlinier. Model LSTAR telah digunakan dalam beberapa penelitian. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Nor, dkk. (2015) yang menunjukkan bahwa model LSTAR memiliki nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) lebih rendah dari model ESTAR dan *Autoregressive* (AR) dalam

memprediksi tingkat pengembalian saham *Malaysia Airlines* (MAS). Selanjutnya, Odelia dkk. (2020) menggunakan model LSTAR untuk memprediksi harga saham PT Bank Mandiri dan menunjukkan bahwa model tersebut memiliki tingkat akurasi yang sangat baik. Sementara itu, Chandra, dkk. (2021) menggunakan model LSTAR untuk memprediksi produksi kelapa sawit PT XYZ dan memperoleh nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 17.07%.

Nonlinear Least Square (NLS) merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk mengestimasi parameter model nonlinier. Solusi NLS umumnya tidak dapat diperoleh secara analitik, sehingga diperlukan metode iteratif seperti Nelder-Mead, Newton-Raphson, Levenberg-Marquardt, atau Gauss-Newton untuk memperoleh nilai parameter yang akurat (Yonar & Yonar, 2022). Kumar (2023) membandingkan algoritma Nelder-Mead, Levenberg-Marquardt, dan *iterative gradient-based methods* dalam mengestimasi parameter model sistem dinamik nonlinier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma Nelder-Mead mampu mencapai solusi optimal dibandingkan dua metode lainnya. Nelder-Mead merupakan metode iteratif yang tidak memerlukan turunan fungsi. Metode ini bekerja dengan membentuk simpleks, yaitu bangun geometri yang terdiri dari $m + 1$ titik di ruang berdimensi m , yang kemudian diperbarui secara bertahap hingga mencapai kondisi konvergen. Yonar & Yonar (2022) mengestimasi parameter model regresi nonlinier menggunakan NLS dengan algoritma Nelder-Mead. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan tersebut memberikan estimasi parameter yang akurat.

Investasi merupakan upaya menanamkan modal dalam bentuk dana ataupun aset dengan tujuan mendapatkan keuntungan di waktu mendatang. Upaya tersebut

menjadi salah satu strategi dalam mengelola keuangan, karena melalui investasi seseorang tidak hanya menjaga nilai aset yang dimiliki, namun berpeluang dalam meningkatkan nilai tambahnya. Nabi Muhammad SAW telah memberikan contoh dalam praktik investasi, sebagaimana dijelaskan dalam hadits berikut:

عَنْ نَافِعٍ، عَنْ عَبْدِ اللَّهِ بْنِ عُمَرَ، عَنْ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ، أَنَّهُ دَفَعَ إِلَى يَهُودِ خَيْبَرَ نَخْلَ خَيْبَرَ وَأَرْضَهَا، عَلَى أَنْ يَعْتَمِلُوهَا مِنْ أَمْوَالِهِمْ، وَلِرَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ شَطْرُ ثَمَرِهَا

“Dari Nafi’, dari Abdullah bin Umar, bahwasannya Rasulullah Shallallahu ‘Alaihi wa Sallam menyerahkan kepada bangsa Yahudi Khaibar kebun kurma dan ladangnya di daerah Khaibar, agar mereka yang menggarapnya dengan biaya dari mereka sendiri, Rasulullah Shallallahu ‘Alaihi wa Sallam mendapat separuh dari hasil panennya.” (HR. Bukhori dan Muslim)

Hadis di atas menjelaskan bahwa Nabi Muhammad SAW telah memberikan contoh kegiatan investasi yang adil dan saling menguntungkan kedua belah pihak. Prinsip dasar yang ditekankan dalam berinvestasi adalah keadilan dan kerelaan di antara investor maupun pihak pengelola, sehingga tidak ada satu pun yang merasa dirugikan (Berutu, 2020). Hal tersebut menegaskan bahwa investasi harus bersifat transparan/terbuka dan berlandaskan kesepakatan bersama, sehingga terhindar dari unsur yang merugikan seperti *maysir* (perjudian), *riba*, dan *gharar* (ketidakjelasan).

Salah satu bagian dari bentuk investasi dalam pasar modal adalah saham. Menurut Darmadji (2012) dalam Umar & Savitri (2021), saham merupakan tanda kepemilikan seseorang terhadap suatu perusahaan. Pergerakan harga saham umumnya menunjukkan pola fluktuatif (Neyun dkk., 2023). Fluktuasi harga saham dapat memengaruhi keputusan investasi, sehingga investor membutuhkan informasi tentang pergerakan harga saham sebagai dasar pengambilan keputusan investasi yang tepat.

PT Telkom Indonesia (Persero) merupakan salah satu BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang beroperasi pada bidang telekomunikasi digital serta layanan di

bidang teknologi informasi serta komunikasi. Kepemilikan saham PT Telkom Indonesia (Persero) sebesar 52,09% dimiliki oleh pemerintah Republik Indonesia, sedangkan 47,91% dimiliki oleh publik. Pada tahun 2025, PT Telkom Indonesia (Persero) menempati peringkat kesembilan di dunia dalam kategori *telecommunication services*, mengungguli sejumlah perusahaan telekomunikasi lain, seperti Vodafone UK, SingTel Singapore, dan Telstra Australia (Telkom, 2025). Pencapaian tersebut meningkatkan minat investor terhadap saham PT Telkom Indonesia (Persero) karena mencerminkan kinerja dan daya saing perusahaan yang kuat. Penelitian Faisal (2021) menjelaskan bahwa pergerakan saham PT Telkom Indonesia (Persero) bersifat fluktuatif sehingga model ARIMA memiliki keterbatasan dalam menangkap pola yang terdapat dalam data.

Penelitian Odelia dkk. (2020) menunjukkan bahwa model LSTAR yang diestimasi menggunakan NLS dengan algoritma Gauss Newton memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam memprediksi harga saham PT Bank Mandiri Tbk. Kemudian, Penelitian Yonar & Yonar (2022) menunjukkan bahwa penggunaan estimasi NLS dengan algoritma Nelder-Mead mampu menghasilkan estimasi parameter yang akurat dalam model regresi nonlinier. Berdasarkan kedua penelitian tersebut peneliti tertarik untuk menerapkan model LSTAR menggunakan estimasi NLS dengan algoritma Nelder-Mead pada data harga saham PT Telkom Indonesia (Persero). Pemilihan data harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) didasarkan pada fakta bahwa perusahaan tersebut merupakan salah satu perusahaan telekomunikasi terbesar di Indonesia. Merujuk pada penelitian Odelia dkk. (2020), kebaruan penelitian ini terletak pada data dan algoritma yang digunakan yaitu data harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) dan algoritma Nelder-Mead.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini berdasarkan uraian latar belakang di atas adalah:

1. Bagaimana model perubahan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) menggunakan *Logistic Smooth Transition Autoregressive* (LSTAR) dengan estimasi Nelder-Mead?
2. Bagaimana tingkat akurasi model LSTAR dengan estimasi Nelder-Mead dalam memodelkan perubahan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan bentuk model perubahan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) menggunakan *Logistic Smooth Transition Autoregressive* (LSTAR) dengan estimasi Nelder-Mead.
2. Mengukur tingkat akurasi model perubahan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) menggunakan LSTAR dengan estimasi Nelder-Mead.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat kepada berbagai pihak, antara lain:

1. Bagi Mahasiswa
Menjadi sarana pengembangan wawasan dalam analisis *time series*, khususnya penerapan model nonlinier seperti *Logistic Smooth Transition Autoregressive* (LSTAR) dengan estimasi Nelder-Mead.

2. Bagi Program Studi/Institusi

Menambah referensi ilmiah untuk pengembangan penelitian di bidang statistika dan ekonomi.

3. Bagi Masyarakat Umum/ Investor

Memberikan informasi mengenai pola pergerakan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) Tbk sebagai bahan pertimbangan dalam memahami arah pergerakan harga saham dan pengambilan keputusan investasi.

4. Bagi PT Telkom Indonesia (Persero)

Memberikan informasi mengenai pola pergerakan harga saham sebagai bahan pertimbangan dalam memahami kondisi pasar.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini, diantaranya:

1. Data yang digunakan adalah data harga penutupan mingguan saham PT Telkom Indonesia (Persero) dari 6 Januari 2019 hingga 26 April 2026.
2. Model LSTAR dibangun dengan data historis harga saham dan tidak melibatkan variabel eksternal, seperti inflasi dan suku bunga.
3. Jumlah iterasi ditetapkan sebanyak 1.000 iterasi.
4. Tingkat akurasi model dievaluasi menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

1.6 Definisi Istilah

1. *Time Series* (Deret Waktu) : Data hasil pengamatan terhadap suatu variabel dan dicatat berdasarkan urutan waktu kejadian.

2. *Autoregressive* : Model *time series* yang menjelaskan nilai sekarang berdasarkan nilai masa lalu.
3. Rezim : Kondisi atau keadaan dalam pergerakan harga saham.
4. *Smooth Transition Autoregressive* : Model nonlinier dengan proses perpindahan antar rezim yang berlangsung secara bertahap melalui fungsi transisi.
5. *Logistic Smooth Transition Autoregressive* : Model STAR dengan fungsi transisi *logistic*.
6. *Exponential Smooth Transition Autoregressive* : Model STAR dengan fungsi transisi *exponential*.
7. *Nonlinier Least Square* : Metode estimasi parameter model nonlinier dengan meminimalkan jumlah kuadrat *error*.
8. Nelder-Mead : Algoritma optimasi tanpa turunan menggunakan pendekatan simpleks.

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Teori Pendukung

2.1.1 *Time Series*

Time series merupakan rangkaian observasi terhadap suatu variabel yang dicatat secara berurutan berdasarkan interval waktu tertentu, seperti harian, mingguan, bulanan, atau tahunan (Box dkk., 2019). Model *time series* digunakan untuk mengidentifikasi pola dalam data dan telah diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti bidang ekonomi, dan keuangan (Kirchgassner & Wolters, 2010). Berikut merupakan dua kelompok utama dalam model *time series*:

2.1.1.1 Model *Time Series* Linier

Model *time series* linier menyatakan bahwa nilai suatu observasi pada periode sekarang merupakan kombinasi linier dari nilai observasi pada periode sebelumnya serta komponen kesalahan acak. Salah satu bentuk dasar model *time series* linier adalah model *autoregressive*, yaitu model yang menyatakan bahwa nilai suatu observasi pada periode sekarang dipengaruhi oleh nilai observasi pada beberapa periode sebelumnya dengan penambahan komponen kesalahan acak. Model *autoregressive* dengan orde p dinotasikan sebagai $AR(p)$. Bentuk umum dari model $AR(p)$ sebagai berikut (Dijk, 1999):

$$X_t = \varphi_0 + \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \cdots + \varphi_p X_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

di mana:

t : Periode observasi, $t = 1, 2, 3, \dots, n$.

X_t : Perubahan harga saham pada periode ke- t

X_{t-i} : Perubahan harga saham pada *lag* ke- i , $i = 1, 2, 3, \dots, p$

φ_0 : Konstanta (*intercept*) model AR

φ_i : Parameter model AR pada *lag* ke- i

p : Orde model AR

ε_t : Kesalahan acak (*error*) model AR

2.1.1.2 Model *Time Series* Nonlinier

Model *time series* nonlinier merupakan model yang menggambarkan hubungan antara nilai sekarang dan nilai masa lalu melalui fungsi yang bersifat nonlinier. Salah satu model *time series* nonlinier adalah *Smooth Transition Autoregressive* (STAR), yaitu model yang memungkinkan perpindahan antar rezim berlangsung secara bertahap melalui fungsi transisi. Bentuk model STAR(p, l) dinyatakan sebagai berikut (Dijk, 1999):

$$X_t = (\varphi_{10} + \varphi_{11}X_{t-1} + \dots + \varphi_{1p}X_{t-p})(1 - G(s_t; \gamma, c)) + (\varphi_{20} + \varphi_{21}X_{t-1} + \dots + \varphi_{2p}X_{t-p})G(s_t; \gamma, c) + \eta_t \quad (2.2)$$

di mana:

φ_{10} : Konstanta AR rezim pertama

φ_{20} : Konstanta AR rezim kedua

φ_{1i} : Parameter AR rezim pertama pada *lag* ke- i

φ_{2i} : Parameter AR rezim kedua pada *lag* ke- i

l : *Delay*

$G(s_t; \gamma, c)$: Fungsi transisi dengan nilai $[0, 1]$

$s_t = X_{t-l}$: Variabel transisi, $1 \leq l \leq p$

γ : Parameter pemulusan

c : Parameter ambang batas (*threshold*)

η_t : Kesalahan acak (*error*) model STAR

Teräsvirta (1994) mengklasifikasikan model STAR ke dalam dua jenis berdasarkan bentuk fungsi transisinya, yaitu:

1. *Logistic Smooth Transition Autoregressive*

Logistic Smooth Transition Autoregressive (LSTAR) merupakan model STAR yang menggunakan fungsi transisi *logistic*. Bentuk umum dari fungsi transisi *logistic* yaitu (Dijk, 1999):

$$G(s_t; \gamma, c) = \frac{1}{1 + \exp(-\gamma(s_t - c))}, \gamma > 0 \quad (2.3)$$

dengan substitusi persamaan (2.3) ke dalam persamaan (2.2), diperoleh bentuk model LSTAR(p, l) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_t = & (\varphi_{10} + \varphi_{11}X_{t-1} + \dots + \varphi_{1p}X_{t-p}) \left(1 - \left(\frac{1}{1 + e^{(-\gamma(s_t - c))}} \right) \right) \\ & + (\varphi_{20} + \varphi_{21}X_{t-1} + \dots + \varphi_{2p}X_{t-p}) \left(\frac{1}{1 + e^{(-\gamma(s_t - c))}} \right) + \eta_t \end{aligned} \quad (2.4)$$

2. *Exponential Smooth Transition Autoregressive*

Exponential Smooth Transition Autoregressive (ESTAR) merupakan model STAR yang menggunakan fungsi transisi *exponential*. Bentuk umum dari fungsi transisi *exponential* yaitu (Dijk, 1999):

$$G(s_t; \gamma, c) = 1 - \exp(-\gamma(s_t - c)^2), \gamma > 0 \quad (2.5)$$

dengan substitusi persamaan (2.5) ke dalam persamaan (2.2), diperoleh bentuk model ESTAR(p, l) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X_t = & (\varphi_{10} + \varphi_{11}X_{t-1} + \dots + \varphi_{1p}X_{t-p}) \exp(-\gamma(s_t - c)^2) \\ & + (\varphi_{20} + \varphi_{21}X_{t-1} + \dots + \varphi_{2p}X_{t-p}) (1 - \exp(-\gamma(s_t - c)^2)) + \eta_t \end{aligned} \quad (2.6)$$

2.1.2 Pembagian Data

Pembagian data atau *splitting* data merupakan tahapan penting dalam proses pemodelan statistik yang bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mempelajari pola pada data serta mengukur ketepatan model dalam memprediksi data. Secara umum, data dibagi menjadi dua bagian yaitu data *training* dan data *testing* (Putra, 2020). Data *training* (data latih) digunakan untuk membangun dan melatih model. Sementara itu, data *testing* (data uji) digunakan untuk mengukur kinerja model setelah proses pelatihan. Rasio pembagian data *training* dan *testing* umumnya bervariasi, yaitu (90%: 10%), (80%: 20%), atau (70%: 30%). Dalam analisis *time series*, pembagian data tidak dilakukan secara acak, melainkan berdasarkan urutan waktu agar struktur kronologis tetap terjaga.

2.1.3 Pembentukan Model *Autoregressive*

Proses pembentukan model *autoregressive* dapat dilakukan melalui beberapa tahapan berikut:

2.1.3.1 Identifikasi Model *Autoregressive*

Identifikasi model *autoregressive* dapat dilakukan dengan mencoba beberapa kombinasi orde model dan membandingkan nilai Akaike Information Criterion (AIC). Model terbaik dipilih berdasarkan nilai AIC terkecil. Persamaan AIC dinyatakan sebagai berikut (Dijk, 1999):

$$AIC = n \ln \hat{\sigma}_\varepsilon^2 + 2v \quad (2.7)$$

dengan $\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \hat{\varepsilon}_t^2$ dan $v = p + 1$

di mana:

n : Banyaknya observasi

v : Banyaknya parameter dalam model

2.1.3.2 Estimasi Parameter Model *Autoregressive*

Estimasi parameter merupakan proses menentukan nilai parameter suatu model agar model tersebut mampu merepresentasikan pola data dengan baik dan mendekati nilai sebenarnya. Parameter model *autoregressive* orde p pada persamaan (2.1) dapat diestimasi menggunakan Metode *Ordinary Least Squares* (OLS). Metode OLS mengestimasi parameter dengan meminimumkan jumlah kuadrat residual yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\sum_{t=p+1}^n \varepsilon_t^2 = \sum_{t=p+1}^n \left(X_t - (\varphi_0 + \varphi_1 X_{t-1} + \dots + \varphi_p X_{t-p}) \right)^2 \quad (2.8)$$

Model AR(p) pada persamaan (2.1) untuk n observasi dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{X}\boldsymbol{\varphi} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2.9)$$

$$\text{dengan } \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} X_{p+1} \\ X_{p+2} \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix}, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & X_p & X_{p-1} & \dots & X_1 \\ 1 & X_{p+1} & X_p & \dots & X_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & X_{n-1} & X_{n-2} & \dots & X_{n-p} \end{bmatrix}, \boldsymbol{\varphi} = \begin{bmatrix} \varphi_0 \\ \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \vdots \\ \varphi_p \end{bmatrix}, \text{ dan } \boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{p+1} \\ \varepsilon_{p+2} \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Estimator parameter $\boldsymbol{\varphi}$ menggunakan metode OLS dapat dinyatakan sebagai berikut (Aziz, 2010):

$$\hat{\boldsymbol{\varphi}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Z} \quad (2.10)$$

2.1.4 Estimasi Parameter Model LSTAR dengan Nelder-Mead

Menurut Dijk (1999), salah satu metode yang umum digunakan untuk mengestimasi parameter model *time series* nonlinier adalah *Nonlinear Least Squares* (NLS). Prinsip dasar metode NLS adalah meminimumkan jumlah kuadrat selisih antara nilai observasi dan nilai yang diprediksi oleh model. Parameter model LSTAR pada persamaan (2.4) dapat dinyatakan dalam bentuk vektor sebagai berikut:

$$\boldsymbol{\tau} = (\varphi_{10}, \varphi_{11}, \dots, \varphi_{1p}, \varphi_{20}, \varphi_{21}, \dots, \varphi_{2p}, \gamma, c) \quad (2.11)$$

Estimator parameter $\boldsymbol{\tau}$ dengan metode NLS dinyatakan sebagai berikut:

$$\hat{\boldsymbol{\tau}} = \underset{\boldsymbol{\tau}}{\operatorname{argmin}} M(\boldsymbol{\tau}) \quad (2.12)$$

dengan $M(\boldsymbol{\tau})$ merupakan fungsi objektif yang dinyatakan sebagai:

$$M(\boldsymbol{\tau}) = \sum_{t=p+1}^n (X_t - f(X_{t-1}, \dots, X_{t-p}, \boldsymbol{\tau}))^2 \quad (2.13)$$

dan fungsi $f(X_{t-1}, \dots, X_{t-p}, \boldsymbol{\tau})$ pada model LSTAR dapat dituliskan sebagai:

$$\begin{aligned} f(X_{t-1}, \dots, X_{t-p}, \boldsymbol{\tau}) = & (\varphi_{10} + \varphi_{11}X_{t-1} + \dots + \varphi_{1p}X_{t-p}) \left(1 - \left(\frac{1}{1 + e^{(-\gamma(s_t - c))}} \right) \right) \\ & + (\varphi_{20} + \varphi_{21}X_{t-1} + \dots + \varphi_{2p}X_{t-p}) \left(\frac{1}{1 + e^{(-\gamma(s_t - c))}} \right) \end{aligned} \quad (2.14)$$

Estimasi parameter dengan metode NLS umumnya tidak memiliki solusi analitik, sehingga digunakan metode numerik iteratif, salah satunya adalah algoritma Nelder-Mead (Yonar & Yonar, 2022).

Algoritma Nelder-Mead diperkenalkan oleh John Nelder dan Roger Mead pada tahun 1965 sebagai metode optimasi tanpa menggunakan turunan fungsi (*derivative free method*). Menurut Lagarias dkk. (1998) algoritma ini meminimumkan fungsi objektif secara iteratif melalui pembentukan dan pembaruan simpleks, yaitu bangun geometri dengan $m + 1$ titik dalam ruang berdimensi m . Proses Nelder-Mead dalam meminimumkan fungsi objektif $M(\boldsymbol{\tau})$ dapat dinyatakan sebagai:

$$\min M(\boldsymbol{\tau}), \quad \boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^m \quad (2.15)$$

dengan $\boldsymbol{\tau} = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m)$ merupakan vektor parameter berdimensi m , dan m merupakan jumlah parameter yang diestimasi. Langkah-langkah algoritma Nelder-Mead adalah sebagai berikut (Zitouni, 2023):

1. Bentuk Simpleks Awal

Bentuk simpleks awal yang terdiri dari $m + 1$ titik awal berupa vektor parameter $(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{m+1})$.

2. Evaluasi Fungsi Objektif

Evaluasi fungsi objektif dilakukan dengan mensubstitusikan setiap titik parameter ke dalam fungsi $M(\tau)$, kemudian nilai fungsi tersebut diurutkan dari yang terkecil hingga terbesar:

$$M(\tau_1) \leq M(\tau_2) \leq \dots \leq M(\tau_{m+1}) \quad (2.16)$$

Titik τ_1 disebut titik terbaik (*best point*), sedangkan τ_{m+1} disebut titik terburuk (*worst point*).

3. Hitung Titik Pusat

Hitung titik pusat (*centroid*) τ_0 dari seluruh titik kecuali titik terburuk (τ_{m+1}), dengan menggunakan:

$$\tau_0 = \frac{1}{m} \sum_{z=1}^m \tau_z, \quad z = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.17)$$

Titik pusat menjadi acuan untuk menghasilkan titik refleksi, ekspansi, kontraksi, dan penyusutan.

4. Tahap Refleksi

Tahap refleksi dilakukan untuk menghasilkan titik baru pada sisi berlawanan dari titik terburuk terhadap titik pusat simpleks, dengan tujuan memperoleh nilai fungsi objektif yang lebih kecil. Titik terburuk τ_{m+1} digantikan dengan titik refleksi (τ_r) yang dihitung dengan menggunakan:

$$\tau_r = \tau_0 + \psi(\tau_0 - \tau_{m+1}) \quad (2.18)$$

Nilai τ_r yang diperoleh kemudian disubstitusikan ke dalam $M(\tau)$.

- (1) Jika nilai $M(\tau_1) \leq M(\tau_r) < M(\tau_m)$, maka τ_r diterima sebagai pengganti titik terburuk τ_{m+1} , sehingga simpleks diperbarui. Selanjutnya, proses kembali ke langkah kedua untuk mengevaluasi fungsi objektif pada simpleks yang telah diperbarui.
- (2) Jika $M(\tau_r) < M(\tau_1)$, maka dilakukan ekspansi.
- (3) Jika $M(\tau_r) \geq M(\tau_m)$, maka dilakukan kontraksi.

5. Tahap Ekspansi

Tahap ekspansi bertujuan untuk memperluas area pencarian ketika titik refleksi memberikan hasil yang lebih baik daripada titik terbaik sebelumnya, yaitu ketika $M(\tau_r) < M(\tau_1)$. Persamaan ekspansi dinyatakan sebagai:

$$\tau_e = \tau_0 + \lambda(\tau_r - \tau_0) \quad (2.19)$$

- (1) Jika $M(\tau_e) < M(\tau_r)$, maka $\tau_{m+1} = \tau_e$, lalu kembali ke langkah kedua.
- (2) Jika $M(\tau_e) \geq M(\tau_r)$, maka $\tau_{m+1} = \tau_r$, lalu kembali ke langkah kedua.

