

**PERAMALAN HARGA PENUTUPAN *CRYPTOCURRENCY*  
MENGUNAKAN METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED  
MOVING AVERAGE (VARIMA)***

**SKRIPSI**



**UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh  
**EDO LEONARDO DEKAPRIYO**  
**H92218043**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA**

**2022**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : EDO LEONARDO DEKAPRIYO

NIM : H92218043

Program Studi : Matematika

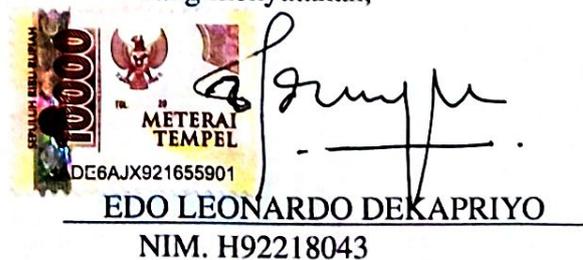
Angkatan : 2018

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "PERAMALAN HARGA PENUTUPAN *CRYPTOCURRENCY* MENGGUNAKAN METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (VARIMA)*". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 05 Juli 2022

Yang menyatakan,

  
EDO LEONARDO DEKAPRIYO  
NIM. H92218043

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

Nama : EDO LEONARDO DEKAPRIYO

NIM : H92218043

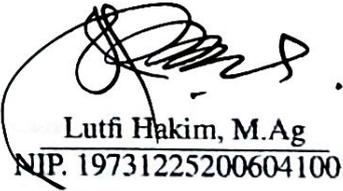
Judul Skripsi : PERAMALAN HARGA PENUTUPAN  
*CRYPTOCURRENCY MENGGUNAKAN METODE  
VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING  
AVERAGE (VARIMA)*

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Pembimbing I

  
Putroue Keumala Intan, M.Si  
NIP. 198805282018012001

Pembimbing II

  
Lutfi Hakim, M.Ag  
NIP. 197312252006041001

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Matematika  
UIN Sunan Ampel Surabaya

  
Aris Fanani, M.Kom  
NIP. 198701272014031002

## PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi oleh

Nama : EDO LEONARDO DEKAPRIYO  
NIM : H92218043  
Judul Skripsi : PERAMALAN HARGA PENUTUPAN  
CRYPTOCURRENCY MENGGUNAKAN METODE  
VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING  
AVERAGE (VARIMA)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 05 Juli 2022

Mengesahkan,  
Tim Penguji

Penguji I

  
Nurissidah Wulnuha, M.Kom  
NIP. 199011022014032004

Penguji II

  
Aris Fanani, M.Kom  
NIP. 198701272014031002

Penguji III

  
Putroue Keumala Intan, M.Si  
NIP. 198805282018012001

Penguji IV

  
Lutfi Hakim, M.Ag  
NIP. 197312252006041001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UIN Sunan Ampel Surabaya  
  
Muhammad Hamdani, M.Pd  
NIP. 197507312000031002



**KEMENTERIAN AGAMA**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA**  
**PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300  
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI**  
**KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : EDO LEONARDO DEKAPRIYO  
NIM : H92218043  
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI / MATEMATIKA  
E-mail address : dekapriyo24@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

Skripsi     Tesis     Desertasi     Lain-lain (.....)

yang berjudul :

PERAMALAN HARGA PENUTUPAN CRYPTOCURRENCY  
MENGGUNAKAN METODE VECTOR AUTOREGRESSIVE  
INTEGRATED MOVING AVERAGE (VARIMA)

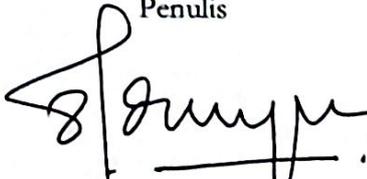
beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 20 Juli 2022

Penulis

  
(EDO LEONARDO D.)  
*nama terang dan tanda tangan*

## ABSTRAK

### PERAMALAN HARGA PENUTUPAN *CRYPTOCURRENCY* MENGUNAKAN METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (VARIMA)*