6. Tahap Kontraksi

Tahap kontraksi dilakukan untuk mempersempit area pencarian ketika titik refleksi belum memberikan perbaikan. Terdapat dua jenis kontraksi, yaitu:

- a. Kontraksi luar (*outside contraction*) digunakan ketika $M(\tau_m) \leq M(\tau_r) < M(\tau_{m+1})$ dengan rumus:

$$\tau_{oc} = \tau_0 + \delta(\tau_r - \tau_0) \quad (2.20)$$

Jika $M(\tau_{oc}) < M(\tau_r)$, maka $\tau_{m+1} = \tau_{oc}$ lalu kembali ke langkah kedua. Jika sebaliknya, maka dilakukan penyusutan.

- b. Kontraksi dalam (*inside contraction*) digunakan ketika $M(\tau_r) \geq M(\tau_{m+1})$ dengan rumus:

$$\tau_{ic} = \tau_0 + \delta(\tau_{m+1} - \tau_0) \quad (2.21)$$

Jika $M(\tau_{ic}) < M(\tau_{m+1})$, maka $\tau_{m+1} = \tau_{ic}$ lalu kembali ke langkah kedua. Jika sebaliknya, maka dilakukan penyusutan.

7. Tahap Penyusutan (*shrinkage*)

Tahap penyusutan dilakukan ketika langkah sebelumnya gagal memperbaiki nilai fungsi objektif, sehingga seluruh titik simpleks didekatkan ke titik terbaik. Persamaan penyusutan dinyatakan sebagai:

$$\tau_b = \tau_1 + \vartheta(\tau_b^{old} - \tau_1), \quad b = 2, \dots, m+1 \quad (2.22)$$

dimana ψ , λ , δ , dan ϑ merupakan koefisien refleksi, ekspansi, kontraksi, dan penyusutan dengan $\psi > 0$, $\lambda > 1$, $0 < \delta < 1$, dan $0 < \vartheta < 1$. Nilai standar yang biasa digunakan adalah $\psi = 1$, $\lambda = 2$, $\delta = 0,5$, $\vartheta = 0,5$. Menurut Zitouni (2023), Iterasi dalam algoritma Nelder-Mead dilakukan hingga mencapai kriteria konvergensi, yang ditandai dengan ukuran simpleks yang semakin menyusut sehingga titik-titik simpleks saling berdekatan, atau selisih nilai fungsi objektif antar iterasi lebih kecil dari batas toleransi konvergensi relatif. Batas toleransi konvergensi relatif dinyatakan sebagai berikut:

$$batas\ toleransi = reltol \times (|M(\tau_1)| + reltol) \quad (2.23)$$

di mana:

$reltol$: Toleransi konvergensi relatif

$M(\tau_1)$: Nilai fungsi objektif parameter awal

2.1.5 Uji Asumsi

2.1.5.1 Uji Stasioneritas

Menurut Kirchgassner & Wolters (2010), suatu *time series* dikatakan stasioner apabila memiliki nilai rata-rata, varians, serta kovarians yang konstan/tetap dari waktu ke waktu. Uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk menguji stasioneritas data *time series*. Uji ini digunakan untuk mendeteksi keberadaan akar unit (*unit root*) dalam data. Apabila suatu data memiliki akar unit, maka data tersebut tidak stasioner. Menurut Maitra & Politis (2024), persamaan ADF dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta X_t = \varrho + \varsigma t + \phi X_{t-1} + \sum_{h=1}^H a_h \Delta X_{t-h} + \varepsilon_t \quad (2.24)$$

di mana:

- ϱ : Konstanta
- ςt : Koefisien pada komponen tren waktu
- ϕ : Koefisien X_{t-1} pada ADF
- a_h : Koefisien untuk lag *differencing* ke- h , $h = 1, 2, \dots, H$
- H : Jumlah lag *differencing*

Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

H_0 : $\phi = 0$ (data tidak stasioner)

H_1 : $\phi < 0$ (data stasioner)

Uji dilakukan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 5\% = 0,05$ dengan menggunakan statistik uji berikut:

$$t_{statistik} = \frac{\hat{\phi}}{se(\hat{\phi})} \quad (2.25)$$

di mana:

$\hat{\phi}$: Estimasi parameter ϕ

$se(\phi)$: *Standard error* dari estimator $\hat{\phi}$

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $t_{statistik} < t_{kritis(n,\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ yang berarti data stasioner.

Apabila hasil uji ADF menunjukkan bahwa data tidak stasioner, maka perlu dilakukan transformasi agar memenuhi asumsi stasioneritas. Salah satu metode yang umum digunakan adalah *differencing*, yaitu menghitung selisih antara nilai observasi pada periode t dengan periode sebelumnya. Persamaan *differencing* orde d dituliskan sebagai (Nurman dkk., 2022):

$$X_t = \Delta^d Y_t = (1 - B)^d Y_t \quad (2.26)$$

dengan $BY_t = Y_{t-1}$, dimana B merupakan operator *backshift* (pergeseran ke belakang).

2.1.5.2 Uji Linieritas

Uji linieritas dilakukan untuk mengetahui apakah model linier sudah cukup dalam merepresentasikan data *time series* atau diperlukan model nonlinier. Pengujian ini penting sebelum membangun model nonlinier, karena apabila model linier sudah dapat menjelaskan pola data dengan baik, maka penggunaan model nonlinier tidak diperlukan. Menurut Teräsvirta (1994), uji linieritas dapat dilakukan menggunakan metode *Lagrange Multiplier* (LM) dengan pendekatan ekspansi Taylor orde tiga. Berikut merupakan tahapan uji linieritas:

1. Hitung jumlah kuadrat residual dari model AR(p)

Jumlah kuadrat residual (*sum of squared errors*) dari model AR(p)

dihitung menggunakan rumus:

$$SSE_0 = \sum_{t=1}^T \hat{\varepsilon}_t^2 \quad (2.27)$$

di mana:

SSE_0 : Jumlah kuadrat residual model AR(p)

T : Banyaknya residual model AR(p)

2. Bangun regresi bantu (*auxiliary regression*)

Residual model AR(p) diregresikan terhadap hasil ekspansi Taylor orde

tiga dari fungsi transisi, sehingga bentuk regresi bantu adalah sebagai

berikut:

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}_t = & \beta_{00} + \sum_{i=1}^p \beta_{0i} X_{t-i} + \sum_{i=1}^p \beta_{1i} X_{t-i} s_t + \sum_{i=1}^p \beta_{2i} X_{t-i} s_t^2 + \\ & \sum_{i=1}^p \beta_{3i} X_{t-i} s_t^3 + e_t \end{aligned} \quad (2.28)$$

di mana:

β_{00} : Konstanta regresi bantu

$\beta_{0i}, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \beta_{3i}$: Parameter regresi bantu

e_t : Residual regresi bantu

Selanjutnya hitung jumlah residual kuadrat dari regresi bantuan (SSE_1)

tersebut:

$$SSE_1 = \sum_{t=1}^T \hat{e}_t^2 \quad (2.29)$$

3. Uji linieritas

Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

$$H_0 : \beta_{1i} = \beta_{2i} = \beta_{3i} = 0 \text{ (model linier)}$$

$$H_1 : \exists \beta_{ji} \neq 0 \text{ (model nonlinier), } j = 1, 2, 3 \text{ dan } i = 1, 2, \dots, p$$

Uji dilakukan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 5\% = 0,05$ dengan menggunakan statistik uji LM sebagai berikut:

$$LM = TR^2 \quad (2.30)$$

$$\text{dengan } R^2 = \frac{(SSE_0 - SSE_1)}{SSE_0}$$

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $LM > \chi^2_{(3p;\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ yang berarti diperlukan model nonlinier.

2.1.5.3 Identifikasi Model STAR

Identifikasi model STAR dilakukan dengan pengujian bertahap terhadap signifikansi parameter regresi bantu pada persamaan (2.27) untuk menentukan bentuk fungsi transisi $G(s_t; \gamma, c)$. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah model nonlinier yang sesuai mengikuti fungsi transisi *logistic* (LSTAR) atau *exponential* (ESTAR). Berikut merupakan hipotesis yang digunakan:

1. Hipotesis pada tahap pertama:

$$H_0 : \beta_{3i} = 0, \forall i = 1, 2, \dots, p \text{ (tidak mengikuti fungsi transisi } \textit{logistic})$$

$$H_1 : \exists \beta_{3i} \neq 0 \text{ (mengikuti fungsi transisi } \textit{logistic})$$

Jika H_0 ditolak, maka model mengikuti fungsi transisi *logistic* (LSTAR) dan pengujian dihentikan. Namun, jika H_0 gagal ditolak, maka dilanjutkan ke pengujian hipotesis pada tahap kedua.

2. Hipotesis pada tahap kedua:

$$H_0 : \beta_{2i} = 0 \mid \beta_{3i} = 0 \text{ (tidak mengikuti fungsi transisi } exponential)$$

$$H_1 : \exists \beta_{2i} \neq 0 \mid \beta_{3i} = 0 \text{ (mengikuti fungsi transisi } exponential)$$

Jika H_0 ditolak, maka model mengikuti fungsi transisi *exponential* (ESTAR) dan pengujian dihentikan. Namun, jika H_0 gagal ditolak, maka dilanjutkan ke pengujian hipotesis pada tahap ketiga.

3. Hipotesis pada tahap ketiga:

$$H_0 : \beta_{1i} = 0 \mid \beta_{3i} = \beta_{2i} = 0 \text{ (tidak mengikuti fungsi transisi } logistic)$$

$$H_1 : \exists \beta_{1i} \neq 0 \mid \beta_{3i} = \beta_{2i} = 0 \text{ (mengikuti fungsi transisi } logistic)$$

Jika H_0 ditolak, maka model mengikuti fungsi transisi adalah *logistic* (LSTAR).

Uji dilakukan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 5\% = 0,05$ dengan menggunakan statistik uji:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_{ji}}{se(\hat{\beta}_{ji})} \quad (2.31)$$

di mana:

$\hat{\beta}_{ji}$: Estimator koefisien β_{ji}

$se(\hat{\beta}_{ji})$: *Standard error* estimator $\hat{\beta}_{ji}$

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $|t_{hitung}| > t_{(T-u; \alpha/2)}$ atau *p-value* $< \alpha = 0,05$, di mana u merupakan banyaknya parameter regresi bantu.

2.1.5.4 Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi digunakan untuk mengetahui apakah residual model tidak berkorelasi atau memiliki korelasi pada beberapa lag waktu tertentu.

Residual yang mengandung autokorelasi menunjukkan bahwa model belum sepenuhnya mampu menangkap pola yang terdapat dalam data (Saputra & Samsudin, 2025). Salah satu metode yang umum digunakan untuk mendeteksi autokorelasi adalah uji Ljung-Box (Wei, 2006). Hipotesis yang digunakan dalam uji ini adalah:

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_w = 0 \text{ (tidak terdapat autokorelasi antar lag)}$$

$$H_1 : \exists \rho_k \neq 0, k = 1, 2, 3, \dots, w \text{ (terdapat autokorelasi antar lag)}$$

Uji dilakukan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 5\% = 0,05$ dengan menggunakan statistik uji Ljung-Box berikut:

$$Q = N(N + 2) \sum_{k=1}^w \frac{\hat{\rho}_k^2}{N - k} \quad (2.32)$$

di mana:

$\hat{\rho}_k$: Koefisien autokorelasi residual pada *lag* ke- k

N : Banyaknya residual model

w : Banyaknya *lag* maksimum yang diperiksa

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $Q_{hitung} > \chi^2_{(df;\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ yang menunjukkan terdapat autokorelasi pada residual model.

2.1.5.5 Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas digunakan untuk mendeteksi apakah varians residual model bersifat konstan (homoskedastisitas) atau tidak konstan (heteroskedastisitas). Heteroskedastisitas sering muncul dalam bentuk efek ARCH (*Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), yaitu varians residual yang bergantung pada kuadrat residual periode sebelumnya. Heteroskedastisitas

dapat dideteksi menggunakan uji ARCH-LM dengan meregresikan kuadrat dari residual model sebagai berikut (Kresnawati dkk., 2018):

$$\eta_t^2 = \theta_0 + \theta_1 \eta_{t-1}^2 + \theta_2 \eta_{t-2}^2 + \dots + \theta_w \eta_{t-w}^2 + u_t \quad (2.33)$$

di mana:

θ_0 : Konstanta regresi kuadrat residual

$\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_w$: Koefisien regresi untuk lag kuadrat residual

Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini:

H_0 : $\theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_w = 0$ (tidak terdapat heteroskedastisitas)

H_1 : $\exists \theta_k \neq 0$ dengan $k = 1, 2, \dots, w$ (terdapat heteroskedastisitas)

Uji dilakukan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 5\% = 0,05$ dengan menggunakan statistik uji:

$$LM = NR^2 \quad (2.34)$$

$$\text{dengan } R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum_{t=1}^n (\widehat{\eta_t^2} - \overline{\eta^2})^2}{\sum_{t=1}^n (\eta_t^2 - \overline{\eta^2})^2}$$

di mana, R^2 merupakan koefisien determinasi dari regresi

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $LM > \chi_{(w;\alpha)}^2$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ yang menunjukkan residual mengandung heteroskedastis.

2.1.5.6 Uji Normalitas

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah residual dari model mengikuti distribusi normal. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah uji Kolmogorov-Smirnov (Odelia dkk., 2020). Hipotesis yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

H_0 : Residual mengikuti distribusi normal

H_1 : Residual tidak mengikuti distribusi normal

Uji dilakukan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 5\% = 0,05$ dengan menggunakan statistik uji:

$$D = \sup_x |S(x) - F_0(x)| \quad (2.35)$$

di mana:

D : Nilai statistik uji Kolmogorov-Smirnov

$S(x)$: Fungsi distribusi kumulatif dari data residual

$F_0(x)$: Fungsi distribusi kumulatif dari distribusi normal teoritis

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $D_{hitung} > D_{(N;\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ yang berarti residual tidak mengikuti distribusi normal.

2.1.6 Transformasi Data

Mulyani, dkk. (2025) melakukan prediksi menggunakan data yang telah ditransformasi, kemudian mengembalikan hasil prediksi ke skala aslinya melalui proses *inverse* transformasi. Pada penelitian ini, transformasi *differencing* digunakan untuk mencapai asumsi stasioneritas data. Namun, pada tahap evaluasi model, data harus berada pada skala aslinya. Oleh karena itu, data yang berada pada skala *differencing* perlu dikembalikan melalui proses *inverse differencing*. Berikut merupakan bentuk dari *inverse differencing*:

$$Y_t = (1 - B)^{-d} X_t \quad (2.36)$$

2.1.7 Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan untuk mengetahui seberapa baik kemampuan suatu model dalam menghasilkan prediksi terhadap data aktual. Salah satu metode yang umum digunakan dalam mengevaluasi model adalah *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Metode ini sering digunakan karena hasilnya

dinyatakan dalam skala presentase (0 – 100%), sehingga lebih mudah untuk dipahami. Bentuk umum MAPE adalah sebagai berikut (Adhikari & Agrawal, 2013):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Y_t - \hat{Y}_t}{Y_t} \right| \times 100 \% \quad (2.37)$$

di mana $\hat{Y}_t$ merupakan prediksi harga saham pada periode ke- t .

Nilai MAPE yang semakin kecil menunjukkan bahwa model memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam memprediksi nilai aktual. Tingkat akurasi model berdasarkan nilai MAPE dapat diinterpretasikan sebagai berikut (Chang dkk., 2007):

Tabel 2.1 Kriteria Nilai MAPE

Nilai MAPE (%)	Akurasi Model
$MAPE \leq 10\%$	<i>Highly Accurate Forecasting</i> (Sangat Akurat)
$10\% < MAPE \leq 20\%$	<i>Good Forecasting</i> (Akurat)
$20\% < MAPE \leq 50\%$	<i>Reasonable Forecasting</i> (Cukup Akurat)
$MAPE > 50\%$	<i>Inaccurate Forecasting</i> (Tidak Akurat)

2.1.8 Saham PT Telkom Indonesia

Menurut Umar & Savitri (2021) saham merupakan bukti penyertaan modal atau kepemilikan individu maupun lembaga dalam suatu perusahaan. Menurut Ihtisam dkk. (2024), saham adalah surat berharga yang menunjukkan bagian kepemilikan seseorang terhadap suatu perusahaan, sehingga pemegang saham berhak memperoleh dividen serta memiliki hak suara dalam Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS). Saham termasuk salah satu instrumen yang digunakan perusahaan untuk memperoleh modal tambahan, sehingga setiap pihak yang

menanamkan modal menjadi bagian dari pemilik perusahaan (Ismaila dkk., 2025).

Saham PT Telkom Indonesia (Persero) merupakan saham yang tercatat dan diperdagangkan di Bursa Efek Indonesia (BEI) dengan kode “TLKM”, serta di *New York Stock Exchange* (NYSE) dengan kode “TLK” (Erica dkk., 2022). Saham PT Telkom termasuk dalam kategori *Top Active*, yaitu saham yang aktif diperdagangkan di pasar modal (Mihrani, 2015). Rezim yang umum terjadi pada pasar modal adalah *bullish* dan *bearish* (Respati dkk., 2018). Istilah *bullish* dan *bearish* umum digunakan oleh investor untuk menggambarkan kondisi pergerakan saham. *Bullish* menunjukkan tren kenaikan harga saham yang mencerminkan kondisi pasar yang optimis, sedangkan *bearish* menunjukkan tren penurunan harga saham yang mencerminkan kondisi pasar yang pesimis (Martia & Yasmine, 2021).

2.2 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran/Hadits

Investasi dalam Islam termasuk dalam aktivitas ekonomi yang dikenal sebagai *muamalah maliyah*. Landasan utama dalam menjalankan aktivitas ekonomi, termasuk investasi, bersumber dari Al-Qur'an dan hadits (Pardiansyah, 2017). Sebagaimana firman Allah SWT dalam QS. Yusuf [12] ayat 47 sampai 49, yang artinya:

“(Yusuf) berkata, “Bercocoktanamlah kamu tujuh tahun berturut-turut! Kemudian apa yang kamu tuai, biarkanlah di tangkainya, kecuali sedikit untuk kamu makan. Kemudian, sesudah itu akan datang tujuh (tahun) yang sangat sulit (paceklik) yang menghabiskan apa yang kamu simpan untuk menghadapinya, kecuali sedikit dari apa (bibit gandum) yang kamu simpan. Setelah itu akan datang tahun, ketika manusia diberi hujan (dengan cukup) dan pada masa itu mereka memeras (anggur).” (Kemenag, 2022)

Dari sudut pandang ekonomi, ayat di atas mengajarkan pentingnya mengelola harta untuk memenuhi kebutuhan di masa mendatang. Islam menganjurkan agar seseorang tidak menghabiskan seluruh harta yang dimiliki saat ini, melainkan menyisihkan sebagian hartanya sebagai bentuk persiapan di masa mendatang (Berutu, 2020).

Menurut Pardiansyah (2017), hikmah dari ayat tersebut adalah anjuran untuk mengelola harta secara bijak sebagai upaya menghadapi kemungkinan yang akan terjadi di masa mendatang. Manusia hanya dapat memperkirakan apa yang akan terjadi di kemudian hari, sedangkan kepastian sepenuhnya berada dalam pengetahuan Allah SWT. Oleh karena itu, pengelolaan harta yang baik menjadi bagian dari usaha manusia dalam memanfaatkan harta secara bijaksana.

Investasi merupakan salah satu bentuk pengelolaan harta yang bertujuan menjaga nilai aset serta berpotensi meningkatkan nilainya di masa mendatang. Kegiatan investasi, seperti saham, diperbolehkan dalam Islam selama mengikuti prinsip-prinsip syariah. Hal ini sejalan dengan dalil dari Al-Qur'an yang mendorong pengelolaan harta dengan menyimpan sebagian harta untuk bekal di masa mendatang. Dengan demikian, Investasi tidak hanya bertujuan untuk menjaga harta, tetapi juga memberikan manfaat di masa mendatang sesuai dengan ketetapan Allah SWT.

2.3 Kajian Topik dengan Teori Pendukung

Penelitian ini dilandasi oleh beberapa hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penerapan model LSTAR serta metode estimasi Nelder-Mead. Putri dkk. (2017) memodelkan data inflasi menggunakan model LSTAR dan ARIMA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model LSTAR menghasilkan nilai

RMSE sebesar 0,608 dan MSE sebesar 0,780, sedangkan model ARIMA menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,633 dan MSE 0,796. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kedua model memiliki tingkat akurasi yang baik dalam memodelkan data inflasi, dengan model LSTAR menghasilkan nilai kesalahan yang relatif lebih rendah.

Selanjutnya, Nor, dkk. (2015) menggunakan tiga model, yaitu AR, LSTAR, dan ESTAR dalam meramalkan tingkat pengembalian saham *Malaysia Airlines* (MAS). Hasil penelitian menunjukkan nilai RMSE dari model LSTAR sebesar 0,013787, model AR sebesar 0,013901, dan model ESTAR sebesar 0,013789. Perbedaan nilai tersebut relatif kecil, namun menunjukkan bahwa model LSTAR memiliki kemampuan yang baik dalam merepresentasikan data pengembalian saham harian.

Penelitian Odelia dkk., (2020) menggunakan model LSTAR untuk memprediksi harga saham mingguan PT Bank Mandiri (Persero) Tbk pada periode 01 Januari 2019 sampai 30 Desember 2019. Parameter model diestimasi menggunakan metode *Nonlinear Least Squares* (NLS) dengan algoritma Gauss Newton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model LSTAR (1,1) menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan nilai sMAPE sebesar 5,12 %.

Penelitian lain dilakukan oleh Chandra, dkk. (2021) yang menggunakan model LSTAR untuk memodelkan produksi kelapa sawit PT XYZ. Parameter model diestimasi menggunakan metode *Nonlinear Least Squares* (NLS) dengan algoritma Gauss Newton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model LSTAR (4,2) menunjukkan kinerja yang baik dalam memprediksi produksi kelapa sawit PT XYZ dengan nilai MAPE sebesar 17,07 %.

Terdapat beberapa penelitian yang menggunakan algoritma Nelder-Mead dalam proses estimasi parameter model nonlinier, seperti pada penelitian Kumar (2023) yang membandingkan tiga algoritma dalam proses estimasi model sistem dinamik nonlinier. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma Nelder-Mead lebih konsisten dalam mencapai solusi optimal sehingga memiliki kinerja yang baik dibandingkan dengan algoritma lain seperti Levenberg Marquardt dan *iterative gradient based methods*.

Selanjutnya, pada penelitian Yonar & Yonar (2022) estimasi parameter regresi nonlinier menggunakan metode NLS dengan algoritma Nelder-Mead. Pengujian dilakukan pada 20 dataset regresi nonlinier dari *National Institute of Standards and Technology* (NIST) yang memiliki nilai parameter acuan. Salah satu data set yang digunakan adalah dataset Eckerle4 yang memiliki nilai parameter acuan $\beta_0 = 1,554382$, $\beta_1 = 4,088832$ dan $\beta_2 = 451,5412$. Hasil estimasi yang diperoleh menggunakan algoritma Nelder-Mead menunjukkan nilai yang identik dengan nilai acuan, yakni $\beta_0 = 1,554382$, $\beta_1 = 4,088832$ dan $\beta_2 = 451,5412$.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data harga penutupan mingguan saham PT Telkom Indonesia (Persero) yang dianalisis secara statistik. Studi literatur terkait model LSTAR dan algoritma Nelder-Mead menjadi landasan teoritis dalam proses pembentukan model harga saham PT Telkom Indonesia (Persero).

3.2 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *website* investing.com dalam bentuk data harga penutupan mingguan saham PT Telkom Indonesia (Persero). Periode data yang digunakan mulai dari 6 Januari 2019 hingga 26 April 2026. Data dikumpulkan dalam format Excel, kemudian diolah lebih lanjut menggunakan *software* statistik.

3.3 Teknik Analisis Data

Tahapan analisis data dalam memodelkan perubahan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) menggunakan model LSTAR dengan estimasi Nelder-Mead sebagai berikut:

1. Statistik deskriptif data

Menyajikan grafik pergerakan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero).

2. Uji stasioneritas

Stasioneritas data diuji menggunakan statistik uji *Augmented Dickey Fuller* (ADF) pada persamaan (2.25). Jika data belum stasioner, maka dilakukan *differencing* menggunakan persamaan (2.26), kemudian dilakukan uji ADF

kembali hingga data dinyatakan stasioner. Jika data telah stasioner, maka dilanjutkan ke tahap pembagian data.

3. Pembagian data *training* dan data *testing*

Data yang telah stasioner dibagi menjadi dua bagian, yaitu 80% sebagai data *training* dan 20% data *testing*.

4. Identifikasi model *autoregressive*

Identifikasi model dilakukan dengan memilih model yang memiliki nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) terkecil.

5. Estimasi parameter model *autoregressive*

Parameter model $AR(p)$ diestimasi menggunakan metode *Ordinary Least Squares* pada persamaan (2.10).

6. Pembentukan model *autoregressive*

Model $AR(p)$ dibentuk berdasarkan persamaan (2.1) dengan mensubstitusikan nilai hasil estimasi parameter yang diperoleh.

7. Uji linieritas

Uji linieritas dilakukan dengan menghitung jumlah kuadrat residual dari model $AR(p)$ menggunakan persamaan (2.27), kemudian membentuk regresi bantu dan menghitung jumlah kuadrat residualnya menggunakan persamaan (2.29). Selanjutnya, dilakukan pengujian menggunakan statistik uji *Lagrange Multiplier* pada persamaan (2.30). Jika model linier sudah cukup, maka kembali ke data. Namun, jika model nonlinier diperlukan, maka dilanjutkan ke tahap uji transisi.

8. Identifikasi Model STAR

Identifikasi model STAR dilakukan dengan menguji signifikansi parameter regresi bantu secara bertahap menggunakan statistik uji pada persamaan (2.31). Jika tidak mengikuti fungsi transisi *logistic*, maka kembali ke data. Namun, jika mengikuti fungsi transisi *logistic*, maka dilanjutkan ke tahap pembentukan model $LSTAR(p, l)$.

9. Pembentukan model *Logistic Smooth Transition Autoregressive*

Model $LSTAR(p, l)$ dibentuk menggunakan persamaan (2.4) sebagai dasar membangun model.

10. Estimasi parameter model *Logistic Smooth Transition Autoregressive*

Estimasi parameter model LSTAR dilakukan menggunakan metode NLS dengan algoritma Nelder-Mead. Proses estimasi diawali dengan pembentukan simpleks awal, kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai fungsi objektif pada persamaan (2.13), mengurutkan nilai fungsi objektif dari yang terkecil hingga terbesar, serta menghitung titik pusat menggunakan persamaan (2.17). Selanjutnya, iterasi dilakukan melalui tahap refleksi, ekspansi, kontraksi, atau penyusutan hingga mencapai kondisi konvergen, yaitu ketika selisih nilai fungsi objektif lebih kecil dari batas toleransi konvergensi relatif.

11. Uji autokorelasi residual

Uji autokorelasi residual dilakukan menggunakan statistik uji Ljung box pada persamaan (2.32). Jika tidak terdapat autokorelasi, maka dilanjutkan ke uji heteroskedastisitas. Namun, jika residual menunjukkan adanya autokorelasi, maka kembali ke data.

12. Uji heteroskedastisitas

Uji heteroskedastis residual dilakukan menggunakan statistik uji ARCH-LM pada persamaan (2.34). Jika residual bersifat homoskedastis, maka dilanjutkan ke uji normalitas residual. Namun, jika residual bersifat heteroskedastis, maka kembali ke data.

13. Uji Normalitas Residual

Uji normalitas residual dilakukan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov pada persamaan (2.35). Jika residual berdistribusi normal, maka lanjut untuk menyusun model LSTAR. Namun, jika residual tidak berdistribusi normal maka kembali ke data.

14. Model *Logistic Smooth Transition Autoregressive*

Model $LSTAR(p, l)$ dibentuk berdasarkan hasil estimasi parameter yang diperoleh menggunakan metode NLS dengan algoritma Nelder-Mead.

15. Prediksi

Model $LSTAR(p, l)$ digunakan untuk melakukan prediksi pada data *testing*.

16. Transformasi Data

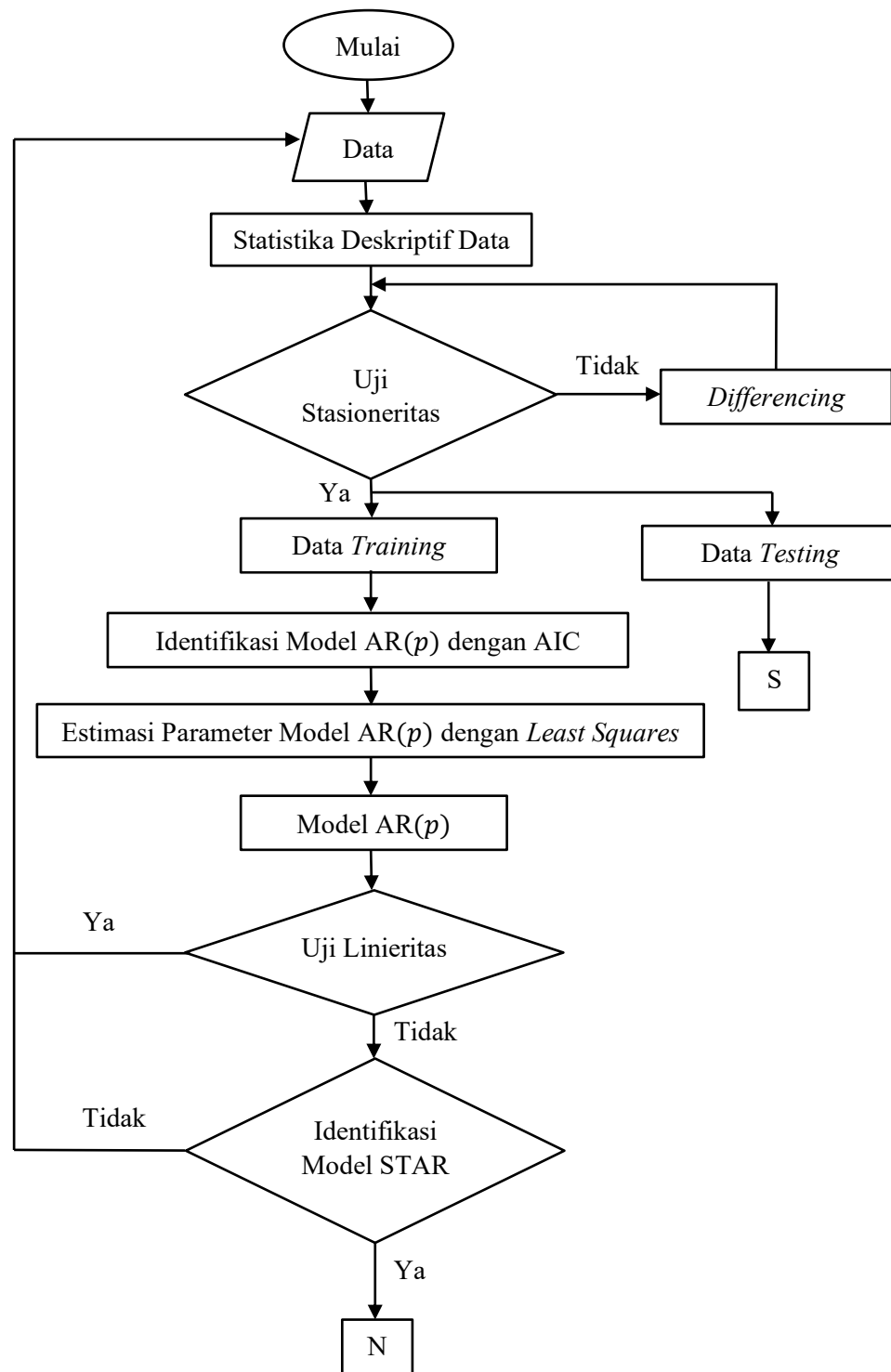
Transformasi data dilakukan menggunakan *inverse differencing* pada persamaan (2.36) untuk memperoleh hasil prediksi dan data *testing* pada skala data asli.

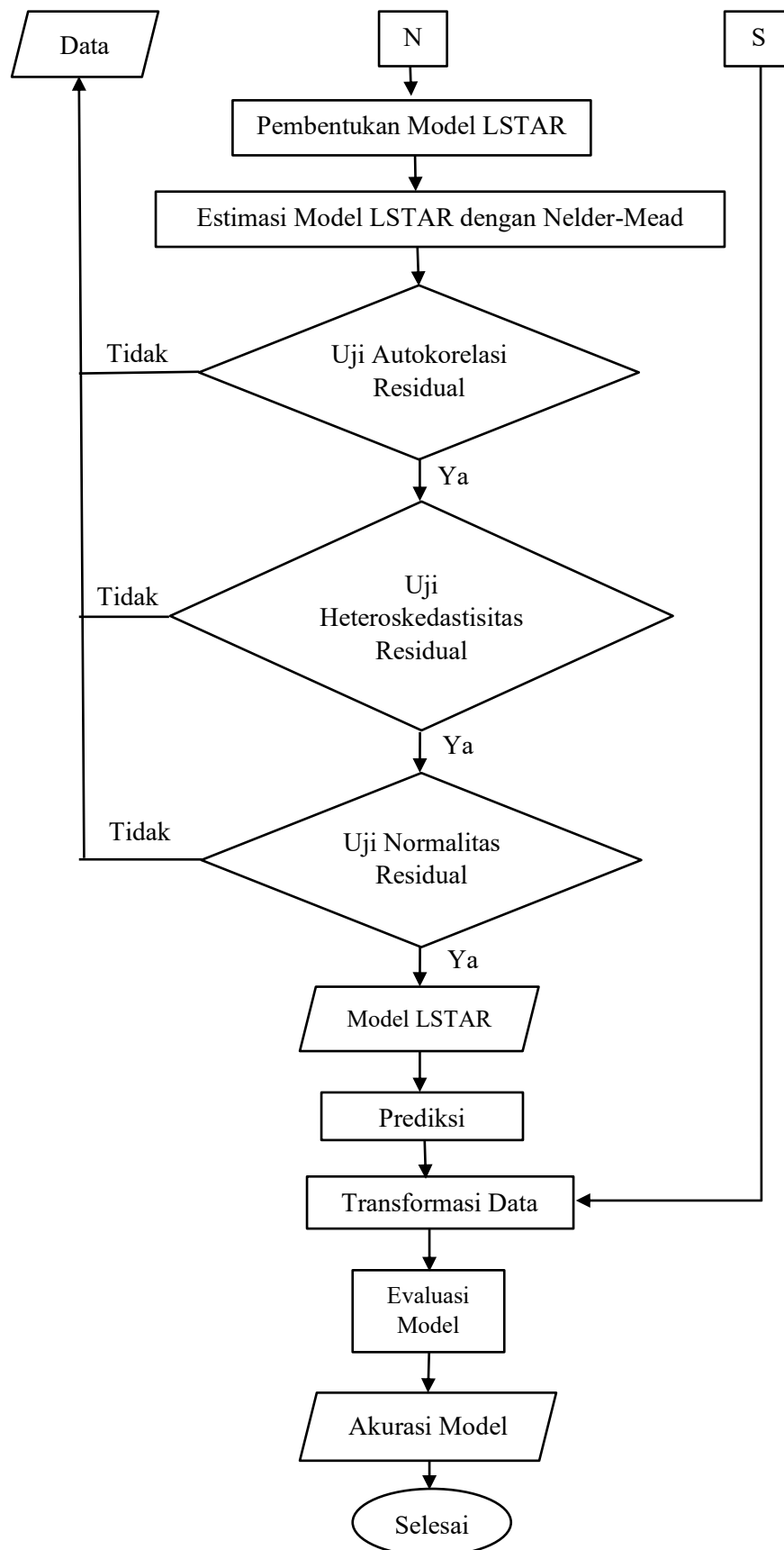
17. Evaluasi model

Evaluasi model dilakukan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada persamaan (2.37).

3.4 Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir (*flowchart*) penelitian ini yang disusun berdasarkan tahapan penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya:





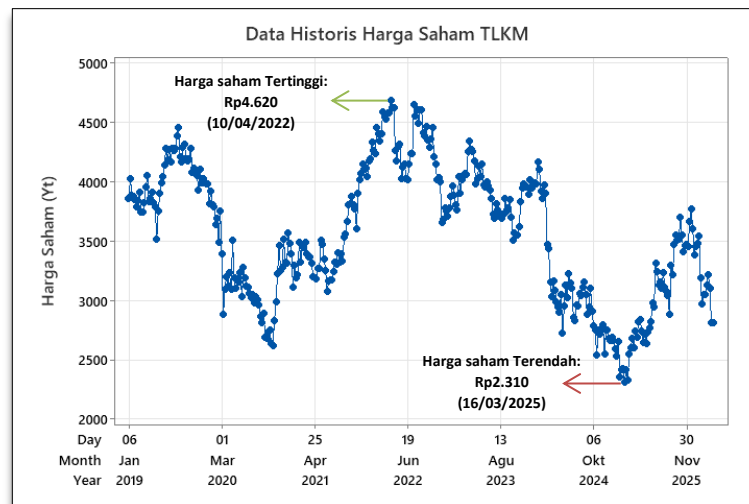
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB VI

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Statistika Deskriptif Data

Statistika deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran umum mengenai data yang digunakan dalam penelitian. Data yang digunakan berupa data harga penutupan mingguan saham PT Telkom Indonesia (Persero) yang diperdagangkan di Bursa Efek Indonesia (BEI) dengan kode saham TLKM. Data tersebut terdiri dari 378 observasi yang mencakup periode 6 Januari 2019 hingga 26 April 2026. Pergerakan harga saham TLKM selama periode observasi disajikan dalam bentuk grafik untuk menggambarkan pola pergerakannya. Berikut merupakan grafik historis harga saham TLKM:



Gambar 4.1 Grafik Pergerakan Harga Saham TLKM

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa pergerakan harga penutupan mingguan saham PT Telkom Indonesia (Persero) pada periode 6 Januari 2019 hingga 26 April 2026 mengalami fluktuasi. Berdasarkan grafik tersebut, harga saham TLKM mencapai nilai tertinggi pada 10 April 2022 sebesar Rp4.620 per lembar saham. Pada periode tersebut, terjadi penguatan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG)

yang disertai dengan tingginya nilai beli bersih (*net buy*) asing pada saham TLKM. Sementara itu, harga terendah saham TLKM terjadi pada 16 Maret 2025, yaitu sebesar Rp2.310 per lembar saham. Penurunan tersebut terjadi pada periode yang bertepatan dengan melemahnya kinerja keuangan perusahaan. Pada kuartal I tahun 2025, laba bersih PT Telkom Indonesia (Persero) tercatat sebesar Rp5,81 triliun, lebih rendah dibandingkan laba bersih kuartal I tahun 2024 sebesar Rp6,05 triliun.

4.2 Uji Stasioneritas

Pengujian stasioneritas dalam penelitian ini dilakukan menggunakan statistik uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) pada persamaan (2.25) untuk memeriksa keberadaan akar unit pada data. Keberadaan akar unit menunjukkan bahwa data belum stasioner. Adapun hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$H_0 : \phi = 0 \text{ (data tidak stasioner)}$$

$$H_1 : \phi < 0 \text{ (data stasioner)}$$

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $t_{statistik} < t_{kritis}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ yang berarti data stasioner. Berikut hasil pengujian stasioneritas pada tingkat level:

Tabel 4.1 Hasil Uji Stasioneritas pada Tingkat Level

Variabel	ADF Statistik	Critical Value 5%	<i>p-value</i>	Keputusan
Harga Saham TLKM (<i>Y</i>)	−1,83874	−2,86926	0,361	Tidak Stasioner

Berdasarkan Tabel 4.1, nilai ADF statistik sebesar −1,83874 lebih besar dari nilai kritis yaitu −2,86926. Selain itu, nilai $p\text{-value} = 0,361$ juga lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa gagal tolak H_0 , sehingga data tidak stasioner. Oleh karena itu, dilakukan transformasi untuk mencapai kondisi stasioner. Transformasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode

differencing pada persamaan (2.26). Pada penelitian ini digunakan *differencing* orde pertama ($d = 1$), sehingga diperoleh:

$$\Delta^1 Y_t = (1 - B)^1 Y_t \quad (4.1)$$

dengan $\Delta^1 Y_t = X_t$, diperoleh:

$$X_t = Y_t - BY_t = Y_t - Y_{t-1} \quad (4.2)$$

Berdasarkan persamaan (4.2) dan data harga saham TLKM pada Lampiran 1, diperoleh:

$$X_2 = Y_2 - Y_1 = 4.020 - 3.860 = 160 \quad (4.3)$$

Hasil perubahan harga saham TLKM yang diperoleh melalui proses *differencing* orde pertama disajikan pada Lampiran 2. Selanjutnya, hasil tersebut diuji kembali menggunakan uji ADF untuk memastikan bahwa data telah stasioner. Berikut merupakan hasil pengujian stasioneritas setelah proses *differencing*:

Tabel 4.2 Hasil Uji Stasioneritas pada Tingkat *Differencing* Orde Pertama

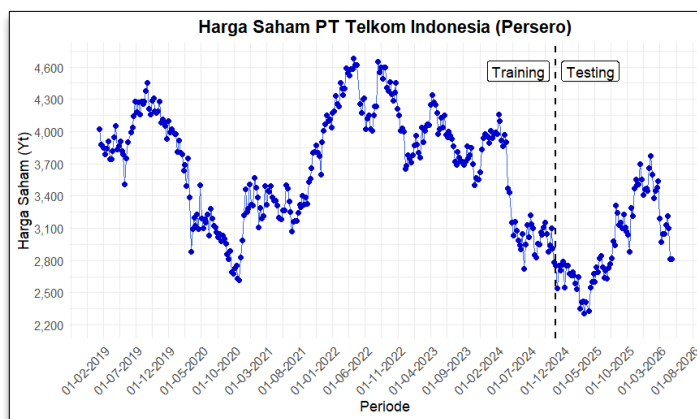
Variabel	ADF Statistik	Critical Value 5%	p-value	Keputusan
Perubahan Harga Saham TLKM (X)	-22,7792	-2,86926	0,000	Stasioner

Berdasarkan Tabel 4.2, nilai statistik ADF sebesar $-22,7792$ lebih kecil dari nilai kritis yaitu $-2,86926$ dan nilai $p\text{-value} = 0,000$ lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tolak H_0 , sehingga dapat disimpulkan bahwa data telah mencapai kondisi stasioner setelah dilakukan *differencing* orde pertama.

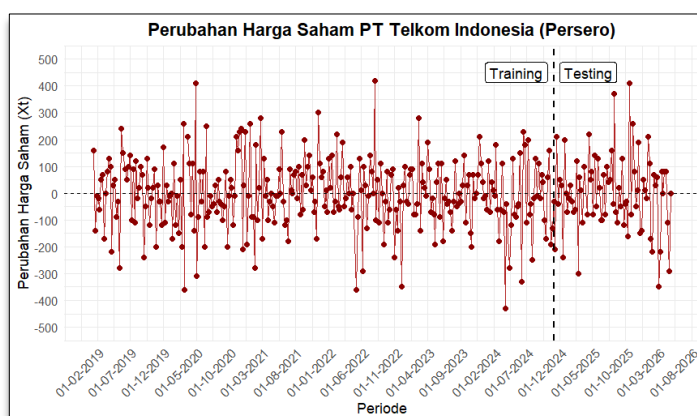
4.3 Identifikasi Model *Autoregressive*

Setelah data dinyatakan stasioner, data selanjutnya dibagi menjadi data *training* dan data *testing*. Pembagian dilakukan berdasarkan urutan waktu dengan proporsi 80% sebagai data *training* yang digunakan untuk pembentukan model dan 20% sebagai data *testing* yang digunakan untuk evaluasi kemampuan prediksi

model. Berikut merupakan grafik data *training* dan data *testing* pada harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) berdasarkan data pada Lampiran 1 serta perubahan harga saham berdasarkan data pada Lampiran 2:



Gambar 4.2 Grafik Data *Training* dan *Testing* Harga Saham TLKM



Gambar 4.3 Grafik Data *Training* dan *Testing* Perubahan Harga Saham TLKM

Berdasarkan Gambar 4.2, data harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) masih menunjukkan pola fluktuatif dengan kecenderungan tren pada periode tertentu. Setelah dilakukan *differencing* orde pertama pada Gambar 4.3, data perubahan harga saham tidak lagi menunjukkan pola tren yang kuat dan cenderung berfluktuasi di sekitar nilai nol. Pola fluktuasi pada data *training* dan data *testing* terlihat relatif serupa. Data *training* terdiri dari 301 observasi pada periode 13 Januari 2019 hingga 3 November 2024, sedangkan data *testing* terdiri dari 76 observasi pada periode 10 November 2024 hingga 26 April 2026.