*Cryptocurrency* merupakan mata uang virtual yang menggunakan teknologi blockchain dan algoritma kriptografi sebagai sistem keamanannya. Penggunaan *cryptocurrency* menjadi salah satu instrumen berinvestasi dimana memiliki volatilitas yang tinggi sehingga dapat memberikan keuntungan yang besar, namun harus tepat kapan melakukan jual beli aset. Tujuan dari penelitian ini adalah meramalkan harga penutupan *cryptocurrency* menggunakan metode VARIMA untuk meminimalisir risiko kerugian. Data yang digunakan terdiri dari Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin pada tanggal 01 Januari - 30 November 2021 untuk data *insample* dan pada bulan Desember 2021 untuk data *outsample*. Hasil penelitian didapatkan 3 model VARIMA dengan nilai AICC minimum yaitu VARIMA (1,1,0), VARIMA (1,1,1), dan VARIMA (2,1,0). Dari model tersebut, didapatkan model terbaik yang digunakan peramalan *cryptocurrency* yaitu VARIMA (2,1,0) dengan rata-rata nilai MAPE sebesar 2,722% yang dikatakan sangat akurat untuk peramalan.

**Kata kunci:** Peramalan, *Cryptocurrency*, Bitcoin, VARIMA

## ABSTRACT

### CRYPTOCURRENCY CLOSING PRICE FORECASTING USING VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE (VARIMA) METHOD

Cryptocurrency is a virtual currency that uses blockchain technology and cryptography algorithms as a security system. The use of cryptocurrency is one of the instruments of investing where it has high volatility so that it can provide great advantages, but it should be appropriate when buying an asset. The purpose of this research is to forecast the price of cryptocurrency closure using the VARIMA method to minimize the risk of losses. The data used consists of Bitcoin, Ethereum, and Binance Coin on January 01 - November 30, 2021, for in-sample data and in December 2021 for our sample data. Research results obtained 3 VARIMA models with the minimum AICC value, VARIMA (1,1,0), VARIMA (1,1,1), and VARIMA (2,1,0). From the taste models obtained, the best models used cryptocurrency forecasting, VARIMA (2,1,0), with an average MAPE value of 2,722%, which is said to be very accurate for forecasting.

**Keywords:** Forecasting, *Cryptocurrency*, Bitcoin, VARIMA

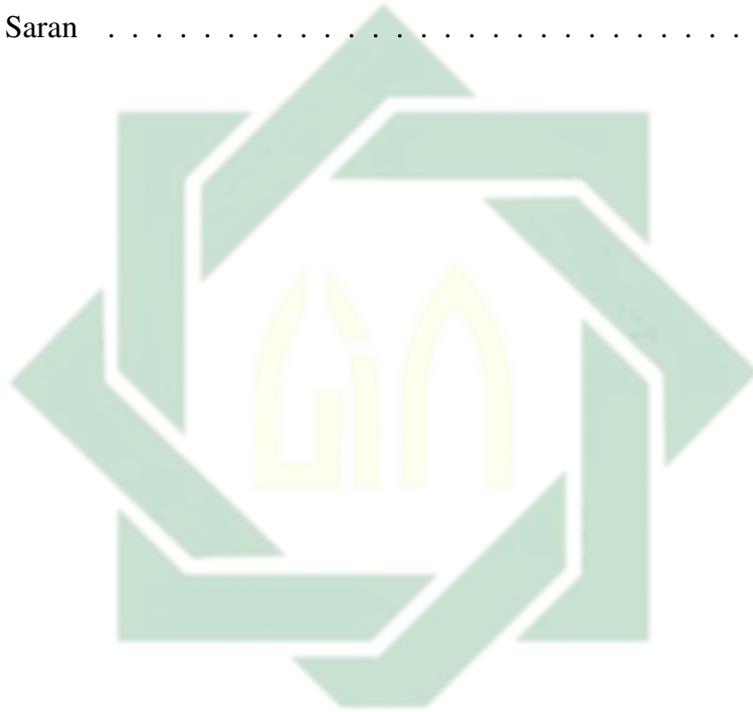
UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING</b>	<b>iii</b>
<b>PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>1</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>4</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>6</b>
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>7</b>
1.1. Latar Belakang Masalah	7
1.2. Rumusan Masalah	15
1.3. Tujuan Penelitian	15
1.4. Manfaat Penelitian	16
1.5. Batasan Masalah	16
1.6. Sistematika Penulisan	17
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>18</b>
2.1. <i>Cryptocurrency</i>	18
2.1.1. Bitcoin	19
2.1.2. Ethereum	20
2.1.3. Binance Coin	22
2.2. <i>Cryptocurrency</i> Dalam Perspektif Islam	23
2.3. Analisis Koefisien Korelasi <i>Pearson Product Moment</i>	26
2.4. Kestasioneran Data	27
2.4.1. Stasioner Dalam Varians	29
2.4.2. Stasioner Dalam Mean	31