Identifikasi model pada data *training* dilakukan secara bertahap dengan mencoba beberapa kombinasi orde model $ARIMA(p,d,q)$ dan membandingkan nilai *Akaike Information Criterion* (AIC) pada setiap model. Model terbaik dipilih berdasarkan nilai AIC terkecil. Berikut merupakan kandidat model ARIMA berdasarkan nilai AIC:

Tabel 4.3 Kandidat Model ARIMA Berdasarkan Nilai AIC

Model	AIC
ARIMA(0,1,1)	3.791,295
ARIMA(0,1,2)	3.793,012
ARIMA(0,1,3)	3.791,671
ARIMA(0,1,4)	3.793,701
ARIMA(0,1,5)	3.795,594
ARIMA(1,1,0)	3.792,283
ARIMA(1,1,1)	3.793,190
ARIMA(1,1,2)	3.789,613
ARIMA(1,1,3)	3.793,715
ARIMA(1,1,4)	3.792,145
ARIMA(2,1,0)	3.791,977
ARIMA(2,1,1)	3.790,041
ARIMA(2,1,2)	3.788,811
ARIMA(2,1,3)	<i>Inf</i>
ARIMA(3,1,0)	3.793,005
ARIMA(3,1,1)	3.794,253
ARIMA(3,1,2)	3.790,635
ARIMA(4,1,0)	3.793,685
ARIMA(4,1,1)	3.795,652
ARIMA(5,1,0)	3.795,216

Berdasarkan Tabel 4.3, model ARIMA(2,1,2) dipilih sebagai model terbaik karena memiliki nilai AIC terkecil, yaitu sebesar 3.788,811. Namun, karena penelitian ini berfokus pada pembentukan model *Logistic Smooth Transition Autoregressive* (LSTAR), maka orde *autoregressive* yang digunakan diambil dari komponen AR pada model ARIMA terbaik, yaitu $p = 2$. Model AR(2) berdasarkan pada persamaan (2.1) dapat dituliskan sebagai:

$$X_t = \varphi_0 + \varphi_1 X_{t-1} + \varphi_2 X_{t-2} + \varepsilon_t, \quad t \geq 4 \quad (4.4)$$

4.4 Estimasi Parameter Model *Autoregressive*

Parameter model AR(2) pada persamaan (4.4) diestimasi menggunakan metode *Ordinary Least Squares* (OLS) berdasarkan persamaan (2.10). Berikut merupakan hasil estimasi parameter menggunakan OLS:

Tabel 4.4 Estimasi Parameter Model AR(2)

Parameter	Koefisien
φ_0	-4,739
φ_1	-0,163
φ_2	-0,089

Berdasarkan Tabel 4.4, diperoleh nilai konstanta sebesar -4,739 serta nilai koefisien φ_1 dan φ_2 masing-masing sebesar -0,163 dan -0,089. Selanjutnya, hasil estimasi parameter tersebut disubstitusikan ke dalam model AR(2) pada persamaan (4.4), sehingga diperoleh:

$$X_t = -4,739 - 0,163X_{t-1} - 0,089X_{t-2} + \varepsilon_t, \quad t \geq 4 \quad (4.5)$$

4.5 Uji Linieritas

Uji linieritas dilakukan untuk mengetahui apakah model AR(2) sudah cukup untuk menjelaskan pola pergerakan data atau diperlukan model nonlinier. Tahapan uji linieritas adalah sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah kuadrat residual model AR(2) menggunakan persamaan (2.27) sebagai berikut:

$$SSE_0 = \hat{\varepsilon}_1^2 + \hat{\varepsilon}_2^2 + \cdots + \hat{\varepsilon}_{299}^2 \quad (4.6)$$

Berdasarkan data residual model AR(2) ($\hat{\varepsilon}_t$) pada Lampiran 3, diperoleh:

$$SSE_0 = (-13,80)^2 + (-29,39)^2 + \cdots + (-63,42)^2 = 5.065.766 \quad (4.7)$$

2. Membentuk regresi bantu (*auxiliary regression*) berdasarkan persamaan (2.28) sebagai berikut:

$$\hat{\varepsilon}_t = \beta_{00} + \sum_{i=1}^2 \beta_{0i} X_{t-i} + \sum_{i=1}^2 \beta_{1i} X_{t-i} s_t + \sum_{i=1}^2 \beta_{2i} X_{t-i} s_t^2 + \sum_{i=1}^2 \beta_{3i} X_{t-i} s_t^3 + e_t \quad (4.8)$$

Karena orde model AR yang digunakan adalah $p = 2$, maka *delay* untuk variabel transisi ($s_t = X_{t-l}$) yaitu $l = 1$ dan $l = 2$. Dengan demikian, kandidat variabel transisi yang diuji adalah X_{t-1} dan X_{t-2} . Parameter regresi bantu diestimasi menggunakan metode OLS. Selanjutnya, dihitung jumlah kuadrat residual untuk setiap kandidat variabel transisi. Berdasarkan persamaan (2.29), nilai dari jumlah kuadrat residual regresi bantu untuk variabel transisi X_{t-1} sebagai berikut:

$$SSE_1 = \hat{e}_1^2 + \hat{e}_2^2 + \dots + \hat{e}_{299}^2 \quad (4.9)$$

Berdasarkan data residual model regresi bantu dengan variabel transisi X_{t-1} ($\hat{e}_t$) pada Lampiran 4, diperoleh:

$$SSE_1 = (-35,10)^2 + (-21,69)^2 + \dots + (-71,04)^2 = 4.832.435 \quad (4.10)$$

Perhitungan untuk variabel transisi X_{t-2} dilakukan dengan cara yang sama.

3. Uji linieritas pada penelitian ini menggunakan uji *Lagrange Multiplier* (LM) dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \beta_{1i} = \beta_{2i} = \beta_{3i} = 0 \text{ (model linier)}$$

$$H_1 : \exists \beta_{ji} \neq 0 \text{ (model nonlinier), } j = 1, 2, 3 \text{ dan } i = 1, 2$$

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $LM > \chi_{(3p;\alpha)}^2$

atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ yang berarti diperlukan model nonlinier. Hasil uji linieritas menggunakan uji LM pada persamaan (2.30) sebagai berikut:

Tabel 4.5 Uji Linieritas Model AR(2)

Variabel Transisi	Statistik LM	<i>p-value</i>
X_{t-1}	13,772	0,032
X_{t-2}	9,389	0,153

Berdasarkan Tabel 4.5, variabel transisi dengan *delay* $l = 1$ yaitu X_{t-1} , menghasilkan nilai $LM = 13,772$ dan $p\text{-value} = 0,032$. Pada taraf signifikansi 0,05 dengan orde AR $p = 2$, derajat kebebasan yang digunakan adalah sebesar $3p = 6$, sehingga diperoleh nilai $\chi^2_{(6;0,05)} \approx 12,592$. Nilai LM lebih besar dari nilai $\chi^2_{(6;0,05)}$ dan nilai $p\text{-value}$ lebih kecil dari nilai $\alpha = 0,05$ menunjukkan bahwa H_0 ditolak, sehingga diperlukan model nonlinier. Oleh karena itu, variabel X_{t-1} dipilih sebagai variabel transisi untuk menentukan fungsi transisi yang akan digunakan pada model STAR.

4.6 Identifikasi Model STAR

Setelah uji linieritas menunjukkan bahwa model nonlinier diperlukan, langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi bentuk fungsi transisi model STAR, yaitu apakah mengikuti fungsi *logistic* (LSTAR) atau *exponential* (ESTAR). Penentuan fungsi transisi dilakukan dengan pengujian bertahap terhadap signifikansi parameter regresi bantu. Bentuk regresi bantu pada persamaan (4.8) dengan variabel transisi terpilih $s_t = X_{t-1}$ dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \hat{\varepsilon}_t = & \beta_{00} + \beta_{01}X_{t-1} + \beta_{02}X_{t-2} + \beta_{11}X_{t-1}^2 + \beta_{12}X_{t-1}X_{t-2} + \beta_{21}X_{t-1}^3 + \\ & \beta_{22}X_{t-1}^2X_{t-2} + \beta_{31}X_{t-1}^4 + \beta_{32}X_{t-1}^3X_{t-2} + e_t \end{aligned} \quad (4.11)$$

Pengujian dilakukan menggunakan statistik uji pada persamaan (2.31) dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \beta_{3i} = 0, \forall i = 1, 2 \text{ (tidak mengikuti fungsi transisi } \textit{logistic})$$

$$H_1 : \exists \beta_{3i} \neq 0 \text{ (mengikuti fungsi transisi } \textit{logistic})$$

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $|t_{hitung}| > t_{(T-u;\alpha/2)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$ yang berarti fungsi transisi *logistic* (LSTAR). Apabila nilai $|t_{hitung}| < t_{(T-u;\alpha/2)}$ atau $p\text{-value} > \alpha = 0,05$, maka gagal tolak H_0 dan pengujian dilanjutkan ke hipotesis berikutnya.

Regresi bantu pada persamaan (4.11) bersifat linier terhadap parameter β sehingga estimasi parameter dapat dilakukan menggunakan metode OLS. Berikut merupakan hasil estimasi parameter regresi bantu:

Tabel 4.6 Estimasi Model Regresi Bantu dengan $s_t = X_{t-1}$

Parameter	Koefisien	Std. Error	t_{hitung}	$p\text{-value}$
β_{00}	-3,088	1,001	-0,309	0,758
β_{01}	$-5,743 \times 10^{-2}$	$9,109 \times 10^{-2}$	-0,630	0,529
β_{02}	$3,352 \times 10^{-2}$	$7,414 \times 10^{-2}$	0,452	0,652
β_{11}	$9,156 \times 10^{-4}$	$6,476 \times 10^{-4}$	1,414	0,159
β_{12}	$-4,320 \times 10^{-4}$	$6,325 \times 10^{-4}$	-0,683	0,495
β_{21}	$9,307 \times 10^{-7}$	$1,180 \times 10^{-6}$	0,789	0,431
β_{22}	$-1,245 \times 10^{-6}$	$2,401 \times 10^{-6}$	-0,518	0,605
β_{31}	$-1,047 \times 10^{-8}$	$4,415 \times 10^{-9}$	-2,372	0,018
β_{32}	$1,402 \times 10^{-8}$	$7,815 \times 10^{-9}$	1,793	0,074

Berdasarkan Tabel 4.6, terdapat salah satu parameter β_{3i} yang signifikan, yaitu β_{31} dengan nilai $|t_{hitung}| = 2,372$ dan $p\text{-value} = 0,018$. Pada taraf signifikansi 0,05, dengan $\alpha/2 = 0,025$ dan derajat kebebasan $df = T - u = 299 - 9 = 290$ diperoleh nilai $t_{(290;0,025)} \approx 1,968$. Nilai $|t_{hitung}|$ lebih besar dari nilai $t_{(291;0,025)}$ dan $p\text{-value}$ lebih kecil dari $\alpha = 0,05$ menunjukkan bahwa H_0 ditolak, sehingga fungsi transisi yang sesuai dalam model STAR adalah fungsi *logistic*. Oleh karena itu, pengujian tidak dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Dengan demikian, model yang digunakan adalah *Logistic Smooth Transition Autoregressive* (LSTAR) dengan orde $p = 2$ dan $l = 1$, sesuai dengan model AR(2) dan variabel transisi $s_t = X_{t-1}$. Berdasarkan bentuk umum LSTAR(p,l) pada persamaan (2.4), model LSTAR(2,1) dapat dituliskan sebagai:

$$\begin{aligned}
X_t = & (\varphi_{10} + \varphi_{11}X_{t-1} + \varphi_{12}X_{t-2}) \left(1 - \left(\frac{1}{1 + e^{(-\gamma(X_{t-1}-c))}} \right) \right) \\
& + (\varphi_{20} + \varphi_{21}X_{t-1} + \varphi_{22}X_{t-2}) \left(\frac{1}{1 + e^{(-\gamma(X_{t-1}-c))}} \right) + \eta_t
\end{aligned} \tag{4.12}$$

4.7 Estimasi Parameter Model LSTAR dengan Nelder-Mead

Model LSTAR(2,1) pada persamaan (4.12) diestimasi menggunakan *Nonlinear Least Squares* (NLS) pada persamaan (2.12). Berdasarkan persamaan (2.13) fungsi objektif yang diminimumkan dengan $n = 301$ dan $p = 2$ dinyatakan sebagai berikut:

$$M(\boldsymbol{\tau}) = \sum_{t=2+1}^{301} (X_t - f(X_{t-1}, X_{t-2}, \boldsymbol{\tau}))^2 \tag{4.13}$$

Fungsi model LSTAR(2,1) dinyatakan sebagai:

$$\begin{aligned}
f(X_{t-1}, X_{t-2}, \boldsymbol{\tau}) = & (\varphi_{10} + \varphi_{11}X_{t-1} + \varphi_{12}X_{t-2}) \left(1 - \left(\frac{1}{1 + e^{(-\gamma(X_{t-1}-c))}} \right) \right) \\
& + (\varphi_{20} + \varphi_{21}X_{t-1} + \varphi_{22}X_{t-2}) \left(\frac{1}{1 + e^{(-\gamma(X_{t-1}-c))}} \right)
\end{aligned} \tag{4.14}$$

dengan $\boldsymbol{\tau} = (\varphi_{10}, \varphi_{11}, \varphi_{12}, \varphi_{20}, \varphi_{21}, \varphi_{22}, \gamma, c)$ merupakan vektor parameter yang diestimasi.

Model LSTAR bersifat nonlinier terhadap γ dan c , sehingga solusi NLS tidak dapat diperoleh secara analitik. Oleh karena itu, digunakan metode numerik iteratif Nelder-Mead untuk meminimumkan fungsi objektif $M(\boldsymbol{\tau})$ dengan $\boldsymbol{\tau} \in \mathbb{R}^8$. Metode Nelder-Mead bekerja dengan membentuk simpleks awal yang terdiri atas $8 + 1 = 9$ titik. Berikut merupakan proses iterasi dari algoritma Nelder-Mead:

1. Membentuk Simpleks Awal

Simpleks awal dibentuk sebanyak 9 titik yang berupa vektor parameter $(\boldsymbol{\tau}_1, \boldsymbol{\tau}_2, \dots, \boldsymbol{\tau}_9)$. Titik $\boldsymbol{\tau}_1$ ditentukan berdasarkan nilai awal parameter.

Parameter φ_{10} , φ_{11} , dan φ_{12} diperoleh dari hasil estimasi model AR(2) pada

Tabel 4.5. Sementara itu, parameter φ_{20} , φ_{21} , dan φ_{22} ditentukan dari hasil estimasi AR(2) yang dikalikan dengan konstanta 0,1 untuk memberikan perbedaan awal antar rezim. Selanjutnya, untuk parameter transisi, nilai ambang batas (c) yang berfungsi sebagai batas perpindahan antar rezim ditentukan sebesar -10 berdasarkan median variabel transisi (s_t), yaitu data perubahan harga saham (X_t) pada periode *training*. Adapun nilai parameter pemulusan (γ) ditentukan berdasarkan kebalikan simpangan baku variabel transisi, yaitu $\frac{1}{sd(s_t)}$, untuk menghasilkan fungsi transisi yang relatif halus pada awal proses estimasi. Dengan standar deviasi variabel transisi sebesar 132,6202 diperoleh $\gamma = 0,0075$. Berdasarkan nilai awal tersebut, diperoleh:

$$\tau_1 = (-4,739; -0,163; -0,089; -0,479; -0,016; -0,008; 0,0075; -10)$$

Nilai titik τ_2 hingga τ_9 dibentuk secara otomatis oleh algoritma di sekitar titik awal tersebut.

2. Mengevaluasi Fungsi Objektif

Seluruh titik awal ($\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_9$) disubstitusikan ke dalam fungsi $M(\tau)$ pada persamaan (4.13), kemudian diurutkan dari nilai terkecil hingga terbesar, sebagai berikut:

$$M(\tau_1) \leq M(\tau_2) \leq \dots \leq M(\tau_9) \quad (4.15)$$

Titik τ_1 disebut titik terbaik (*best point*) dan τ_9 disebut titik terburuk (*worst point*).

3. Menghitung Titik Pusat

Menghitung titik pusat dari seluruh titik kecuali titik terburuk (τ_9), dengan menggunakan persamaan (2.17) sebagai berikut:

$$\tau_0 = \frac{1}{8}(\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6 + \tau_7 + \tau_8) \quad (4.16)$$

4. Tahap Refleksi

Titik terburuk (τ_9) digantikan dengan titik refleksi (τ_r) yang dihitung menggunakan persamaan (2.18) dengan $\psi = 1$ sebagai berikut:

$$\tau_r = \tau_0 + (\tau_0 - \tau_9) \quad (4.17)$$

Nilai τ_r yang diperoleh kemudian disubstitusikan ke dalam fungsi $M(\tau)$.

- (1) Jika nilai $M(\tau_1) \leq M(\tau_r) < M(\tau_8)$, maka τ_r diterima sebagai pengganti titik terburuk τ_9 , sehingga simpleks diperbarui. Selanjutnya, proses kembali ke langkah kedua untuk mengevaluasi fungsi objektif pada simpleks yang telah diperbarui.
- (2) Jika $M(\tau_r) < M(\tau_1)$, maka dilakukan ekspansi.
- (3) Jika $M(\tau_r) \geq M(\tau_8)$, maka dilakukan kontraksi.

5. Tahap Ekspansi

Jika titik refleksi menghasilkan $M(\tau_r) < M(\tau_1)$, maka dilakukan ekspansi menggunakan persamaan (2.19) dengan $\lambda = 2$ sebagai berikut:

$$\tau_e = \tau_0 + 2(\tau_r - \tau_0) \quad (4.18)$$

- (1) Jika $M(\tau_e) < M(\tau_r)$, maka $\tau_9 = \tau_e$, dan kembali ke langkah kedua.
- (2) Jika $M(\tau_e) \geq M(\tau_r)$, maka $\tau_9 = \tau_r$, dan kembali ke langkah kedua.

6. Tahap Kontraksi

Jika $M(\tau_r) \geq M(\tau_8)$, maka dilakukan kontraksi untuk memperkecil area pencarian. Ada dua jenis kontraksi, yaitu:

- a. Kontraksi luar (*outside contraction*) digunakan ketika $M(\tau_8) \leq M(\tau_r) < M(\tau_9)$ menggunakan persamaan (2.20) dengan $\delta = 0.5$ sebagai berikut:

$$\tau_{oc} = \tau_0 + 0.5 (\tau_r - \tau_0) \quad (4.19)$$

Jika $M(\tau_{oc}) < M(\tau_r)$, maka $\tau_9 = \tau_{oc}$ lalu kembali ke langkah kedua.

Jika sebaliknya, maka dilakukan penyusutan.

- b. Kontraksi dalam (*inside contraction*) digunakan ketika $M(\tau_r) \geq M(\tau_9)$ menggunakan persamaan (2.21) dengan $\delta = 0.5$ sebagai berikut:

$$\tau_{ic} = \tau_0 + 0.5 (\tau_9 - \tau_0) \quad (4.20)$$

Jika $M(\tau_{ic}) < M(\tau_9)$, maka $\tau_9 = \tau_{ic}$ lalu kembali ke langkah kedua.

Jika sebaliknya, maka dilakukan penyusutan.

7. Tahap Penyusutan (*shrinkage*)

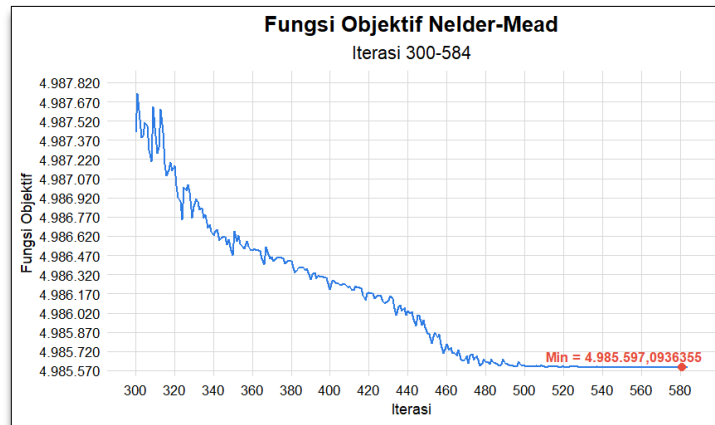
Jika semua tahap sebelumnya tidak menghasilkan perbaikan nilai fungsi objektif, maka dilakukan penyusutan menggunakan persamaan (2.22) dengan $\vartheta = 0.5$ sebagai berikut:

$$\tau_b = \tau_1 + 0.5 (\tau_b^{old} - \tau_1), \quad b = 2, 3, \dots, 9 \quad (4.21)$$

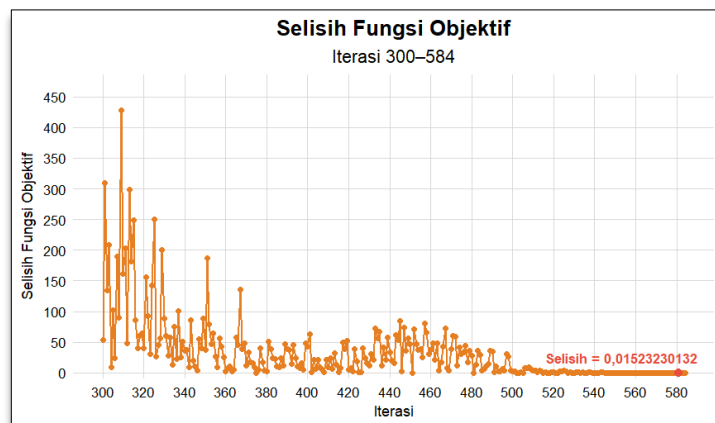
Proses iterasi Nelder-Mead dilakukan hingga mencapai kondisi konvergen, yaitu ketika selisih nilai fungsi objektif antar iterasi lebih kecil dari batas toleransi konvergensi relatif. Berdasarkan persamaan (2.23), dengan toleransi konvergensi relatif sebesar 10^{-8} dan nilai $M(\tau_1) = 5.133.680,0395$ pada Lampiran 5, diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{batas toleransi} &= 10^{-8} \times (|5.133.680,0395| + 10^{-8}) \\ &\approx 0,05133680 \end{aligned} \quad (4.22)$$

Nilai dan selisih fungsi objektif selama proses iterasi disajikan pada Lampiran 5, sedangkan visualisasi nilai dan selisih fungsi objektif pada iterasi ke-300 hingga iterasi ke-584 disajikan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.4 Grafik Fungsi Objektif Nelder-Mead pada Iterasi 300-584



Gambar 4.5 Selisih Fungsi Objektif pada Iterasi 300-584

Berdasarkan Gambar 4.4, nilai fungsi objektif mengalami penurunan secara bertahap. Pada iterasi ke-544 hingga iterasi ke-584, titik-titik simpleks mulai berdekatan yang ditandai dengan nilai fungsi objektif yang relatif sama, dengan nilai minimum pada iterasi ke-581 sebesar 4.985.597,09364. Selanjutnya, berdasarkan Gambar 4.5, selisih nilai fungsi objektif pada iterasi ke-581 sebesar 0,01523230 lebih kecil dari batas toleransi konvergensi sebesar 0,05133680. Hal

ini menunjukkan bahwa proses iterasi telah mencapai kondisi konvergen. Nilai parameter yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 4.7 Hasil Estimasi Parameter Model LSTAR(2,1)

Parameter	Koefisien
Rezim 1 (Rezim <i>Bearish</i>)	
φ_{10}	-19,364
φ_{11}	-0,194
φ_{12}	-0,087
Rezim 2 (Rezim <i>Bullish</i>)	
φ_{20}	20,616
φ_{21}	-0,367
φ_{22}	-0,080
Parameter Transisi	
γ	2,833
c	-24,822

Berdasarkan Tabel 4.7, model LSTAR(2,1) menunjukkan adanya dua rezim. Pada rezim pertama diperoleh nilai konstanta sebesar -19,364 menunjukkan kecenderungan penurunan pada perubahan harga saham. Nilai koefisien lag X_{t-1} dan lag X_{t-2} masing-masing sebesar -0,194 dan -0,087 menunjukkan bahwa perubahan harga pada periode sebelumnya masih memberikan pengaruh terhadap penurunan tersebut. Dengan demikian, rezim pertama mencerminkan kondisi pasar yang cenderung melemah atau *bearish*.

Sementara itu, pada rezim kedua diperoleh nilai konstanta sebesar 20,616 menunjukkan kecenderungan peningkatan pada perubahan harga saham. Nilai koefisien lag X_{t-1} dan X_{t-2} masing-masing sebesar -0,367 dan -0,080 menunjukkan adanya koreksi atau penyesuaian dari periode sebelumnya. Dengan demikian, rezim kedua mencerminkan kondisi pasar yang cenderung menguat atau *bullish* meskipun disertai efek koreksi.

Proses perpindahan antar rezim dikendalikan oleh fungsi transisi $G(s_t; \gamma, c)$ yang bergantung pada variabel transisi $s_t = X_{t-1}$ dengan nilai parameter γ sebesar

2,833 dan parameter c sebesar $-24,822$. Parameter γ merupakan parameter pemuluan yang mengatur kecepatan perpindahan antar rezim, sedangkan parameter c merupakan nilai ambang batas yang menentukan perpindahan antar rezim. Apabila $X_{t-1} < -24,822$, maka perubahan harga saham cenderung berada pada rezim pertama (*bearish*). Sebaliknya, apabila $X_{t-1} > -24,822$, maka perubahan harga saham cenderung berada pada rezim kedua (*bullish*).

Hasil estimasi parameter pada Tabel 4.7 disubstitusikan ke dalam persamaan (4.12), sehingga diperoleh model sebagai berikut:

$$X_t = (-19,364 - 0,194X_{t-1} - 0,087X_{t-2}) \left(1 - \left(\frac{1}{1 + e^{(-2,833(X_{t-1} + 24,822))}} \right) \right) + (20,616 - 0,367X_{t-1} - 0,080X_{t-2}) \left(\frac{1}{1 + e^{(-2,833(X_{t-1} + 24,822))}} \right) + \eta_t \quad (4.23)$$

4.8 Uji Asumsi Residual

Setelah diperoleh model LSTAR(2,1), selanjutnya dilakukan pengujian terhadap residual model. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model yang diperoleh memenuhi asumsi dalam *time series*. Berikut beberapa pengujian terhadap residual model LSTAR(2,1):

4.8.1 Uji Autokorelasi Residual

Uji autokorelasi dilakukan untuk memeriksa apakah residual model tidak berkorelasi atau masih menunjukkan korelasi pada beberapa lag waktu tertentu. Pengujian autokorelasi residual dilakukan menggunakan uji Ljung-Box pada persamaan (2.32) dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_{18} = 0 \text{ (tidak terdapat autokorelasi antar lag)}$$

$$H_1 : \exists \rho_k \neq 0, k = 1, 2, 3, \dots, 18 \text{ (terdapat autokorelasi antar lag)}$$

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $Q_{hitung} > \chi^2_{(df;\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$, yang menunjukkan bahwa terdapat autokorelasi pada residual model. Berikut merupakan hasil uji autokorelasi:

Tabel 4.8 Hasil Uji Autokorelasi Residual

Lag	Q_{hitung}	$\chi^2_{(df;0,05)}$	$p\text{-value}$
1	0,0007	3,481	0,9784
2	0,0596	5,591	0,9706
3	1,4477	7,815	0,6944
4	2,4601	9,488	0,6518
5	2,4847	11,070	0,7788
6	7,6736	12,592	0,2630
7	9,7031	14,017	0,2060
8	9,8856	15,507	0,2731
9	9,9211	16,919	0,3569
10	10,2324	18,307	0,4203
11	12,6087	19,675	0,3197
12	13,0830	21,026	0,3630
13	13,1962	22,368	0,4328
14	14,1329	23,685	0,4399
15	14,6968	24,996	0,4735
16	17,9370	26,296	0,3276
17	18,3087	27,587	0,3696
18	20,7613	28,869	0,2916

Berdasarkan Tabel 4.8, seluruh nilai Q_{hitung} pada lag pertama hingga lag ke-18 lebih kecil dari nilai $\chi^2_{(df;0,05)}$ dan seluruh nilai $p\text{-value}$ lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa gagal tolak H_0 , yang berarti tidak terdapat autokorelasi di dalam residual model LSTAR(2,1).

4.8.2 Uji Heteroskedastisitas Residual

Uji heteroskedastisitas digunakan untuk memeriksa apakah varians residual model bersifat konstan (homoskedastisitas) atau tidak konstan (heteroskedastisitas). Pengujian heteroskedastisitas dilakukan menggunakan uji ARCH-LM pada persamaan (2.34) dengan hipotesis uji sebagai berikut:

$H_0 : \theta_1 = \theta_2 = \dots = \theta_{18} = 0$ (tidak terdapat heteroskedastisitas)

$H_1 : \exists \theta_k \neq 0$ dengan $k = 1, 2, 3, \dots, 18$ (terdapat heteroskedastisitas)

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $LM > \chi^2_{(w;\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$, yang menunjukkan bahwa residual mengandung heteroskedastis. Berikut merupakan hasil uji heteroskedastisitas:

Tabel 4.9 Hasil Uji Heteroskedastisitas Residual LSTAR(2,1)

LM	<i>p-value</i>
17,70	0,480

Berdasarkan Tabel 4.9, diperoleh nilai $LM = 17,70$ dan nilai $p\text{-value} = 0,480$. Pada taraf signifikansi 0,05 dan jumlah maksimum lag yang diperiksa $w = 18$ diperoleh nilai $\chi^2_{(18;0,05)} = 28,869$. Nilai LM lebih kecil dari nilai $\chi^2_{(18;0,05)}$ dan nilai $p\text{-value}$ lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Hasil tersebut menunjukkan gagal tolak H_0 , sehingga dapat disimpulkan residual dari model LSTAR(2,1) tidak mengandung heteroskedastisitas.

4.8.3 Uji Normalitas Residual

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah residual model LSTAR(2,1) mengikuti distribusi normal. Pengujian normalitas residual dilakukan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov pada persamaan (2.35) dengan hipotesis sebagai berikut:

H_0 : Residual mengikuti distribusi normal

H_1 : Residual tidak mengikuti distribusi normal

Kriteria pengambilan keputusan yaitu tolak H_0 apabila nilai $D_{hitung} > D_{(N;\alpha)}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 0,05$, yang berarti residual tidak mengikuti distribusi normal.

Berikut merupakan hasil uji normalitas residual:

Tabel 4.10 Hasil Uji Normalitas Residual LSTAR(2,1)

D_{hitung}	$p-value$
0,058	0,270

Berdasarkan Tabel 4.10, diperoleh nilai $D_{hitung} = 0,058$ dan $p-value = 0,270$.

Pada taraf signifikansi 0,05 dengan $N = 299$, nilai kritis uji Kolmogorov–

Smirnov diperoleh menggunakan pendekatan $D_{tabel} = \frac{1,35}{\sqrt{N}}$ diperoleh nilai

$D_{(299;0,05)} = 0,078$. Nilai D_{hitung} lebih kecil dari nilai $D_{(299;0,05)}$ dan $p-value$

lebih besar dari nilai $\alpha = 0,05$ menunjukkan bahwa gagal tolak H_0 , yang berarti

residual model LSTAR(2,1) berdistribusi normal.

4.9 Prediksi dan Transformasi

Setelah seluruh uji asumsi residual terpenuhi, model LSTAR(2,1) pada persamaan (4.23) digunakan untuk memprediksi harga saham PT Telkom Indonesia (Persero). Model tersebut dibangun menggunakan data yang telah melalui proses *differencing* orde pertama, sehingga hasil prediksi berada pada skala perubahan harga saham (X). Untuk memprediksi observasi ke-303, digunakan dua nilai perubahan harga saham pada periode sebelumnya, yaitu $X_{301} = -130$ dan $X_{302} = -30$. Perhitungan untuk prediksi observasi ke-303 sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \hat{X}_{303} &= (-19,364 - 0,194(-30) - 0,087(-130)) \left(1 - \left(\frac{1}{1 + e^{(-2,833(-30+24,822))}} \right) \right) \\
 &\quad + (20,616 - 0,367(-30) - 0,080(-130)) \left(\frac{1}{1 + e^{(-2,833(-30+24,822))}} \right) \quad (4.24) \\
 &= -2,2837(1 - 0,00000043) + 42,030(0,00000043) \\
 &\approx -2,284
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai prediksi perubahan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) sebesar $-2,284$ untuk periode 10 November 2024. Selanjutnya, prediksi untuk $\hat{X}_{304}$ hingga $\hat{X}_{378}$ dihitung dengan cara yang sama dan hasil perhitungannya disajikan pada Lampiran 6.

Hasil prediksi yang diperoleh masih dalam skala perubahan harga saham, sehingga perlu dilakukan *inverse differencing* menggunakan persamaan (2.36) untuk memperoleh nilai prediksi pada skala harga saham asli. Orde *differencing* yang digunakan adalah satu ($d = 1$), maka bentuk *inverse differencing* adalah:

$$Y_t = X_t + Y_{t-1} \quad (4.25)$$

Proses *inverse differencing* membutuhkan nilai terakhir dari data *training* yaitu Y_{302} . Oleh karena itu, dilakukan *inverse differencing* data *training* sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y_2 &= X_2 + Y_1 = 160 + 3.860 = 4.020 \\ &\vdots \end{aligned} \quad (4.26)$$

$$Y_{302} = X_{302} + Y_{301} = -30 + 2.780 = 2.750$$

Nilai terakhir data *training* yang diperoleh adalah $Y_{302} = 2.750$. Nilai tersebut digunakan untuk menghitung *inverse differencing* data prediksi sebagai berikut:

$$\hat{Y}_{303} = \hat{X}_{303} + Y_{302} = -2,284 + 2.750 \approx 2.748 \quad (4.27)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh nilai prediksi harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) pada 10 November 2024 sebesar Rp2.748. Perhitungan untuk $\hat{Y}_{304}$ hingga $\hat{Y}_{378}$ dilakukan dengan cara yang sama.

Pada proses evaluasi model, data *testing* harus berada pada skala harga saham asli. Oleh karena itu, dilakukan *inverse differencing* data *testing* sebagai berikut:

$$Y_{303} = X_{303} + Y_{302} = -210 + 2.750 = 2.540 \quad (4.28)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh nilai aktual harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) pada 10 November 2024 sebesar Rp2.540. Perhitungan untuk Y_{303} hingga Y_{378} dilakukan dengan cara yang sama.

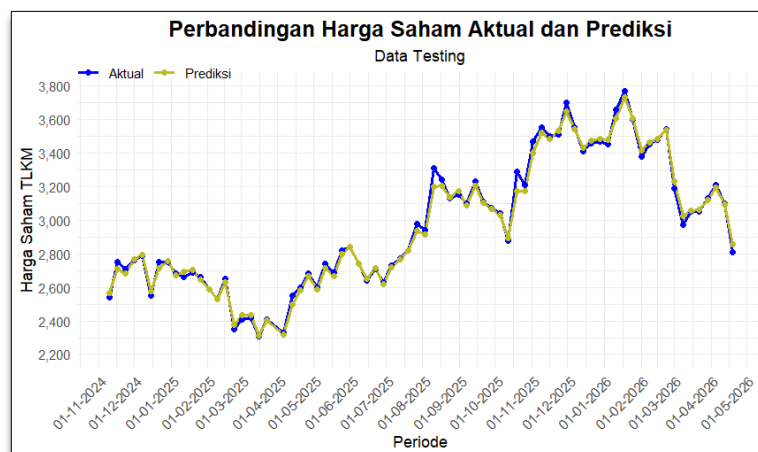
4.10 Evaluasi Model

Model dievaluasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada persamaan (2.37). MAPE digunakan untuk mengukur rata-rata persentase kesalahan antara data aktual pada periode *testing* dan hasil prediksi pada skala harga saham asli. Hasil prediksi menunjukkan adanya keterlambatan satu periode (*one step behind*), yaitu prediksi cenderung mengikuti pola data aktual pada periode sebelumnya. Oleh karena itu, dilakukan pergeseran satu periode pada hasil prediksi untuk mengevaluasi kesesuaian pola pergerakan antara data aktual dan hasil prediksi. Pergeseran tersebut menyebabkan nilai aktual pada periode terakhir tidak memiliki nilai prediksi pembandingan, sehingga perhitungan MAPE dilakukan pada 75 observasi. Berdasarkan data pada Lampiran 7, diperoleh nilai MAPE sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 MAPE &= \left(\frac{1}{75} \left(\left| \frac{2.540 - 2.564}{2.540} \right| + \dots + \left| \frac{3.100 - 2.856}{3.100} \right| \right) \right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{1}{75} (0,0094 + \dots + 0,0165) \right) \times 100\% \quad (4.29) \\
 &= 0,0072 \times 100\% \\
 &= 0,72\%
 \end{aligned}$$

Model LSTAR(2,1) menghasilkan nilai MAPE sebesar 0,72%. Berdasarkan kriteria nilai MAPE pada Tabel 2.2, nilai tersebut termasuk dalam kategori *highly accurate forecasting* karena berada di bawah 10%, sehingga menunjukkan bahwa model tersebut memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam memprediksi harga saham PT Telkom Indonesia (Persero).

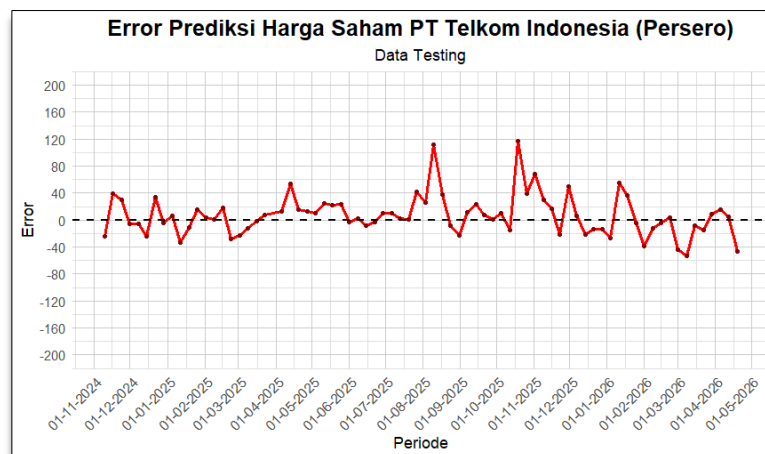
Berikut merupakan grafik perbandingan antara data aktual dan hasil prediksi harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) pada periode *testing* berdasarkan data pada Lampiran 7:



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Data Aktual dan Prediksi Harga Saham TLKM

Berdasarkan Gambar 4.6, hasil prediksi model LSTAR(2,1) mampu mengikuti pola pergerakan data aktual pada periode testing. Hasil prediksi menunjukkan arah pergerakan yang sama dengan data aktual, baik saat terjadi kenaikan maupun penurunan harga saham. Namun, pada beberapa periode masih terdapat selisih antara nilai aktual dan hasil prediksi, terutama saat terjadi fluktuasi harga yang cukup tajam. Meskipun demikian, kedekatan pola antara hasil prediksi dan data aktual menunjukkan bahwa model LSTAR(2,1) mampu menangkap pola umum pergerakan harga saham TLKM.

Berikut merupakan grafik *error* prediksi yang menunjukkan selisih antara nilai aktual dan hasil prediksi harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) pada periode *testing* berdasarkan data pada Lampiran 8:



Gambar 4.7 Grafik *Error* Prediksi Harga Saham TLKM

Berdasarkan Gambar 4.7, nilai *error* prediksi pada periode *testing* berfluktuasi di sekitar garis nol tanpa menunjukkan pola tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa hasil prediksi model LSTAR(2,1) secara umum sudah cukup mendekati data aktual. Pada beberapa periode terlihat adanya lonjakan *error* ke arah positif maupun negatif, terutama saat terjadi fluktuasi harga yang cukup tajam. Meskipun demikian, penyebaran *error* yang berada di sekitar nol menunjukkan bahwa model LSTAR(2,1) mampu menghasilkan prediksi yang baik terhadap pergerakan harga saham TLKM.

4.11 Kajian Integrasi Penelitian dalam Islam

Penelitian ini membahas penerapan model *Logistic Smooth Transition Autoregressive* (LSTAR) dengan estimasi Nelder-Mead pada data harga saham PT Telkom Indonesia (Persero). Model LSTAR digunakan untuk memodelkan pola pergerakan harga saham sehingga diperoleh bentuk model yang sesuai dengan karakteristik data. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan nilai akurasi model sebagai ukuran kemampuan model dalam merepresentasikan pergerakan data harga saham.

Dalam sudut pandang Islam, aktivitas investasi seperti saham termasuk dalam kegiatan *muamalah maliyah* yang diperbolehkan selama tidak mengandung unsur yang merugikan seperti *maysir* (perjudian), *riba*, dan *gharar* (ketidakjelasan). Islam mendorong umatnya untuk mengelola harta secara bijaksana agar dapat memberikan manfaat pada masa sekarang maupun pada masa mendatang. Prinsip tersebut sejalan dengan firman Allah SWT dalam QS. Yusuf [12] ayat 47 sampai 49 yang menjelaskan tentang anjuran untuk mempersiapkan masa depan dengan menyimpan sebagian hasil yang diperoleh pada masa yang baik untuk menghadapi masa yang sulit. Ayat tersebut menggambarkan pentingnya perencanaan dan pengelolaan sumber daya secara bijak sebagai bentuk usaha manusia dalam menghadapi ketidakpastian di masa mendatang.

Dalam penelitian ini, nilai akurasi model LSTAR berada pada kategori sangat baik, sehingga menunjukkan bahwa model yang diperoleh mampu merepresentasikan pola pergerakan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero). Model tersebut dapat digunakan sebagai alat bantu untuk memahami pergerakan harga saham. Dalam sudut pandang Islam, segala sesuatu yang terjadi di masa mendatang tetap berada dalam kehendak Allah SWT. Oleh karena itu, penerapan model LSTAR dalam penelitian ini dapat dipandang sebagai bentuk ikhtiar (usaha) manusia dalam memanfaatkan ilmu pengetahuan untuk memahami pola pergerakan harga saham. Prinsip ini sejalan dengan ajaran Islam yang mendorong umatnya untuk mengelola harta secara bijaksana serta menghindari tindakan yang bersifat dugaan yang tidak didasarkan pada pengetahuan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rumusan masalah dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Bentuk model LSTAR(2,1) perubahan harga saham PT Telkom Indonesia (Persero) yang diestimasi menggunakan metode Nelder-Mead adalah:

$$X_t = (-19,364 - 0,194X_{t-1} - 0,087X_{t-2}) \left(1 - \left(\frac{1}{1 + e^{(-2,833(X_{t-1} + 24,822))}} \right) \right) + (20,616 - 0,367X_{t-1} - 0,080X_{t-2}) \left(\frac{1}{1 + e^{(-2,833(X_{t-1} + 24,822))}} \right) + \eta_t$$

Model LSTAR(2,1) tersebut terdiri atas dua rezim, yaitu rezim pertama (*bearish*) dan rezim kedua (*bullish*). Pada rezim pertama, konstanta bernilai $-19,364$ dengan koefisien X_{t-1} dan X_{t-2} masing-masing sebesar $-0,194$ dan $-0,087$. Sementara itu, pada rezim kedua, konstanta bernilai $20,616$ dengan koefisien X_{t-1} dan X_{t-2} masing-masing sebesar $-0,367$ dan $-0,080$. Koefisien pada kedua rezim tersebut menunjukkan bahwa perubahan harga saham mingguan dipengaruhi oleh perubahan harga saham satu minggu sebelumnya (X_{t-1}) dan dua minggu sebelumnya (X_{t-2}).

Perpindahan antar rezim dipengaruhi oleh perubahan harga saham pada satu minggu sebelumnya (X_{t-1}) melalui fungsi transisi logistik dengan parameter pemuluan (γ) sebesar $2,833$ yang menunjukkan kecepatan perpindahan antar rezim dan nilai ambang batas (c) sebesar $-24,822$. Ketika nilai X_{t-1} berada di bawah nilai ambang batas, perubahan harga saham cenderung berada pada rezim pertama (*bearish*). Sebaliknya, ketika nilai X_{t-1} berada di

atas nilai ambang batas, perubahan harga saham cenderung berada pada rezim kedua (*bullish*).

2. Nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang diperoleh adalah 0,72% menunjukkan bahwa model LSTAR(2,1) dengan estimasi Nelder-Mead memiliki tingkat akurasi yang sangat baik dalam memprediksi harga saham PT Telkom Indonesia (Persero).

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan variabel eksternal, seperti seperti inflasi, suku bunga, nilai tukar, atau indeks pasar saham lainnya untuk meningkatkan kemampuan model dalam menangkap pergerakan harga saham.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, R., & Agrawal, R. . (2013). An Introductory Study on Time Series Modeling and Forecasting. *Germany: Lambert Academic Publishing*.
- Aini, Y. N., Djajanto, L., Lestari, B., & Maskur. (2023). Pengaruh Inflasi dan Suku Bunga (SBI) terhadap Pergerakan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) pada Kondisi Bullish Di Era Covid-19. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 3(3), 10678–10688.
- Aziz, A. (2010). Ekonometrika: Teori dan Praktik Eksperimen dengan MATLAB. *Malang: UIN-Maliki Press*.
- Berutu, A. G. (2020). Memahami Saham Syariah: Kajian Atas aspek legal dalam pandangan Hukum Islam di Indonesia. *Veritas*, 6(2), 160–186. <https://doi.org/10.34005/veritas.v6i2.599>
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2019). Time Series Analysis Forecasting and Control. In *Canada: Simultaneously* (Vol. 11, Nomor 1).
- Bukhori, I. (2002). Kitab Shahih Bukhari Arab Terbitan Daar Ibnu Katsir (صحيح البخاري). In *Daar Ibnu Katsir*.
- Chandra, B. N., Debataraja, N. N., & Imro'ah, N. (2021). Model Logistic Smooth Transition Autoregressive Pada Produksi Kelapa Sawit. In *Buletin Ilmiah Mat. Stat. dan Terapannya (Bimaster)* (Vol. 10, Nomor 3).
- Chang, P. C., Wang, Y. W., & Liu, C. H. (2007). The development of a weighted evolving fuzzy neural network for PCB sales forecasting. *Expert Systems with Applications*, 32(1), 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2005.11.021>
- Dijk, D. J. C. van. (1999). *Smooth Transition Models: Extensions and Outlier Robust Inference*.
- Erica, D., Vidada, I. A., & Hoiriah, H. (2022). Analisa Fundamental Perusahaan Pada Investasi Kode Saham TLKM. *Artikel Ilmiah Sistem Informasi Akuntansi*, 2(1), 27–34. <https://doi.org/10.31294/akasia.v2i1.1060>
- Fadillah, Y. R., & Widyasari, R. (2023). *Application of Hybrid LSTAR-GARCH Model with Expected Taill Loss in Predicting the Price Movement of Bitcoin Cryptocurrency against Rupiah Currency* (Vol. 7, Nomor 1).
- Faisal, A. (2021). Prediksi Saham Telkom Dengan Metode Arima. *Jurnal Bisnis, Logistik dan Supply Chain (BLOGCHAIN)*, 1(2), 45–50. <https://doi.org/10.55122/blogchain.v1i2.298>
- Ihtisam, D., Siswanto, D., & Resmiati, E. N. (2024). ROE , Volume Transaksi , Dan IHSG : Strategi Prediktif Return Saham Pada Emiten LQ45. *KarismaPro: Kajian & Riset Manajemen Profesional*, 15(01), 40–51.
- Ismaila, L. F., Amaliah, T. H., & Badu, R. S. (2025). Pengaruh Dividen Per Share , Earning Per Share dan Net Profit. *Jambura Accounting Review*, 6(1), 195–209.