2.5.	Identifikasi Model VARIMA . . . . .	32
2.5.1.	<i>Matrix Autocorrelation Function</i> (MACF) . . . . .	33
2.5.2.	<i>Matrix Partial Autocorrelation Function</i> (MPACF) . . . . .	34
2.5.3.	<i>Akaike Information Criteria Corrected</i> (AICC) . . . . .	37
2.5.4.	Model VARIMA . . . . .	37
2.6.	Estimasi Parameter dan Pengujian Signifikan . . . . .	42
2.7.	Uji Asumsi Residual . . . . .	43
2.7.1.	Uji <i>White Noise</i> . . . . .	43
2.7.2.	Uji Distribusi Multivariat Normal . . . . .	44
2.8.	Tingkat Akurasi Model . . . . .	46
<b>III</b>	<b>METODE PENELITIAN . . . . .</b>	<b>47</b>
3.1.	Sumber dan Struktur Data . . . . .	47
3.2.	Langkah-Langkah Penelitian . . . . .	48
<b>IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN . . . . .</b>	<b>51</b>
4.1.	Deskriptif Data . . . . .	51
4.2.	Koefisien Korelasi <i>Pearson Product Moment</i> . . . . .	54
4.3.	Kestasioneran Data . . . . .	55
4.3.1.	Stasioner Dalam Varians . . . . .	55
4.3.2.	Stasioner Dalam Mean . . . . .	60
4.4.	Identifikasi Model VARIMA . . . . .	64
4.5.	Estimasi Parameter dan Pengujian Signifikan . . . . .	68
4.5.1.	Model VARIMA (1,1,0) . . . . .	68
4.5.2.	Model VARIMA (1,1,1) . . . . .	72
4.5.3.	Model VARIMA (2,1,0) . . . . .	76
4.6.	Uji Asumsi Residual . . . . .	80
4.6.1.	Uji <i>White Noise</i> VARIMA (1,1,0) . . . . .	81
4.6.2.	Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (1,1,0) . . . . .	83
4.6.3.	Uji <i>White Noise</i> VARIMA (1,1,1) . . . . .	86
4.6.4.	Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (1,1,1) . . . . .	88
4.6.5.	Uji <i>White Noise</i> VARIMA (2,1,0) . . . . .	92

4.6.6. Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (2,1,0) . . . . .	94
4.7. Pemilihan Model Terbaik . . . . .	97
4.8. Peramalan Harga <i>Cryptocurrency</i> . . . . .	98
4.9. Integrasi Keislaman . . . . .	102
<b>V PENUTUP . . . . .</b>	<b>105</b>
5.1. Kesimpulan . . . . .	105
5.2. Saran . . . . .	106