- Kemenag. (2022). Al-Qur'an dan Terjemahannya. In *Departemen Agama Republik Indonesia*.
- Kirchgassner, G., & Wolters, J. (2010). Introduction to Modern Time Series Analysis. In *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* (Vol. 173, Nomor 1). https://doi.org/10.1111/j.1467-985x.2009.00624_5.x
- Kresnawati, G., Warsito, B., & Hoyyi, A. (2018). *Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan Dengan Metode Logistic Smooth Transition Autoregressive (LSTAR)*. <https://doi.org/10.14710/j.gauss.v7i1.26638>
- Kumar, D. A., & Murugan, S. (2017). A Novel Fuzzy Time Series Model for Stock Market Index Analysis using Neural Network with Tracking Signal Approach. *Indian Journal of Science and Technology*, 10(16), 1–13. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i16/104994>
- Kumar, K. (2023). *Exploring Optimization Techniques for Parameter Estimation in Nonlinear System Modeling*. 1–14. <http://arxiv.org/abs/2305.00351>
- Lagarias, J. C., Reeds, J. A., Wright, M. H., & Wright, P. E. (1998). Convergence properties of the Nelder-Mead simplex method in low dimensions. *SIAM Journal on Optimization*, 9(1), 112–147. <https://doi.org/10.1137/S1052623496303470>
- Lestari, S., Kusnandar, D., & Aprizkiyandari, S. (2021). Pemodelan Data Return Saham Menggunakan Metode Smooth Transition Autoregressive. *Buletin Ilmiah Math. Stat. dan Terapannya (Bimaster)*, 10(4), 455–462.
- Maitra, S., & Politis, D. N. (2024). Prepivoted Augmented Dickey-Fuller Test with Bootstrap-Assisted Lag Length Selection. *Stats*, 7(4), 1226–1243. <https://doi.org/10.3390/stats7040072>
- Martia, D. Y., & Yasmine, N. I. (2021). Indikator Simple Moving Average dan Relative Strenght Index Menentukan Sinyal Beli dan Jual Saham pada Sektor Infrastruktur. 3(1), 27–38.
- Mehreyan, S. Z. (2024). Asymmetric Smooth Transition Autoregressive Model In Forecastinag Finance Rate On Consumer Installment Loans At Commercial Banks. *Mahani Mathematical Research*, 14(1), 491–504.
- Mihrani, M. (2015). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Harga Saham PT Telkom Tbk di Bursa Efek Jakarta. *Jurnal Bisnis Dan Kewirausahaan*.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2015). *Introduction To Time Series Analysis And Forecasting* (2 ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Mulyani, R., Surianto, W., Riswan, M., Akbar, I., & Aisah, N. (2025). *Forecasting Taxpayer Registration Using ARIMA Models : A Case Study of KPP Pratama Meulaboh*. 18(2), 993–1004.
- Muslim, I. (2006). Shahih Muslim. In *Dar Al-Salam*.
- Neyun, I. N. G., Sulandari, W., & Slamet, I. (2023). Hibrida Autoregresiive Integrated Moving Average dan Fuzzy Time Series Cheng untuk Prediksi

- Harga Saham Autoregresiive Integrated Moving Average and Fuzzy Time Series Cheng Hybrid for Predicting Stock Price. *Jurnal Bumigora Information Technology (BITE)*, 5(2), 139–150. <https://doi.org/10.30812/bite/v5i1.2972>
- Nor, S. R. M., Yusof, F., & Kane, I. L. (2015). Nonlinear Smooth Transition Autoregressive (STAR)-Type modelling and forecasting on Malaysia Airlines (MAS) stock returns. *Jurnal Teknologi*, 74(11), 137–145. <https://doi.org/10.11113/jt.v74.4883>
- Nurman, S., Nusrang, M., & Sudarmin. (2022). Analysis of Rice Production Forecast in Maros District Using the Box-Jenkins Method with the ARIMA Model. *ARRUS Journal of Mathematics and Applied Science*, 2(1), 36–48. <https://doi.org/10.35877/mathscience731>
- Odelia, M., Asih, D., Maruddani, I., & Yasin, H. (2020). Peramalan Harga Saham Dengan Metode Logistic Smooth Transition Autoregressive (LSTAR) (Studi Kasus pada Harga Saham Mingguan PT. Bank Mandiri Tbk Periode 03 Januari 2011 sampai 24 Desember 2018). *JURNAL GAUSSIAN*, 9(4), 391–401.
- Pardiansyah, E. (2017). Investasi dalam Perspektif Ekonomi Islam: Pendekatan Teoritis dan Empiris. *Economica: Jurnal Ekonomi Islam*, 8(2), 337–373. <https://doi.org/10.21580/economica.2017.8.2.1920>
- Putra, J. W. G. (2020). *Pengenalan Pembelajaran Mesin dan Deep Learning* (1.4). <https://wiragotama.github.io/resources/ebook/intro-to-ml-secured.pdf>
- Putri, G. A. M. A., Hendayanti, N. P. N., & Nurhidayati, M. (2017). Pemodelan Data Deret Waktu Dengan Autoregressive Integrated Moving Average Dan Logistic Smoothing Transition Autoregressive. *Jurnal Varian*, 1(1), 54. <https://doi.org/10.30812/varian.v1i1.50>
- Respati, P., Purwanto, B., & Irwanto, A. K. (2018). Estimasi Bullish dan Bearish dengan Model Perpindahan Markov dan Risiko Sistematis (beta) dengan Model Penilaian Modal Sharpe dalam Investasi Saham di Bursa Efek Indonesia, Tahun 2011 - 2016. *Jurnal Manajemen dan Organisasi*, 8(3), 221. <https://doi.org/10.29244/jmo.v8i3.22066>
- Ridla, M. A., Azise, N., & Rahman, M. (2023). Perbandingan Model Time Series Forecasting Dalam Memprediksi Jumlah Kedatangan Wisatawan Dan Penumpang Airport. *Simkom*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.51717/simkom.v8i1.103>
- Saputra, A., & Samsudin, M. A. (2025). *Pengaruh Tingkat Kemiskinan dan Harapan Lama Sekolah Terhadap PDRB Di Provinsi Bengkulu*. 02, 91–96.
- Telkom Indonesia. (2025, Agustus 1). *Laporan Keuangan Telkom Kuartal II 2025, Telkom Percepat Eksekusi Transformasi, Cetak Pendapatan Konsolidasi Rp73 Triliun*.
- Teräsvirta, T. (1994). Specification, estimation, and evaluation of smooth transition autoregressive models. *Journal of the American Statistical Association*, 89(425), 208–218. <https://doi.org/10.1080/01621459.1994.10476462>

- Tong, H. (1990). *Non-linear Time Series: A Dynamical System Approach*. Oxford University Press.
- Umar, A. U. A. Al, & Savitri, A. S. N. (2021). Analisis Pengaruh ROA, ROE, EPS Terhadap Harga Saham. *Jurnal Analisa Akuntansi dan Perpajakan*, 4(2), 92–98.
- Wei, W. W. S. (2006). *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods*. In New York: Pearson. <https://doi.org/10.1201/b11459-9>
- Yonar, A., & Yonar, H. (2022). An Efficient Hybrid Algorithm with Particle Swarm Optimization and Nelder Mead Algorithm for Parameter Estimation of Nonlinear Regression Modeling. *Gazi University Journal of Science*, 35(2), 716–729. <https://doi.org/10.35378/gujs.864980>
- Zhang, K., Safikhani, A., Tank, A., & Shojaie, A. (2022). Penalized estimation of threshold auto-regressive models with many components and thresholds. *Electronic Journal of Statistics*, 16(1), 1891–1951. <https://doi.org/10.1214/22-EJS1982>
- Zitouni, F. (2023). *Integrating the Opposition Nelder – Mead Algorithm into the Selection Phase of the Genetic Algorithm for Enhanced Optimization*. 1–31.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero) (Y_t)

No	Periode	Y_t	No	Periode	Y_t	No	Periode	Y_t
1	06/01/2019	3.860	47	01/12/2019	4.100	93	18/10/2020	2.630
2	13/01/2019	4.020	48	08/12/2019	3.990	94	25/10/2020	2.620
3	20/01/2019	3.880	49	15/12/2019	4.020	95	01/11/2020	2.830
4	27/01/2019	3.870	50	22/12/2019	3.990	96	08/11/2020	2.990
5	03/02/2019	3.850	51	29/12/2019	3.980	97	15/11/2020	3.220
6	10/02/2019	3.790	52	05/01/2020	3.980	98	22/11/2020	3.460
7	17/02/2019	3.840	53	12/01/2020	3.810	99	29/11/2020	3.250
8	24/02/2019	3.910	54	19/01/2020	3.920	100	06/12/2020	3.280
9	03/03/2019	3.740	55	26/01/2020	3.800	101	13/12/2020	3.510
10	10/03/2019	3.740	56	02/02/2020	3.790	102	20/12/2020	3.320
11	17/03/2019	3.820	57	09/02/2020	3.640	103	27/12/2020	3.310
12	24/03/2019	3.950	58	16/02/2020	3.690	104	03/01/2021	3.570
13	31/03/2019	4.050	59	23/02/2020	3.490	105	10/01/2021	3.480
14	07/04/2019	3.830	60	01/03/2020	3.750	106	17/01/2021	3.390
15	14/04/2019	3.860	61	08/03/2020	3.390	107	24/01/2021	3.110
16	21/04/2019	3.910	62	15/03/2020	2.880	108	31/01/2021	3.290
17	28/04/2019	3.820	63	22/03/2020	3.090	109	07/02/2021	3.190
18	05/05/2019	3.790	64	29/03/2020	3.200	110	14/02/2021	3.210
19	12/05/2019	3.510	65	05/04/2020	3.120	111	21/02/2021	3.490
20	19/05/2019	3.750	66	12/04/2020	3.230	112	28/02/2021	3.320
21	26/05/2019	3.900	67	19/04/2020	3.090	113	07/03/2021	3.450
22	09/06/2019	3.990	68	26/04/2020	3.500	114	14/03/2021	3.440
23	16/06/2019	4.040	69	03/05/2020	3.190	115	21/03/2021	3.490
24	23/06/2019	4.140	70	10/05/2020	3.100	116	28/03/2021	3.390
25	30/06/2019	4.280	71	17/05/2020	3.180	117	04/04/2021	3.360
26	07/07/2019	4.180	72	24/05/2020	3.150	118	11/04/2021	3.360
27	14/07/2019	4.270	73	31/05/2020	3.230	119	18/04/2021	3.310
28	21/07/2019	4.160	74	07/06/2020	3.030	120	25/04/2021	3.200
29	28/07/2019	4.280	75	14/06/2020	3.280	121	02/05/2021	3.190
30	04/08/2019	4.260	76	21/06/2020	3.190	122	09/05/2021	3.180
31	11/08/2019	4.280	77	28/06/2020	3.120	123	16/05/2021	3.270
32	18/08/2019	4.380	78	05/07/2020	3.110	124	23/05/2021	3.270
33	25/08/2019	4.450	79	12/07/2020	3.060	125	30/05/2021	3.500
34	01/09/2019	4.210	80	19/07/2020	3.020	126	06/06/2021	3.470
35	08/09/2019	4.160	81	26/07/2020	3.050	127	13/06/2021	3.350
36	15/09/2019	4.290	82	02/08/2020	2.980	128	20/06/2021	3.250
37	22/09/2019	4.310	83	09/08/2020	3.030	129	27/06/2021	3.070
38	29/09/2019	4.190	84	16/08/2020	3.000	130	04/07/2021	3.160
39	06/10/2019	4.170	85	23/08/2020	2.960	131	11/07/2021	3.170
40	13/10/2019	4.190	86	30/08/2020	2.860	132	18/07/2021	3.170
41	20/10/2019	4.280	87	06/09/2020	2.810	133	25/07/2021	3.240
42	27/10/2019	4.080	88	13/09/2020	2.890	134	01/08/2021	3.320
43	03/11/2019	4.110	89	20/09/2020	2.690	135	08/08/2021	3.300
44	10/11/2019	4.080	90	27/09/2020	2.680	136	15/08/2021	3.400
45	17/11/2019	4.050	91	04/10/2020	2.730	137	22/08/2021	3.320
46	24/11/2019	3.930	92	11/10/2020	2.750	138	29/08/2021	3.390

No	Periode	Y_t
139	05/09/2021	3.330
140	12/09/2021	3.530
141	19/09/2021	3.560
142	26/09/2021	3.660
143	03/10/2021	3.800
144	10/10/2021	3.810
145	17/10/2021	3.870
146	24/10/2021	3.800
147	31/10/2021	3.770
148	07/11/2021	3.600
149	14/11/2021	3.900
150	21/11/2021	4.010
151	28/11/2021	4.070
152	05/12/2021	4.150
153	12/12/2021	4.100
154	19/12/2021	4.110
155	26/12/2021	4.040
156	02/01/2022	4.170
157	09/01/2022	4.190
158	16/01/2022	4.330
159	23/01/2022	4.260
160	30/01/2022	4.230
161	06/02/2022	4.450
162	13/02/2022	4.400
163	20/02/2022	4.340
164	27/02/2022	4.400
165	06/03/2022	4.590
166	13/03/2022	4.540
167	20/03/2022	4.520
168	27/03/2022	4.580
169	03/04/2022	4.580
170	10/04/2022	4.680
171	17/04/2022	4.620
172	24/04/2022	4.620
173	08/05/2022	4.260
174	15/05/2022	4.170
175	22/05/2022	4.300
176	29/05/2022	4.310
177	05/06/2022	4.020
178	12/06/2022	4.120
179	19/06/2022	4.150
180	26/06/2022	4.020
181	03/07/2022	4.010
182	10/07/2022	4.150
183	17/07/2022	4.230
184	24/07/2022	4.230
185	31/07/2022	4.650
186	07/08/2022	4.550
187	14/08/2022	4.600
188	21/08/2022	4.490

No	Periode	Y_t
189	28/08/2022	4.600
190	04/09/2022	4.600
191	11/09/2022	4.410
192	18/09/2022	4.380
193	25/09/2022	4.460
194	02/10/2022	4.350
195	09/10/2022	4.290
196	16/10/2022	4.360
197	23/10/2022	4.450
198	30/10/2022	4.210
199	06/11/2022	4.150
200	13/11/2022	4.010
201	20/11/2022	4.030
202	27/11/2022	4.000
203	04/12/2022	3.650
204	11/12/2022	3.680
205	18/12/2022	3.780
206	25/12/2022	3.750
207	01/01/2023	3.710
208	08/01/2023	3.780
209	15/01/2023	3.870
210	22/01/2023	3.960
211	29/01/2023	3.880
212	05/02/2023	3.800
213	12/02/2023	3.760
214	19/02/2023	4.040
215	26/02/2023	3.900
216	05/03/2023	4.010
217	12/03/2023	4.050
218	19/03/2023	4.070
219	26/03/2023	4.060
220	02/04/2023	4.250
221	09/04/2023	4.340
222	16/04/2023	4.270
223	23/04/2023	4.250
224	30/04/2023	4.170
225	07/05/2023	3.980
226	14/05/2023	4.020
227	21/05/2023	4.130
228	28/05/2023	4.040
229	04/06/2023	4.150
230	11/06/2023	3.970
231	18/06/2023	3.950
232	25/06/2023	4.000
233	02/07/2023	3.960
234	09/07/2023	3.930
235	16/07/2023	3.860
236	23/07/2023	3.720
237	30/07/2023	3.690
238	06/08/2023	3.810

No	Periode	Y_t
239	13/08/2023	3.760
240	20/08/2023	3.720
241	27/08/2023	3.720
242	03/09/2023	3.690
243	10/09/2023	3.720
244	17/09/2023	3.860
245	24/09/2023	3.750
246	01/10/2023	3.780
247	08/10/2023	3.850
248	15/10/2023	3.700
249	22/10/2023	3.500
250	29/10/2023	3.570
251	05/11/2023	3.550
252	12/11/2023	3.550
253	19/11/2023	3.620
254	26/11/2023	3.830
255	03/12/2023	3.940
256	10/12/2023	3.980
257	17/12/2023	3.960
258	24/12/2023	3.950
259	31/12/2023	3.890
260	07/01/2024	4.010
261	14/01/2024	3.940
262	21/01/2024	3.980
263	28/01/2024	3.990
264	04/02/2024	3.980
265	11/02/2024	4.160
266	18/02/2024	4.100
267	25/02/2024	3.920
268	03/03/2024	3.860
269	10/03/2024	3.970
270	17/03/2024	3.900
271	24/03/2024	3.470
272	31/03/2024	3.430
273	14/04/2024	3.150
274	21/04/2024	3.030
275	28/04/2024	3.160
276	05/05/2024	3.080
277	12/05/2024	2.990
278	19/05/2024	2.940
279	26/05/2024	2.900
280	02/06/2024	3.050
281	09/06/2024	2.720
282	16/06/2024	2.950
283	23/06/2024	3.130
284	30/06/2024	3.020
285	07/07/2024	3.220
286	14/07/2024	3.140
287	21/07/2024	3.100
288	28/07/2024	2.850

No	Periode	Y_t	No	Periode	Y_t	No	Periode	Y_t
289	04/08/2024	2.830	319	02/03/2025	2.410	349	05/10/2025	3.040
290	11/08/2024	2.960	320	09/03/2025	2.420	350	12/10/2025	2.880
291	18/08/2024	2.950	321	16/03/2025	2.310	351	19/10/2025	3.290
292	25/08/2024	3.060	322	23/03/2025	2.410	352	26/10/2025	3.210
293	01/09/2024	3.040	323	06/04/2025	2.330	353	02/11/2025	3.470
294	08/09/2024	3.110	324	13/04/2025	2.550	354	09/11/2025	3.550
295	15/09/2024	3.150	325	20/04/2025	2.600	355	16/11/2025	3.500
296	22/09/2024	3.050	326	27/04/2025	2.680	356	23/11/2025	3.510
297	29/09/2024	2.880	327	04/05/2025	2.600	357	30/11/2025	3.700
298	06/10/2024	2.940	328	11/05/2025	2.740	358	07/12/2025	3.550
299	13/10/2024	3.100	329	18/05/2025	2.690	359	14/12/2025	3.410
300	20/10/2024	2.910	330	25/05/2025	2.820	360	21/12/2025	3.460
301	27/10/2024	2.780	331	01/06/2025	2.840	361	28/12/2025	3.470
302	03/11/2024	2.750	332	08/06/2025	2.740	362	04/01/2026	3.450
303	10/11/2024	2.540	333	15/06/2025	2.640	363	11/01/2026	3.660
304	17/11/2024	2.750	334	22/06/2025	2.710	364	18/01/2026	3.770
305	24/11/2024	2.710	335	29/06/2025	2.630	365	25/01/2026	3.600
306	01/12/2024	2.760	336	06/07/2025	2.730	366	01/02/2026	3.380
307	08/12/2024	2.790	337	13/07/2025	2.770	367	08/02/2026	3.450
308	15/12/2024	2.550	338	20/07/2025	2.820	368	15/02/2026	3.480
309	22/12/2024	2.750	339	27/07/2025	2.980	369	22/02/2026	3.540
310	29/12/2024	2.750	340	03/08/2025	2.940	370	01/03/2026	3.190
311	05/01/2025	2.680	341	10/08/2025	3.310	371	08/03/2026	2.970
312	12/01/2025	2.660	342	17/08/2025	3.240	372	15/03/2026	3.050
313	19/01/2025	2.690	343	24/08/2025	3.130	373	22/03/2026	3.050
314	26/01/2025	2.660	344	31/08/2025	3.150	374	29/03/2026	3.130
315	02/02/2025	2.590	345	07/09/2025	3.100	375	05/04/2026	3.210
316	09/02/2025	2.530	346	14/09/2025	3.230	376	12/04/2026	3.100
317	16/02/2025	2.650	347	21/09/2025	3.110	377	19/04/2026	2.810
318	23/02/2025	2.350	348	28/09/2025	3.070	378	26/04/2026	2.810

Lampiran 2. Data Perubahan Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero) (X_t)

No	Periode	X_t	No	Periode	X_t	No	Periode	X_t
1	06/01/2019	*	49	15/12/2019	30	97	15/11/2020	230
2	13/01/2019	160	50	22/12/2019	-30	98	22/11/2020	240
3	20/01/2019	-140	51	29/12/2019	-10	99	29/11/2020	-210
4	27/01/2019	-10	52	05/01/2020	0	100	06/12/2020	30
5	03/02/2019	-20	53	12/01/2020	-170	101	13/12/2020	230
6	10/02/2019	-60	54	19/01/2020	110	102	20/12/2020	-190
7	17/02/2019	50	55	26/01/2020	-120	103	27/12/2020	-10
8	24/02/2019	70	56	02/02/2020	-10	104	03/01/2021	260
9	03/03/2019	-170	57	09/02/2020	-150	105	10/01/2021	-90
10	10/03/2019	0	58	16/02/2020	50	106	17/01/2021	-90
11	17/03/2019	80	59	23/02/2020	-200	107	24/01/2021	-280
12	24/03/2019	130	60	01/03/2020	260	108	31/01/2021	180
13	31/03/2019	100	61	08/03/2020	-360	109	07/02/2021	-100
14	07/04/2019	-220	62	15/03/2020	-510	110	14/02/2021	20
15	14/04/2019	30	63	22/03/2020	210	111	21/02/2021	280
16	21/04/2019	50	64	29/03/2020	110	112	28/02/2021	-170
17	28/04/2019	-90	65	05/04/2020	-80	113	07/03/2021	130
18	05/05/2019	-30	66	12/04/2020	110	114	14/03/2021	-10
19	12/05/2019	-280	67	19/04/2020	-140	115	21/03/2021	50
20	19/05/2019	240	68	26/04/2020	410	116	28/03/2021	-100
21	26/05/2019	150	69	03/05/2020	-310	117	04/04/2021	-30
22	09/06/2019	90	70	10/05/2020	-90	118	11/04/2021	0
23	16/06/2019	50	71	17/05/2020	80	119	18/04/2021	-50
24	23/06/2019	100	72	24/05/2020	-30	120	25/04/2021	-110
25	30/06/2019	140	73	31/05/2020	80	121	02/05/2021	-10
26	07/07/2019	-100	74	07/06/2020	-200	122	09/05/2021	-10
27	14/07/2019	90	75	14/06/2020	250	123	16/05/2021	90
28	21/07/2019	-110	76	21/06/2020	-90	124	23/05/2021	0
29	28/07/2019	120	77	28/06/2020	-70	125	30/05/2021	230
30	04/08/2019	-20	78	05/07/2020	-10	126	06/06/2021	-30
31	11/08/2019	20	79	12/07/2020	-50	127	13/06/2021	-120
32	18/08/2019	100	80	19/07/2020	-40	128	20/06/2021	-100
33	25/08/2019	70	81	26/07/2020	30	129	27/06/2021	-180
34	01/09/2019	-240	82	02/08/2020	-70	130	04/07/2021	90
35	08/09/2019	-50	83	09/08/2020	50	131	11/07/2021	10
36	15/09/2019	130	84	16/08/2020	-30	132	18/07/2021	0
37	22/09/2019	20	85	23/08/2020	-40	133	25/07/2021	70
38	29/09/2019	-120	86	30/08/2020	-100	134	01/08/2021	80
39	06/10/2019	-20	87	06/09/2020	-50	135	08/08/2021	-20
40	13/10/2019	20	88	13/09/2020	80	136	15/08/2021	100
41	20/10/2019	90	89	20/09/2020	-200	137	22/08/2021	-80
42	27/10/2019	-200	90	27/09/2020	-10	138	29/08/2021	70
43	03/11/2019	30	91	04/10/2020	50	139	05/09/2021	-60
44	10/11/2019	-30	92	11/10/2020	20	140	12/09/2021	200
45	17/11/2019	-30	93	18/10/2020	-120	141	19/09/2021	30
46	24/11/2019	-120	94	25/10/2020	-10	142	26/09/2021	100
47	01/12/2019	170	95	01/11/2020	210	143	03/10/2021	140
48	08/12/2019	-110	96	08/11/2020	160	144	10/10/2021	10

No	Periode	X_t
145	17/10/2021	60
146	24/10/2021	-70
147	31/10/2021	-30
148	07/11/2021	-170
149	14/11/2021	300
150	21/11/2021	110
151	28/11/2021	60
152	05/12/2021	80
153	12/12/2021	-50
154	19/12/2021	10
155	26/12/2021	-70
156	02/01/2022	130
157	09/01/2022	20
158	16/01/2022	140
159	23/01/2022	-70
160	30/01/2022	-30
161	06/02/2022	220
162	13/02/2022	-50
163	20/02/2022	-60
164	27/02/2022	60
165	06/03/2022	190
166	13/03/2022	-50
167	20/03/2022	-20
168	27/03/2022	60
169	03/04/2022	0
170	10/04/2022	100
171	17/04/2022	-60
172	24/04/2022	0
173	08/05/2022	-360
174	15/05/2022	-90
175	22/05/2022	130
176	29/05/2022	10
177	05/06/2022	-290
178	12/06/2022	100
179	19/06/2022	30
180	26/06/2022	-130
181	03/07/2022	-10
182	10/07/2022	140
183	17/07/2022	80
184	24/07/2022	0
185	31/07/2022	420
186	07/08/2022	-100
187	14/08/2022	50
188	21/08/2022	-110
189	28/08/2022	110
190	04/09/2022	0
191	11/09/2022	-190
192	18/09/2022	-30
193	25/09/2022	80
194	02/10/2022	-110

No	Periode	X_t
195	09/10/2022	-60
196	16/10/2022	70
197	23/10/2022	90
198	30/10/2022	-240
199	06/11/2022	-60
200	13/11/2022	-140
201	20/11/2022	20
202	27/11/2022	-30
203	04/12/2022	-350
204	11/12/2022	30
205	18/12/2022	100
206	25/12/2022	-30
207	01/01/2023	-40
208	08/01/2023	70
209	15/01/2023	90
210	22/01/2023	90
211	29/01/2023	-80
212	05/02/2023	-80
213	12/02/2023	-40
214	19/02/2023	280
215	26/02/2023	-140
216	05/03/2023	110
217	12/03/2023	40
218	19/03/2023	20
219	26/03/2023	-10
220	02/04/2023	190
221	09/04/2023	90
222	16/04/2023	-70
223	23/04/2023	-20
224	30/04/2023	-80
225	07/05/2023	-190
226	14/05/2023	40
227	21/05/2023	110
228	28/05/2023	-90
229	04/06/2023	110
230	11/06/2023	-180
231	18/06/2023	-20
232	25/06/2023	50
233	02/07/2023	-40
234	09/07/2023	-30
235	16/07/2023	-70
236	23/07/2023	-140
237	30/07/2023	-30
238	06/08/2023	120
239	13/08/2023	-50
240	20/08/2023	-40
241	27/08/2023	0
242	03/09/2023	-30
243	10/09/2023	30
244	17/09/2023	140