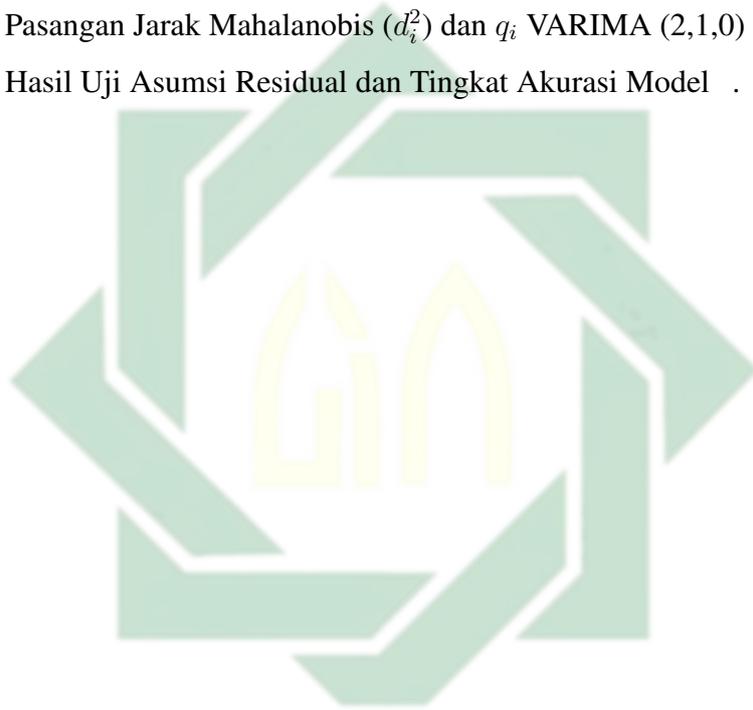


UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR TABEL

2.1	Interpretasi Tingkat Korelasi . . . . .	27
2.2	Nilai <i>Rounded Value</i> ( $\lambda$ ) dan Transformasi Box-Cox . . . . .	30
2.3	Kriteria Nilai MAPE . . . . .	46
3.1	Struktur Data . . . . .	47
4.1	Deskriptif Data <i>Cryptocurrency</i> . . . . .	51
4.2	Nilai Korelasi Ketiga <i>Cryptocurrency</i> . . . . .	54
4.3	Hasil Transformasi Box-Cox I Harga Penutupan Ethereum . . . . .	57
4.4	Hasil Transformasi Box-Cox I Harga Penutupan Binance Coin . . . . .	59
4.5	Perhitungan <i>Differencing</i> Bitcoin . . . . .	61
4.6	Perhitungan <i>Differencing</i> Ethereum . . . . .	62
4.7	Perhitungan <i>Differencing</i> Binance Coin . . . . .	63
4.8	Uji <i>Augmented Dickey Fuller</i> . . . . .	64
4.9	Nilai <i>Matrix Autocorrelation Function</i> Setelah <i>Differencing</i> . . . . .	66
4.10	Nilai <i>Partial Cross Corelations Function</i> Setelah <i>Differencing</i> . . . . .	67
4.11	<i>Minimum Information Criterion Based on AICC</i> . . . . .	67
4.12	Estimasi Parameter VARIMA (1,1,0) . . . . .	69
4.13	Estimasi Parameter VARIMA (1,1,0) setelah <i>restrict</i> . . . . .	69
4.14	Estimasi Parameter VARIMA (1,1,1) . . . . .	72
4.15	Estimasi Parameter VARIMA (1,1,1) setelah <i>restrict</i> . . . . .	73
4.16	Estimasi Parameter VARIMA (2,1,0) . . . . .	76
4.17	Estimasi Parameter VARIMA (2,1,0) setelah <i>restrict</i> . . . . .	77
4.18	Hasil Uji <i>White Noise</i> VARIMA (1,1,0) . . . . .	82
4.19	Residual VARIMA (1,1,0) . . . . .	83
4.20	Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) VARIMA (1,1,0) . . . . .	85
4.21	Pasangan Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) dan $q_i$ VARIMA (1,1,0) . . . . .	85
4.22	Hasil Uji <i>White Noise</i> VARIMA (1,1,1) . . . . .	88