No	Periode	X_t
245	24/09/2023	-110
246	01/10/2023	30
247	08/10/2023	70
248	15/10/2023	-150
249	22/10/2023	-200
250	29/10/2023	70
251	05/11/2023	-20
252	12/11/2023	0
253	19/11/2023	70
254	26/11/2023	210
255	03/12/2023	110
256	10/12/2023	40
257	17/12/2023	-20
258	24/12/2023	-10
259	31/12/2023	-60
260	07/01/2024	120
261	14/01/2024	-70
262	21/01/2024	40
263	28/01/2024	10
264	04/02/2024	-10
265	11/02/2024	180
266	18/02/2024	-60
267	25/02/2024	-180
268	03/03/2024	-60
269	10/03/2024	110
270	17/03/2024	-70
271	24/03/2024	-430
272	31/03/2024	-40
273	14/04/2024	-280
274	21/04/2024	-120
275	28/04/2024	130
276	05/05/2024	-80
277	12/05/2024	-90
278	19/05/2024	-50
279	26/05/2024	-40
280	02/06/2024	150
281	09/06/2024	-330
282	16/06/2024	230
283	23/06/2024	180
284	30/06/2024	-110
285	07/07/2024	200
286	14/07/2024	-80
287	21/07/2024	-40
288	28/07/2024	-250
289	04/08/2024	-20
290	11/08/2024	130
291	18/08/2024	-10
292	25/08/2024	110
293	01/09/2024	-20
294	08/09/2024	70

No	Periode	X_t
295	15/09/2024	40
296	22/09/2024	-100
297	29/09/2024	-170
298	06/10/2024	60
299	13/10/2024	160
300	20/10/2024	-190
301	27/10/2024	-130
302	03/11/2024	-30
303	10/11/2024	-210
304	17/11/2024	210
305	24/11/2024	-40
306	01/12/2024	50
307	08/12/2024	30
308	15/12/2024	-240
309	22/12/2024	200
310	29/12/2024	0
311	05/01/2025	-70
312	12/01/2025	-20
313	19/01/2025	30
314	26/01/2025	-30
315	02/02/2025	-70
316	09/02/2025	-60
317	16/02/2025	120
318	23/02/2025	-300
319	02/03/2025	60
320	09/03/2025	10
321	16/03/2025	-110
322	23/03/2025	100

No	Periode	X_t
323	06/04/2025	-80
324	13/04/2025	220
325	20/04/2025	50
326	27/04/2025	80
327	04/05/2025	-80
328	11/05/2025	140
329	18/05/2025	-50
330	25/05/2025	130
331	01/06/2025	20
332	08/06/2025	-100
333	15/06/2025	-100
334	22/06/2025	70
335	29/06/2025	-80
336	06/07/2025	100
337	13/07/2025	40
338	20/07/2025	50
339	27/07/2025	160
340	03/08/2025	-40
341	10/08/2025	370
342	17/08/2025	-70
343	24/08/2025	-110
344	31/08/2025	20
345	07/09/2025	-50
346	14/09/2025	130
347	21/09/2025	-120
348	28/09/2025	-40
349	05/10/2025	-30
350	12/10/2025	-160

No	Periode	X_t
351	19/10/2025	410
352	26/10/2025	-80
353	02/11/2025	260
354	09/11/2025	80
355	16/11/2025	-50
356	23/11/2025	10
357	30/11/2025	190
358	07/12/2025	-150
359	14/12/2025	-140
360	21/12/2025	50
361	28/12/2025	10
362	04/01/2026	-20
363	11/01/2026	210
364	18/01/2026	110
365	25/01/2026	-170
366	01/02/2026	-220
367	08/02/2026	70
368	15/02/2026	30
369	22/02/2026	60
370	01/03/2026	-350
371	08/03/2026	-220
372	15/03/2026	80
373	22/03/2026	0
374	29/03/2026	80
375	05/04/2026	80
376	12/04/2026	-110
377	19/04/2026	-290
378	26/04/2026	0

Lampiran 3. Residual Model AR(2) (ε_t)

No	ε_t	No	ε_t	No	ε_t
1	-13,80	53	-15,00	105	131,05
2	-29,39	54	-157,61	106	-90,91
3	-59,41	55	29,39	107	24,51
4	43,17	56	-200,50	108	279,07
5	77,53	57	236,60	109	-117,82
6	-149,38	58	-330,73	110	132,02
7	-16,73	59	-540,74	111	0,76
8	69,56	60	99,45	112	64,72
9	147,78	61	103,44	113	-88,00
10	133,08	62	-38,58	114	-37,10
11	-187,35	63	111,52	115	-9,08
12	7,80	64	-124,47	116	-47,94
13	39,99	65	401,73	117	-113,41
14	-74,43	66	-250,92	118	-27,66
15	-35,47	67	-99,20	119	-16,71
16	-288,19	68	42,39	120	92,22
17	196,41	69	-20,25	121	18,52
18	168,87	70	86,99	122	242,77
19	140,62	71	-184,90	123	12,24
20	82,80	72	229,27	124	-99,62
21	120,93	73	-62,36	125	-117,50
22	165,51	74	-57,61	126	-202,28
23	-63,51	75	-24,71	127	56,46
24	90,93	76	-53,14	128	13,34
25	-99,52	77	-44,31	129	14,40
26	114,84	78	23,75	130	75,63
27	-5,52	79	-63,94	131	96,15
28	32,19	80	46,00	132	4,03
29	106,21	81	-23,36	133	108,62
30	92,83	82	-35,69	134	-60,74
31	-214,92	83	-104,46	135	70,62
32	-78,14	84	-65,14	136	-50,99
33	105,16	85	67,66	137	201,21
34	41,47	86	-186,68	138	61,99
35	-100,39	87	-30,73	139	127,49
36	-33,04	88	35,25	140	163,72
37	10,76	89	32,00	141	46,49
38	96,21	90	-107,54	142	78,87
39	-178,80	91	-23,04	143	-54,59
40	10,17	92	202,39	144	-31,32
41	-38,23	93	198,08	145	-176,40
42	-27,47	94	279,57	146	274,34
43	-122,83	95	296,52	147	148,47
44	152,50	96	-145,60	148	109,46
45	-88,26	97	21,93	149	104,34
46	31,98	98	220,88	150	-26,86
47	-30,19	99	-145,08	151	13,73
48	-7,47	100	-15,70	152	-68,09
49	0,43	101	246,15	153	124,22
50	-166,15	102	-43,76	154	39,68
51	87,02	103	-76,72	155	159,61
52	-112,50	104	-297,97	156	-40,65

No	ε_t
157	-24,17
158	213,60
159	-12,07
160	-43,77
161	50,49
162	199,16
163	-8,93
164	-6,45
165	57,01
166	12,74
167	110,10
168	-38,96
169	3,89
170	-360,62
171	-143,95
172	87,92
173	27,90
174	-272,02
175	58,35
176	25,15
177	-111,44
178	-23,78
179	131,50
180	106,67
181	30,28
182	431,88
183	-26,79
184	75,93
185	-106,04
186	101,27
187	12,85
188	-175,44
189	-56,24
190	62,88
191	-94,90
192	-66,05
193	55,14
194	100,79
195	-214,34
196	-86,35
197	-166,47
198	-3,44
199	-34,50
200	-348,37
201	-25,00
202	78,38
203	-6,28
204	-31,22
205	65,54
206	102,58
207	115,66
208	-52,55

No	ε_t
209	-80,27
210	-55,45
211	271,08
212	-93,18
213	116,91
214	50,17
215	41,08
216	1,57
217	194,89
218	124,82
219	-33,62
220	-18,64
221	-84,77
222	-200,09
223	6,62
224	104,30
225	-63,76
226	109,89
227	-165,36
228	-34,79
229	35,41
230	-28,89
231	-27,32
232	-73,72
233	-149,35
234	-54,34
235	107,35
236	-28,37
237	-32,70
238	-6,25
239	-28,83
240	29,85
241	146,95
242	-79,76
243	29,30
244	69,81
245	-131,17
246	-213,47
247	28,74
248	-21,70
249	7,73
250	72,95
251	226,15
252	155,23
253	81,42
254	1,08
255	-4,95
256	-58,68
257	114,06
258	-51,05
259	44,04
260	15,01

No	ε_t
261	-0,06
262	184,00
263	-26,81
264	-168,97
265	-89,96
266	88,89
267	-52,68
268	-426,85
269	-111,62
270	-320,17
271	-164,48
272	90,18
273	-64,78
274	-86,70
275	-67,08
276	-51,45
277	143,75
278	-304,38
279	194,33
280	192,77
281	-55,38
282	202,88
283	-52,47
284	-30,45
285	-258,92
286	-59,59
287	109,16
288	14,15
289	124,72
290	1,78
291	81,30
292	54,37
293	-82,49
294	-177,99
295	28,09
296	159,34
297	-153,82
298	-141,95
299	-63,42

Lampiran 4. Residual Regresi Bantu dengan Variabel Transisi X_{t-1} (e_t)

No	e_t	No	e_t	No	e_t
1	-35,10	53	-32,97	105	108,51
2	-21,69	54	-150,66	106	-102,38
3	-57,42	55	11,94	107	5,63
4	40,89	56	-195,30	108	285,39
5	81,79	57	217,88	109	-128,95
6	-146,93	58	-326,42	110	111,61
7	-36,69	59	-294,85	111	-5,41
8	78,35	60	-27,41	112	62,24
9	149,56	61	98,99	113	-84,28
10	130,13	62	-37,77	114	-49,45
11	-186,50	63	99,23	115	-4,01
12	-3,53	64	-126,68	116	-43,85
13	48,32	65	381,99	117	-115,30
14	-71,13	66	-60,56	118	-36,83
15	-46,21	67	74,13	119	-10,14
16	-283,56	68	50,41	120	95,02
17	188,91	69	-18,64	121	19,32
18	169,41	70	83,97	122	242,85
19	136,76	71	-183,18	123	-1,92
20	84,44	72	211,82	124	-109,39
21	123,60	73	-62,43	125	-129,42
22	165,70	74	-78,77	126	-206,08
23	-67,57	75	-24,80	127	34,89
24	74,07	76	-48,08	128	13,25
25	-99,19	77	-45,69	129	15,36
26	99,05	78	25,56	130	78,39
27	-9,48	79	-59,18	131	98,71
28	28,79	80	39,57	132	5,94
29	110,57	81	-19,00	133	106,88
30	92,78	82	-37,36	134	-61,11
31	-212,56	83	-103,61	135	58,87
32	-84,98	84	-72,96	136	-48,28
33	115,33	85	70,79	137	194,26
34	36,85	86	-185,00	138	49,82
35	-99,71	87	-48,18	139	127,49
36	-47,11	88	45,22	140	163,76
37	17,33	89	35,72	141	42,43
38	100,57	90	-104,90	142	78,37
39	-177,85	91	-37,11	143	-51,47
40	-6,87	92	209,34	144	-39,33
41	-30,29	93	184,78	145	-172,68
42	-28,25	94	273,58	146	254,59
43	-120,91	95	276,15	147	175,04
44	140,58	96	-171,52	148	111,20
45	-98,54	97	16,08	149	106,84
46	12,40	98	229,01	150	-24,98
47	-24,04	99	-160,40	151	7,82
48	-8,25	100	-30,69	152	-63,07
49	3,98	101	255,73	153	118,84
50	-162,73	102	-55,30	154	34,81
51	67,21	103	-98,40	155	160,29
52	-115,65	104	-301,41	156	-45,74

No	e_t
157	-36,42
158	217,32
159	-25,22
160	-56,72
161	49,77
162	202,71
163	-20,87
164	-17,89
165	60,67
166	16,03
167	111,17
168	-39,17
169	-4,62
170	-355,52
171	-60,88
172	98,55
173	22,77
174	-272,23
175	67,43
176	22,59
177	-109,45
178	-39,73
179	138,83
180	101,19
181	32,31
182	432,29
183	95,84
184	45,00
185	-101,36
186	87,37
187	10,33
188	-176,04
189	-77,08
190	72,01
191	-93,18
192	-81,37
193	57,53
194	103,47
195	-213,12
196	-90,63
197	-157,33
198	-17,90
199	-27,21
200	-348,69
201	25,83
202	89,29
203	-6,24
204	-35,15
205	66,39
206	105,21
207	116,88
208	-51,23

No	e_t
209	-91,49
210	-57,67
211	274,32
212	-96,95
213	91,87
214	47,34
215	43,30
216	4,46
217	196,56
218	113,06
219	-31,78
220	-28,24
221	-80,28
222	-205,49
223	-16,26
224	111,06
225	-64,72
226	96,03
227	-167,68
228	-54,09
229	44,47
230	-25,06
231	-30,30
232	-71,35
233	-152,61
234	-68,48
235	114,22
236	-31,38
237	-40,62
238	-4,44
239	-24,40
240	30,42
241	151,52
242	-84,72
243	11,14
244	75,96
245	-128,68
246	-232,76
247	1,62
248	-18,75
249	6,40
250	76,71
251	228,71
252	140,51
253	82,23
254	3,30
255	-5,03
256	-55,50
257	111,27
258	-54,42
259	32,85
260	19,96

No	e_t
261	2,35
262	186,05
263	-37,51
264	-181,64
265	-111,10
266	94,92
267	-54,69
268	-437,51
269	50,76
270	-300,16
271	-174,49
272	89,07
273	-70,30
274	-100,04
275	-71,04
276	-48,82
277	145,56
278	-311,59
279	305,88
280	191,44
281	-65,40
282	182,82
283	-64,17
284	-47,49
285	-255,68
286	-78,84
287	121,13
288	9,92
289	122,24
290	0,30
291	78,31
292	56,96
293	-79,66
294	-189,84
295	8,49
296	163,56
297	-161,33
298	-158,72
299	-71,04

Lampiran 5. Nilai dan Selisih Fungsi Objektif pada Setiap Iterasi Nelder-Mead

No	Fungsi Objektif	Selisih	No	Fungsi Objektif	Selisih
1	5.133.680,03951		301	4.987.737,72699	309,97564265
2	5.134.207,06119	527,02168403	302	4.987.603,48045	134,24654263
3	7.223.217,81448	2.089.010,75328264	303	4.987.394,67501	208,80544143
4	7.020.620,67449	202.597,13998656	304	4.987.403,69523	9,02022053
5	5.136.444,60099	1.884.176,07350212	305	4.987.506,10739	102,41216003
6	7.615.737,88198	2.479.293,28098785	306	4.987.482,20732	23,90006734
7	6.714.000,25200	901.737,62997350	307	4.987.292,56866	189,63866186
8	5.164.861,50268	1.549.138,74932076	308	4.987.203,10957	89,45908512
9	5.133.546,64520	31.314,85747978	309	4.987.631,44359	428,33402169
10	7.197.048,70523	2.063.502,06003122	310	4.987.469,55374	161,88985027
11	5.590.971,55094	1.606.077,15429390	⋮	⋮	⋮
12	8.714.952,32957	3.123.980,77863462	436	4.986.080,87241	11,62420572
13	5.778.827,79313	2.936.124,53644249	437	4.986.038,60072	42,27169234
14	7.874.514,64187	2.095.686,84873416	438	4.986.059,77719	21,17647331
15	5.909.363,53062	1.965.151,11124389	439	4.986.002,23555	57,54164249
16	6.926.906,79839	1.017.543,26776820	440	4.986.036,40960	34,17405370
17	5.866.548,06514	1.060.358,73324928	441	4.986.016,20955	20,20004735
18	5.704.010,70487	162.537,36027112	442	4.986.032,68031	16,47075949
19	5.264.824,56429	439.186,14058097	443	4.985.971,38618	61,29413696
20	5.443.058,38295	178.233,81866119	444	4.985.917,00708	54,37909740
⋮	⋮	⋮	445	4.986.002,09205	85,08496618
146	5.024.561,12285	906,65645429	446	4.985.998,93933	3,15271141
147	5.020.678,27454	3.882,84830829	447	4.985.925,55378	73,38555546
148	5.015.923,92973	4.754,34481094	448	4.985.961,83364	36,27985973
149	5.020.133,14640	4.209,21667545	449	4.985.905,56450	56,26913681
150	5.021.792,32799	1.659,18158810	450	4.985.858,03103	47,53346961
151	5.017.024,09140	4.768,23659590	451	4.985.857,49831	0,53272150
152	5.019.870,41491	2.846,32351332	452	4.985.786,06050	71,43780821
153	5.015.138,83226	4.731,58264481	453	4.985.832,48507	46,42456940
154	5.010.830,40992	4.308,42234598	454	4.985.870,30499	37,81992230
155	5.013.222,75179	2.392,34187142	455	4.985.830,77241	39,53258269
156	5.015.984,61807	2.761,86627821	⋮	⋮	⋮
157	5.011.719,88811	4.264,72995907	565	4.985.597,34555	0,18463116
158	5.014.170,00177	2.450,11365692	566	4.985.597,17123	0,17431862
159	5.018.104,59920	3.934,59742950	567	4.985.597,11447	0,05676049
160	5.014.234,86356	3.869,73563103	568	4.985.597,14240	0,02792940
161	5.014.421,06445	186,20089016	569	4.985.597,16162	0,01921264
162	5.012.114,31231	2.306,75214883	570	4.985.597,13432	0,02729988
163	5.005.255,28771	6.859,02459570	571	4.985.597,11557	0,01874534
164	4.999.794,26147	5.461,02624389	572	4.985.597,11762	0,00204945
165	5.011.127,78009	11.333,51862834	573	4.985.597,16254	0,04492406
⋮	⋮	⋮	574	4.985.597,13208	0,03046187
291	4.987.764,23302	99,69641635	575	4.985.597,25386	0,12177692
292	4.987.815,94981	51,71678599	576	4.985.597,13094	0,12291794
293	4.987.788,02088	27,92892434	577	4.985.597,10384	0,02709957
294	4.987.791,58893	3,56804751	578	4.985.597,11692	0,01308266
295	4.987.595,14142	196,44750648	579	4.985.597,11635	0,00056972
296	4.987.539,22115	55,92027137	580	4.985.597,10887	0,00748660
297	4.987.786,97285	247,75170303	581	4.985.597,09364	0,01523230
298	4.987.692,53726	94,43559773	582	4.985.597,12037	0,02673113
299	4.987.481,96921	210,56804171	583	4.985.597,11808	0,00228595
300	4.987.427,75135	54,21786608	584	4.985.597,10119	0,01688793

Lampiran 6. Hasil Prediksi Perubahan Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero) ($\hat{X}_t$)

No	Periode	$\hat{X}_t$	No	Periode	$\hat{X}_t$
303	10/11/2024	-2,284	341	10/08/2025	-25,493
304	17/11/2024	23,897	342	17/08/2025	-112,133
305	24/11/2024	-39,756	343	24/08/2025	-37,893
306	01/12/2024	-29,828	344	31/08/2025	8,003
307	08/12/2024	5,442	345	07/09/2025	22,060
308	15/12/2024	5,596	346	14/09/2025	-11,418
309	22/12/2024	24,503	347	21/09/2025	-23,152
310	29/12/2024	-33,684	348	28/09/2025	-7,402
311	05/01/2025	4,629	349	05/10/2025	-1,215
312	12/01/2025	-5,811	350	12/10/2025	-10,087
313	19/01/2025	33,560	351	19/10/2025	14,216
314	26/01/2025	11,192	352	26/10/2025	-117,238
315	02/02/2025	-16,157	353	02/11/2025	-39,425
316	09/02/2025	-3,210	354	09/11/2025	-68,519
317	16/02/2025	-1,678	355	16/11/2025	-29,561
318	23/02/2025	-18,679	356	23/11/2025	-16,620
319	02/03/2025	28,316	357	30/11/2025	20,938
320	09/03/2025	22,551	358	07/12/2025	-49,994
321	16/03/2025	12,146	359	14/12/2025	-6,796
322	23/03/2025	1,067	360	21/12/2025	20,748
323	06/04/2025	-7,333	361	28/12/2025	13,436
324	13/04/2025	-12,546	362	04/01/2026	12,945
325	20/04/2025	-53,822	363	11/01/2026	27,165
326	27/04/2025	-15,341	364	18/01/2026	-54,944
327	04/05/2025	-12,775	365	25/01/2026	-36,587
328	11/05/2025	-10,812	366	01/02/2026	4,013
329	18/05/2025	-24,428	367	08/02/2026	37,972
330	25/05/2025	-21,823	368	15/02/2026	12,482
331	01/06/2025	-23,152	369	22/02/2026	3,998
332	08/06/2025	2,876	370	01/03/2026	-3,827
333	15/06/2025	-1,737	371	08/03/2026	43,199
334	22/06/2025	8,668	372	15/03/2026	53,580
335	29/06/2025	2,890	373	22/03/2026	8,808
336	06/07/2025	-9,945	374	29/03/2026	14,221
337	13/07/2025	-9,731	375	05/04/2026	-8,778
338	20/07/2025	-2,075	376	12/04/2026	-15,173
339	27/07/2025	-0,953	377	19/04/2026	-5,003
340	03/08/2025	-42,168	378	26/04/2026	46,323

Lampiran 7. Perbandingan Data Aktual (Y_t) dan Data Prediksi ($\hat{Y}_t$) Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)

No	Periode	Y_t	$\hat{Y}_t$
303	10/11/2024	2.540	2.564
304	17/11/2024	2.750	2.710
305	24/11/2024	2.710	2.680
306	01/12/2024	2.760	2.765
307	08/12/2024	2.790	2.796
308	15/12/2024	2.550	2.575
309	22/12/2024	2.750	2.716
310	29/12/2024	2.750	2.755
311	05/01/2025	2.680	2.674
312	12/01/2025	2.660	2.694
313	19/01/2025	2.690	2.701
314	26/01/2025	2.660	2.644
315	02/02/2025	2.590	2.587
316	09/02/2025	2.530	2.528
317	16/02/2025	2.650	2.631
318	23/02/2025	2.350	2.378
319	02/03/2025	2.410	2.433
320	09/03/2025	2.420	2.432
321	16/03/2025	2.310	2.311
322	23/03/2025	2.410	2.403
323	06/04/2025	2.330	2.317
324	13/04/2025	2.550	2.496
325	20/04/2025	2.600	2.585
326	27/04/2025	2.680	2.667
327	04/05/2025	2.600	2.589
328	11/05/2025	2.740	2.716
329	18/05/2025	2.690	2.668
330	25/05/2025	2.820	2.797
331	01/06/2025	2.840	2.843
332	08/06/2025	2.740	2.738
333	15/06/2025	2.640	2.649
334	22/06/2025	2.710	2.713
335	29/06/2025	2.630	2.620
336	06/07/2025	2.730	2.720
337	13/07/2025	2.770	2.768
338	20/07/2025	2.820	2.819
339	27/07/2025	2.980	2.938
340	03/08/2025	2.940	2.915