4.23	Residual VARIMA (1,1,1) . . . . .	89
4.24	Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) VARIMA (1,1,1) . . . . .	90
4.25	Pasangan Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) dan $q_i$ VARIMA (1,1,1) . . . . .	91
4.26	Hasil Uji <i>White Noise</i> VARIMA (2,1,0) . . . . .	93
4.27	Residual VARIMA (2,1,0) . . . . .	94
4.28	Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) VARIMA (2,1,0) . . . . .	96
4.29	Pasangan Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) dan $q_i$ VARIMA (2,1,0) . . . . .	96
4.30	Hasil Uji Asumsi Residual dan Tingkat Akurasi Model . . . . .	98



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

## DAFTAR GAMBAR

2.1	Grafik Data Historis Bitcoin Tahun 2019 hingga 2021 . . . . .	20
2.2	Grafik Data Historis Ethereum Tahun 2019 hingga 2021 . . . . .	21
2.3	Grafik Data Historis Binance Coin Tahun 2019 hingga 2021 . . . . .	22
3.1	<i>Flowchart</i> Penelitian . . . . .	48
4.1	Plot Data Harga Penutupan Bitcoin . . . . .	52
4.2	Plot Data Harga Penutupan Ethereum . . . . .	53
4.3	Plot Data Harga Penutupan Binance Coin . . . . .	53
4.4	Transformasi Box-Cox Harga Penutupan Bitcoin . . . . .	56
4.5	Transformasi Box-Cox Harga Penutupan Ethereum . . . . .	56
4.6	Transformasi Box-Cox I Harga Penutupan Ethereum . . . . .	58
4.7	Transformasi Box-Cox Harga Penutupan Binance Coin . . . . .	58
4.8	Transformasi Box-Cox Pertama Harga Penutupan Binance Coin . . . . .	60
4.9	Plot <i>Differencing</i> Harga Bitcoin . . . . .	61
4.10	Plot <i>Differencing</i> Harga Ethereum . . . . .	62
4.11	Plot <i>Differencing</i> Harga Binance Coin . . . . .	63
4.12	Plot <i>Matrix Autocorrelation Function</i> . . . . .	66
4.13	Plot <i>Matrix Partial Autocorrelation Function</i> . . . . .	67
4.14	QQ Plot Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (1,1,0) . . . . .	86
4.15	QQ Plot Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (1,1,1) . . . . .	91
4.16	QQ Plot Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (2,1,0) . . . . .	97
4.17	Plot Data <i>Outsample</i> dan Hasil Peramalan Harga Penutupan Bitcoin Bulan Desember 2021 . . . . .	99
4.18	Plot Data <i>Outsample</i> dan Hasil Peramalan Harga Penutupan Ethereum Bulan Desember 2021 . . . . .	100
4.19	Plot Data <i>Outsample</i> dan Hasil Peramalan Harga Penutupan Binance Bulan Desember 2021 . . . . .	101

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Sebagai simbol kedaulatan negara yang harus dihormati dan dibanggakan, salah satunya adalah mata uang. Setiap negara pastinya memiliki mata uang tersendiri yang dipergunakan sebagai alat pembayaran dan penukaran barang yang sah dalam perekonomian (Genady, 2018). Uang merupakan alat penunjang perekonomian yang sangat penting untuk memenuhi segala kebutuhan. Seiringnya berkembangnya zaman, banyak kebutuhan pun yang harus dipenuhi, sehingga manusia melakukan berbagai cara untuk memenuhi kebutuhan tersebut dengan melakukan pertukaran barang atau disebut dengan barter (Sari, 2016).

Proses barter telah dilakukan berabad-abad dan menunjukkan adanya keinginan bersama dalam memenuhi kebutuhan. Akan tetapi, proses ini tidak berlangsung lama sampai saat ini karena tuntutan kebutuhan yang semakin kompleks sehingga tidak terpenuhinya kebutuhan. Karena menjadi alat transaksi utama dalam perekonomian dan terus mengalami perubahan zaman, pada akhirnya terciptanya mata uang logam dan kertas sebagai alat pembayaran yang sah (Rumapea et al., 2019). Uang memiliki peranan penting diantaranya sebagai satuan hitung suatu harga barang, sebagai penyimpan nilai atau investasi, dan sebagai transaksi jual beli (Affandi, 2020).

Di era globalisasi, perkembangan teknologi memberikan dampak bagi kehidupan sebagian kalangan masyarakat. Adanya teknologi, seluruh aktivitas

masyarakat tidak lepas dari *smartphone*, termasuk kegiatan transaksi jual-beli yang bisa dilakukan dengan sistem non-tunai dengan penggunaan uang elektronik. Uang elektronik diciptakan sebagai pengganti uang tunai dan memiliki fungsi yang sama, serta memberikan transaksi yang efektif, efisien, dan pastinya aman bagi pembeli maupun penjual (Tazkiyyaturrohmah, 2018). Berdasarkan peraturan Bank Indonesia Nomor 16/8/PBI/2014 pasal 1 ayat 3, dikatakan uang elektronik apabila memenuhi unsur-unsur sebagai berikut (Ramadhan et al., 2016).

- (i) Diterbitkan atas dasar nilai uang yang disetor terlebih dulu kepada penerbit.
- (ii) Uang yang disimpan dalam media server.
- (iii) Alat pembayaran kepada pedagang yang bukan penerbit uang elektronik.
- (iv) Nilai uang elektronik dikelola penerbit bukan simpanan sebagaimana dimaksud dalam UU mengenai perbankan.

Dengan ketentuan tersebut, dapat dikatakan bahwa uang elektronik merupakan uang nonfisik dan berpotensi menggantikan uang kertas dan logam sebagai alat pembayaran (Nugroho and Krisnadi, 2018). Selain sebagai alat transaksi, uang elektronik juga dapat digunakan sebagai investasi. Investasi atau istilah lain menabung merupakan suatu bentuk usaha dimana melakukan penanaman modal dengan tujuan mendapatkan kehidupan yang lebih baik lagi. Dengan berinvestasi, manusia akan selalu hidup hemat dan tidak berperilaku konsumtif atau pemboros. Karena dalam ajaran Islam, Allah Swt. sangat membenci orang yang boros seperti dalam QS. al-Isra' ayat 27.

﴿٢٧﴾ إِنَّ الْمُبْدِرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيْطَانِ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا

Artinya: “*Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudara syaitan dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya*” (QS. al-Isra: 27). Dalam ayat tersebut menjelaskan bahwa manusia harus berperilaku hemat, salah satunya menabung dan menghindari perilaku boros. Karena pemboros sama halnya dengan syaitan dan syaitan sangat ingkar kepada Tuhannya.

Memiliki kebiasaan menabung atau berinvestasi, akan terhindar dari hal-hal yang menghamburkan harta seperti belanja berlebihan yang tidak sesuai kebutuhan serta perilaku – perilaku yang tidak bermanfaat. Harta yang dimiliki haruslah bermanfaat bagi orang lain seperti kepada keluarga dekat, fakir miskin, dan orang-orang yang membutuhkan. Bermanfaatnya harta yang dimiliki, sama halnya berinvestasi di akhirat nanti, karena bagaimanapun sebanyak-banyaknya harta, akan hilang setelah meninggal dunia seperti dalam Hadist Riwayat Muslim No. 3084.

حَدَّثَنَا يَحْيَى بْنُ أَبِي هُرَيْرَةَ أَنَّ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ إِذَا مَاتَ الْإِنْسَانُ انْقَطَعَ عَنْهُ عَمَلُهُ إِلَّا مِنْ ثَلَاثَةٍ إِلَّا مِنْ صَدَقَةٍ جَارِيَةٍ أَوْ عِلْمٍ يُنْتَفَعُ بِهِ أَوْ وَلَدٍ صَالِحٍ يَدْعُو لَهُ

Artinya: “*Telah menceritakan kepada kami [Yahya bin Ayyub] dan [Qutaibah] yaitu Ibnu Sa'id dan [Ibnu Hujr] mereka berkata: telah menceritakan kepada kami [Ismail] yaitu Ibnu Ja'far dari [al 'Ala] dari [ayahnya] dari [Abu Harairah], bahwa Rasulullah SAW bersabda: apabila salah seorang manusia meninggal dunia, maka terputuslah segala amalannya kecuali tiga perkara yaitu sedekah jariyah, ilmu yang bermanfaat, dan anak shalih yang mendoakannya*” (HR. Muslim No 3084). Dalam hadist tersebut menjelaskan bahwa setelah

manusia meninggal akan hilang segala apa yang dimilikinya di dunia, termasuk harta benda. Akan tetapi, apabila harta yang dimiliki bermanfaat bagi orang lain, sama halnya berinvestasi di akhirat yang tidak pernah hilang meskipun telah meninggal dunia.