No	Periode	Y_t	$\hat{Y}_t$
341	10/08/2025	3.310	3.198
342	17/08/2025	3.240	3.202
343	24/08/2025	3.130	3.138
344	31/08/2025	3.150	3.172
345	07/09/2025	3.100	3.089
346	14/09/2025	3.230	3.207
347	21/09/2025	3.110	3.103
348	28/09/2025	3.070	3.069
349	05/10/2025	3.040	3.030
350	12/10/2025	2.880	2.894
351	19/10/2025	3.290	3.173
352	26/10/2025	3.210	3.171
353	02/11/2025	3.470	3.401
354	09/11/2025	3.550	3.520
355	16/11/2025	3.500	3.483
356	23/11/2025	3.510	3.531
357	30/11/2025	3.700	3.650
358	07/12/2025	3.550	3.543
359	14/12/2025	3.410	3.431
360	21/12/2025	3.460	3.473
361	28/12/2025	3.470	3.483
362	04/01/2026	3.450	3.477
363	11/01/2026	3.660	3.605
364	18/01/2026	3.770	3.733
365	25/01/2026	3.600	3.604
366	01/02/2026	3.380	3.418
367	08/02/2026	3.450	3.462
368	15/02/2026	3.480	3.484
369	22/02/2026	3.540	3.536
370	01/03/2026	3.190	3.233
371	08/03/2026	2.970	3.024
372	15/03/2026	3.050	3.059
373	22/03/2026	3.050	3.064
374	29/03/2026	3.130	3.121
375	05/04/2026	3.210	3.195
376	12/04/2026	3.100	3.095
377	19/04/2026	2.810	2.856

Lampiran 8. Error Prediksi Model LSTAR(2,1) pada Data Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)

No	Periode	Error	No	Periode	Error
303	10/11/2024	-24	341	10/08/2025	112
304	17/11/2024	40	342	17/08/2025	38
305	24/11/2024	30	343	24/08/2025	-8
306	01/12/2024	-5	344	31/08/2025	-22
307	08/12/2024	-6	345	07/09/2025	11
308	15/12/2024	-25	346	14/09/2025	23
309	22/12/2024	34	347	21/09/2025	7
310	29/12/2024	-5	348	28/09/2025	1
311	05/01/2025	6	349	05/10/2025	10
312	12/01/2025	-34	350	12/10/2025	-14
313	19/01/2025	-11	351	19/10/2025	117
314	26/01/2025	16	352	26/10/2025	39
315	02/02/2025	3	353	02/11/2025	69
316	09/02/2025	2	354	09/11/2025	30
317	16/02/2025	19	355	16/11/2025	17
318	23/02/2025	-28	356	23/11/2025	-21
319	02/03/2025	-23	357	30/11/2025	50
320	09/03/2025	-12	358	07/12/2025	7
321	16/03/2025	-1	359	14/12/2025	-21
322	23/03/2025	7	360	21/12/2025	-13
323	06/04/2025	13	361	28/12/2025	-13
324	13/04/2025	54	362	04/01/2026	-27
325	20/04/2025	15	363	11/01/2026	55
326	27/04/2025	13	364	18/01/2026	37
327	04/05/2025	11	365	25/01/2026	-4
328	11/05/2025	24	366	01/02/2026	-38
329	18/05/2025	22	367	08/02/2026	-12
330	25/05/2025	23	368	15/02/2026	-4
331	01/06/2025	-3	369	22/02/2026	4
332	08/06/2025	2	370	01/03/2026	-43
333	15/06/2025	-9	371	08/03/2026	-54
334	22/06/2025	-3	372	15/03/2026	-9
335	29/06/2025	10	373	22/03/2026	-14
336	06/07/2025	10	374	29/03/2026	9
337	13/07/2025	2	375	05/04/2026	15
338	20/07/2025	1	376	12/04/2026	5
339	27/07/2025	42	377	19/04/2026	-46
340	03/08/2025	25			

Lampiran 9. Script Model LSTAR dengan Estimasi Nelder-Mead

```

library(readxl)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(forecast)
library(tseries)
library(scales)
library(tsDyn)
library(FinTS)
library(tidyr)
# -----
#  IMPORT DATA
# -----
tlkm <- read_excel("C:/Users/acer/Downloads/Data Historis Telkom.xlsx")%>%
  rename(Y = `Terakhir`)%>%
  mutate(Tanggal = as.Date(Tanggal, format = "%d/%m/%Y"))
# --- DIFFERENCING 1 KALI ---
differencing <- diff(tlkm$Y, differences = 1)
differencing_df <- data.frame(Tanggal = tlkm$Tanggal[-1], Diff_Y = differencing)
# -----
#  PEMBAGIAN DATA
# -----
latih_rat <- 0.80
m <- nrow(differencing_df)
m_latih <- floor(latih_rat * m)
latih <- differencing_df[1:m_latih, ]
uji <- differencing_df[(m_latih + 1):m, ]
# Data Frame data latih
data_latih <- latih %>% select(Tanggal, Diff_Y) %>% na.omit()
# Grafik Data Aktual Training dan Testing
m_asli <- nrow(tlkm)
m_latih_asli <- floor(0.80 * m_asli)
data_latih_asli <- tlkm[2:m_latih_asli, ]
data_uji_asli <- tlkm[(m_latih_asli + 1):m_asli, ]
aktual_all <- rbind(data.frame(Tanggal = data_latih_asli$Tanggal,
                             Nilai = data_latih_asli$Y, Tipe = "Training"),
                  data.frame(Tanggal = data_uji_asli$Tanggal, Nilai = data_uji_asli$Y,
                             Tipe = "Testing"))
batas_aktual <- max(data_latih_asli$Tanggal)
y_top <- max(aktual_all$Nilai, na.rm = TRUE) -
  0.05 * diff(range(aktual_all$Nilai, na.rm = TRUE))
y_mid_aktual <- min(aktual_all$Nilai, na.rm = TRUE) +
  0.03 * diff(range(aktual_all$Nilai, na.rm = TRUE))
ggplot(aktual_all, aes(x = Tanggal, y = Nilai)) +
  geom_line(color = "royalblue", linewidth = 0.5) +
  geom_point(color = "mediumblue", size = 1.5) +
  geom_vline(xintercept = batas_aktual, linetype = "dashed",
            linewidth = 0.8, color = "black") +
  annotate("label", x = batas_aktual, y = y_top, label = "Training",
         hjust = 1.1, size = 3.8, fill = "white") +
  annotate("label", x = batas_aktual, y = y_top,
         label = "Testing", hjust = -0.1, size = 3.8, fill = "white") +
  scale_x_date(date_breaks = "5 months", date_labels = "%d-%m-%Y") +
  scale_y_continuous(breaks = seq(2200, 4700, by = 300), limits = c(2200, 4700),

```

```

      labels = comma) +
labs(title = "Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)",
      x = "Periode", y = "Harga Saham (Yt)") +
theme_minimal() +
theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold"),
      axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1),
      axis.title = element_text())
# Grafik Data Differencing
diff_all <- rbind(data.frame(Tanggal = latih$Tanggal, Diff_Y = latih$Diff_Y,
                             Tipe = "Training"),
                  data.frame(Tanggal = uji$Tanggal, Diff_Y = uji$Diff_Y,
                             Tipe = "Testing"))
batas_diff <- max(latih$Tanggal)
y_top_diff <- 450
ggplot(diff_all, aes(x = Tanggal, y = Diff_Y)) +
  geom_line(color = "firebrick", linewidth = 0.5) +
  geom_point(color = "darkred", size = 1.5) +
  geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", color = "black") +
  geom_vline(xintercept = batas_diff, linetype = "dashed", linewidth = 0.8,
             color = "black") +
  annotate("label", x = batas_diff, y = y_top_diff, label = "Training",
          hjust = 1.1, size = 3.8, fill = "white") +
  annotate("label", x = batas_diff, y = y_top_diff, label = "Testing",
          hjust = -0.1, size = 3.8, fill = "white") +
  scale_x_date(date_breaks = "5 months", date_labels = "%d-%m-%Y") +
  scale_y_continuous(breaks = seq(-500, 500, by = 100),
                     limits = c(-500, 500), labels = comma) +
labs(title = "Perubahan Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)",
      x = "Periode", y = "Perubahan Harga Saham (Xt)") +
theme_minimal() +
theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold"),
      axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1),
      axis.title = element_text())
# -----
# IDENTIFIKASI ORDE MODEL AR (AIC)
# -----
arima = auto.arima(data_latih$Diff_Y, trace = TRUE, stepwise = FALSE,
                   approximation = FALSE)
# -----
# ESTIMASI MODEL AR(2) (Least Square)
# -----
Z <- as.numeric(data_latih$Diff_Y)
n <- length(Z)
p <- 2
ar_mat <- embed(Z, p + 1)
Xt <- ar_mat[, 1]
X_lag1 <- ar_mat[, 2]
X_lag2 <- ar_mat[, 3]
df_ar <- data.frame(Xt, X_lag1, X_lag2)
ar_model <- lm(Xt ~ X_lag1 + X_lag2, data = df_ar)
summary(ar_model)
# -----
# UJI LINIERITAS DAN UJI TRANSISI
# -----

```

```

res_ar <- residuals(ar_model)
T <- length(res_ar)
SSE0 <- sum(res_ar^2)
# Regresi bantu dan uji LM
max_delay <- p
LM_stat <- rep(NA, max_delay)
p_value <- rep(NA, max_delay)
for (l in 1:max_delay) {
  # Variabel transisi
  st <- ar_mat[, 1 + l]
  st2 <- st^2
  st3 <- st^3
  aux_df <- data.frame(res_ar, X_lag1, X_lag2, st, st2, st3)
  aux_model <- lm(res_ar ~ X_lag1 + X_lag2 + X_lag1:st + X_lag2:st +
    X_lag1:st2 + X_lag2:st2 + X_lag1:st3 + X_lag2:st3, data = aux_df)
  SSE1 <- sum(resid(aux_model)^2)
  # Statistik LM
  LM_stat[l] <- T * (SSE0 - SSE1) / SSE0
  df_lm <- 3 * p
  p_value[l] <- 1 - pchisq(LM_stat[l], df = df_lm)}
# Hasil uji LM
hasil_lm <- data.frame(Delay = 1:max_delay, LM_stat = LM_stat, p_value = p_value)
print(hasil_lm)
# Delay terbaik
best_delay <- 1
# Estimasi regresi bantu dengan delay terbaik
st <- ar_mat[, 1 + best_delay]
st2 <- st^2
st3 <- st^3
aux_df_final <- data.frame(res_ar, X_lag1, X_lag2, st, st2, st3)
aux_model_final <- lm(res_ar ~ X_lag1 + X_lag2 + X_lag1:st + X_lag2:st +
  X_lag1:st2 + X_lag2:st2 + X_lag1:st3 + X_lag2:st3, data = aux_df_final)
summary(aux_model_final)
res_aux <- resid(aux_model_final)
SSE1 <- sum(resid(aux_model_final)^2)
# -----
# ESTIMASI MODEL LSTAR dengan Nelder Mead
# -----
Z <- as.numeric(data_latih$Diff_Y)
p <- 2
ar_mat <- embed(Z, p + 1)
Xt <- ar_mat[, 1]
Xlag <- ar_mat[, -1]
X_lag1 <- Xlag[, 1]
X_lag2 <- Xlag[, 2]
l <- best_delay
s_t <- Xlag[, l]
# Tracking
trace_vals <- c()
trace_params <- list()
# FUNGSI MODEL LSTAR
lstar_fitted <- function(param){
  phi10 <- param[1]; phi11 <- param[2]; phi12 <- param[3]
  phi20 <- param[4]; phi21 <- param[5]; phi22 <- param[6]

```

```

gamma <- param[7]; c <- param[8]
reg1 <- phi10 + phi11*Xlag[,1] + phi12*Xlag[,2]
reg2 <- phi20 + phi21*Xlag[,1] + phi22*Xlag[,2]
G <- 1/(1 + exp(-gamma*(s_t - c)))
return(reg1*(1-G) + reg2*G)}
# FUNGSI OBJEKTIF (NLS)
objective_nls <- function(param){
  if(param[7] <= 0) return(1e12)
  fitted <- lstar_fitted(param)
  SSE <- sum((Xt - fitted)^2)
  # simpan tracking
  trace_vals <- c(trace_vals, SSE)
  trace_params[[length(trace_vals)]] <- param
  return(SSE)}
# Nilai awal parameter
init_param <- c(-4.739, -0.163, -0.089, -4.739*0.1, -0.163*0.1, -0.089*0.1, 0.0075, -10)
# ESTIMASI NELDER-MEAD
lstar_nm <- optim(par = init_param, fn = objective_nls, method = "Nelder-Mead",
  control = list(maxit = 5000, reltol = 1e-8, trace=1, REPORT=1))
# HASIL ESTIMASI
print(lstar_nm$par)
# Cek tracking
df_trace <- data.frame( Iterasi = 1:length(trace_vals), SSE = trace_vals)
df_trace$Delta_SSE <- c(NA, abs(diff(trace_vals)))
# Visualisasi iterasi
options(digits = 15)
df_zoom <- subset(df_trace, Iterasi >= 300)
idx_min <- which.min(df_zoom$SSE)
sse_min <- df_zoom$SSE[idx_min]
iter_min <- df_zoom$Iterasi[idx_min]
# GRAFIK KONVERGENSI
p_zoom <- ggplot(df_zoom, aes(x = Iterasi, y = SSE)) +
  geom_line(color = "#2C7BE5", linewidth = 0.7) +
  annotate("point", x = iter_min, y = sse_min, color = "#E74C3C", size = 2.5) +
  annotate("text", x = iter_min - 70, y = sse_min + 85,
    label = paste0("Min = ", format(sse_min, big.mark = ".", decimal.mark = ",")),
    color = "#E74C3C", size = 3.5, fontface = "bold", hjust = 0) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(300, 584, by = 20)) +
  scale_y_continuous(
    labels = function(x)
      format(round(x, 6), big.mark = ".", decimal.mark = ","),
    breaks = seq(4985570, 4987900, by = 150),
    limits = c(4985570, NA),
    expand = expansion(mult = c(0.02, 0.08))) +
  labs(title = "Fungsi Objektif Nelder-Mead", subtitle = "Iterasi 300-584",
    x = "Iterasi", y = "Fungsi Objektif") +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(plot.title = element_text(face = "bold", hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
    panel.grid.minor = element_blank(),
    panel.grid.major = element_line(color = "gray85", linewidth = 0.4),
    axis.text = element_text(color = "black"),
    axis.title = element_text(size = 11))
print(p_zoom)

```

```

options(digits = 10)
df_error <- subset(df_trace, Iterasi >= 300 & Iterasi <= 584)
iter_min_err <- iter_min
err_min <- df_error$Delta_SSE[
  df_error$Iterasi == iter_min_err]
# Grafik Selisih Fungsi Objektif
p_error <- ggplot(df_error, aes(x = Iterasi, y = Delta_SSE)) +
  geom_line(color = "#E67E22", linewidth = 0.7) +
  geom_point(color = "#E67E22", size = 1.5) +
  annotate("point", x = iter_min_err, y = err_min, color = "#E74C3C", size = 2.5) +
  annotate("text", x = iter_min_err - 65, y = err_min + 25,
    label = paste0("Selisih = ",
      format(err_min, scientific = FALSE, big.mark = ".",
        decimal.mark = ",")),
    color = "#E74C3C", size = 3.5, fontface = "bold", hjust = 0) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(300, 584, by = 20)) +
  scale_y_continuous(labels = function(x) format(round(x, 6),
    big.mark = ".", decimal.mark = ","),
    breaks = seq(0, 450, by = 50), limits = c(0, 450),
    expand = expansion(mult = c(0.02, 0.08))) +
  labs(title = "Selisih Fungsi Objektif", subtitle = "Iterasi 300–584",
    x = "Iterasi", y = expression("Selisih Fungsi Objektif")) +
  theme_minimal(base_size = 13) +
  theme(plot.title = element_text(face = "bold", hjust = 0.5),
    plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5),
    panel.grid.minor = element_blank(),
    panel.grid.major = element_line(color = "gray85", linewidth = 0.4),
    axis.text = element_text(color = "black"),
    axis.title = element_text(size = 11))
print(p_error)
parameter <- lstar_nm$par
Xt_hat <- lstar_fitted(parameter)
res_lstar <- Xt - Xt_hat
adf.test(res_lstar)
# -----
# AUTOKORELASI RESIDUAL
# -----
max_lag <- 18
lb_table <- data.frame(Lag = 1:max_lag, Q_Stats = NA, p_value = NA)
for (k in 1:max_lag) {
  test <- Box.test(res_lstar, lag = k, type = "Ljung-Box")
  lb_table$Q_Stats[k] <- test$statistic
  lb_table$p_value[k] <- test$p.value}
options(digits = 5)
lb_table
# -----
# HETEROSKEDASTISITAS RESIDUAL
# -----
ArchTest(res_lstar, lags = 18)
# -----
# NORMALITAS RESIDUAL
# -----
ks.test(res_lstar, 'pnorm', mean(res_lstar), sd(res_lstar))
# -----

```



```

# PREDIKSI
# -----
lstar_predict_1step <- function(Xlag, param, delay){
  phi10 <- param[1]
  phi11 <- param[2]
  phi12 <- param[3]
  phi20 <- param[4]
  phi21 <- param[5]
  phi22 <- param[6]
  gamma <- param[7]
  c <- param[8]
  s_t <- Xlag[delay]
  G <- 1/(1 + exp(-gamma*(s_t - c)))
  reg1 <- phi10 + phi11*Xlag[1] + phi12*Xlag[2]
  reg2 <- phi20 + phi21*Xlag[1] + phi22*Xlag[2]
  pred <- reg1*(1-G) + reg2*G
  return(pred)}
param <- lstar_nm$par
delay <- best_delay
p <- 2
pred_test <- numeric(nrow(uji))
for(i in 1:nrow(uji)){
  current_index <- m_latih + i
  Xlag <- rev(differencing_df$Diff_Y[
    (current_index - p):(current_index - 1)])
  pred_test[i] <- lstar_predict_1step(Xlag, param, delay)}
hasil_prediksi <- data.frame(Tanggal = uji$Tanggal, Aktual = uji$Diff_Y,
  Prediksi = pred_test)
# -----
# INVERSE DIFFERENCING
# -----
X_awal_train <- tlkm$Y[1]
inv_train <- X_awal_train + cumsum(data_latih$Diff_Y) # Inverse Training
X_awal_test <- tail(inv_train, 1)
inv_test <- X_awal_test + cumsum(uji$Diff_Y) # Inverse Testing
pred <- hasil_prediksi$Prediksi
Y_last_train <- tail(inv_train, 1)
Y_test_asli <- tlkm$Y[(m_latih+2):length(tlkm$Y)]
inv_pred <- numeric(length(pred))
inv_pred[1] <- Y_last_train + pred[1]
for(i in 2:length(pred)){
  inv_pred[i] <- Y_test_asli[i-1] + pred[i]} # Inverse Prediksi
# Grafik Aktual dan Prediksi Data Testing
n <- min(length(inv_test), length(inv_pred))
hasil_plot <- data.frame(Tanggal = as.Date(uji$Tanggal[1:(n-1)]),
  Aktual = inv_test[1:(n-1)], Prediksi = inv_pred[2:n])
hasil_plot_test <- pivot_longer(hasil_plot, cols = c("Aktual", "Prediksi"),
  names_to = "Tipe", values_to = "Nilai")
ggplot(hasil_plot_test,
  aes(x = Tanggal, y = Nilai, color = Tipe, group = Tipe)) +
  geom_line(linewidth = 1) +
  geom_point(size = 1.7) +
  scale_color_manual(values = c("Aktual" = "blue", "Prediksi" = "#bcbd22")) +
  scale_x_date(date_breaks = "1 month", date_labels = "%d-%m-%Y") +

```

```

scale_y_continuous(breaks = seq(2200, 3800, by = 200), labels = scales::comma) +
coord_cartesian(ylim = c(2200, 3800)) +
labs(title = "Perbandingan Harga Saham Aktual dan Prediksi",
      subtitle = "Data Testing", x = "Periode", y = "Harga Saham TLKM") +
theme_minimal(base_size = 11) +
theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold", size = 15),
      plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, size = 11),
      axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1, size = 9),
      axis.title = element_text(size = 11),
      legend.position = c(0.11, 1),
      legend.direction = "horizontal",
      legend.title = element_blank())
# Menghitung Error Prediksi Data Testing
Error_test<- hasil_plot$Aktual - hasil_plot$Prediksi
# Grafik
error_test_df <- data.frame(Tanggal = hasil_plot$Tanggal, Error = Error_test)
ggplot(error_test_df,aes(x = Tanggal, y = Error)) +
  geom_line(color = "red",linewidth = 0.9) +
  geom_point(color = "darkred",size = 1.2) +
  geom_hline(yintercept = 0, linetype = "dashed", linewidth = 0.8) +
  scale_x_date(date_breaks = "1 months",date_labels = "%d-%m-%Y") +
  scale_y_continuous(limits = c(-200, 200), breaks = seq(-200, 200, by = 40),
                    labels = comma) +
  labs(title = "Error Prediksi Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)",subtitle = "Data
Testing", x = "Periode",y = "Error") +
  theme_minimal(base_size = 11) +
  theme(plot.title = element_text(hjust = 0.5, face = "bold",size = 15),
        plot.subtitle = element_text(hjust = 0.5, size = 11),
        axis.text.x = element_text(angle = 45, hjust = 1, size = 9),
        axis.text.y = element_text(size = 9),
        axis.title = element_text(size = 11),
        panel.grid.major = element_line(color = "grey80",linewidth = 0.5),
        panel.grid.minor = element_line(color = "grey88",linewidth = 0.3))
# -----
#  EVALUASI KINERJA MODEL
# -----
Mape_Lstar <- mean(abs((hasil_plot$Aktual - hasil_plot$Prediksi)/hasil_plot$Aktual),na.rm =
TRUE) * 100

```

RIWAYAT HIDUP



Nisaa Ati Suryani, yang akrab dipanggil Nisaa, lahir di Lamongan pada tanggal 26 Mei 2003. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan H. Suwandi dan Hj. Masfufah. Riwayat pendidikan penulis dimulai di KB-TK Al Falah Panggang dan lulus pada tahun 2009. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan dasar di MI Al Falah Panggang dan lulus pada tahun 2015. Pendidikan menengah pertama ditempuh di MTs Assa'adah II sekaligus menjadi santriwati di Pondok Pesantren Asyarifah Bungah selama tiga tahun dan lulus pada tahun 2018. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di MAN 1 Lamongan sekaligus menjadi santriwati di Asrama Bahrul Fawaid selama dua tahun dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2022, penulis melanjutkan studi ke jenjang perguruan tinggi di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang pada Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan akademik, seperti menjadi Asisten Laboratorium Praktikum Statistika Elementer pada tahun 2024 serta mengikuti beberapa program *bootcamp* untuk mengembangkan wawasan dan keterampilan.



BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Nisaa Ati Suryani
NIM : 220601110082
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi : Estimasi Nelder-Mead dalam Model *Logistic Smooth Transition Autoregressive* Pada Data Harga Saham PT Telkom Indonesia (Persero)
Dosen Pembimbing I : Abdul Aziz, M.Si.
Dosen Pembimbing II : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si.

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	12 Juli 2025	Konsultasi Topik	1.
2.	11 September 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	2.
3.	17 September 2025	Konsultasi Bab I, II, dan III	3.
4.	24 September 2025	ACC Bab I, II, dan III	4.
5.	25 September 2025	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	5.
6.	25 September 2025	ACC Kajian Agama Bab I dan II	6.
7.	29 Oktober 2025	ACC Seminar Proposal	7.
8.	3 Desember 2025	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	8.
9.	14 Januari 2026	Konsultasi Bab IV dan V	9.
10.	10 Februari 2026	Konsultasi Bab IV dan V	10.
11.	9 Maret 2026	Konsultasi Bab IV dan V	11.
12.	1 April 2026	Konsultasi Bab IV dan V	12.
13.	8 April 2026	ACC Bab IV dan V	13.
14.	11 April 2026	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	14.
15.	13 April 2026	ACC Kajian Agama Bab IV	15.



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp. / Fax. (0341) 558933

16.	21 April 2026	ACC Seminar Hasil	16.	
17.	29 April 2026	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	17.	
18.	1 Mei 2026	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	18.	
19.	6 Mei 2026	ACC Sidang Skripsi	19.	
20.	5 Juni 2026	ACC Keseluruhan	20.	

Malang, 5 Juni 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Fachrudin Rozi, M.Si

NIP. 19800527 200801 1 012