Melakukan investasi tidak harus membeli suatu barang seperti properti, emas fisik, atau berupa barang lainnya. Gaya hidup masyarakat yang saat ini selalu melibatkan teknologi dengan harapan memberikan kehidupan menjadi efektif dan efisien, banyak instrumen dalam melakukan berinvestasi seperti pembelian lot saham, emas non fisik, yang mana melibatkan uang elektronik sebagai alat transaksi. Sebagai pengganti uang fisik, uang elektronik yang dikenal saat ini oleh seluruh penjuru dunia sekaligus sebagai salah satu alternatif investasi yang semakin berkembang dalam pengetahuan dan teknologi adalah *cryptocurrency*.

Mata uang *cryptocurrency* merupakan mata uang virtual yang menggunakan teknologi blockchain dan algoritma kriptografi dalam sistem keamanannya. Transaksi *cryptocurrency* lebih transparan tanpa adanya pihak ketiga, seperti bank konvensional. Hal tersebut yang menjadikan keunggulan mata uang *cryptocurrency* dibandingkan mata uang konvensional (Ferdous et al., 2021). Penggunaan mata uang *cryptocurrency* sangat efektif dengan waktu yang cukup cepat dan proteksi keamanan yang terpercaya sehingga tidak dapat dipindah atau dipalsukan oleh pihak lain (Disemadi and Delvin, 2021). Prinsip transaksi *cryptocurrency* adalah sistem jual beli, sama halnya saham. Transaksi dilakukan secara serah terima aset yang dibeli maupun dijual, seperti transaksi jual beli pada umumnya asalkan sesuai dengan syariatnya. Dalam ajaran Islam, transaksi jual beli seperti saham atau *cryptocurrency* merupakan bentuk muamalah yang mana hukumnya diperbolehkan seperti dalam kaidah fiqih berikut.

## الأصل في الشُّرُوطِ فِي الْمَعَامَلَاتِ الْحِلُّ وَالْإِبَاحَةُ إِلَّا بِدَلِيلٍ

Artinya: “*Hukum asal semua bentuk muamalah adalah mubah (boleh), kecuali ada dalil yang mengharamkannya (melarang)*”. Berdasarkan kaidah fiqh tersebut menjelaskan bahwa segala kegiatan muamalah, seperti sewa menyewa, upah mengupah, termasuk transaksi jual beli seperti *cryptocurrency* hukumnya mubah (diperbolehkan). Akan tetapi, jika terdapat dalil yang melarangnya, maka hukumnya haram.

Di masa pandemi Covid-19, *cryptocurrency* menjadi hal yang fenomenal di seluruh penjuru dunia. Menurut CEO Indodax, Oscar Darmawan mengatakan bahwa, kapitalisasi pasar *cryptocurrency* mencapai USD 2 Triliun atau setara Rp 30.000 Triliun pada tahun 2021, dimana mengalami kenaikan yang sebelumnya tahun 2020 kapitalisasi pasar *cryptocurrency* sebesar USD 767 Miliar (Purnomo, 2021). Hal tersebut menunjukkan bahwa banyak orang yang mulai tertarik dengan mata uang *cryptocurrency*. Akan tetapi, tidak semua negara memperbolehkan *cryptocurrency* menjadi alat transaksi dinegaranya, termasuk Indonesia. Meskipun di Indonesia melarang *cryptocurrency* sebagai alat transaksi, akan tetapi pemerintahan Indonesia memberikan kejelasan dengan membuat peraturan penggunaan mata uang *cryptocurrency*.

Badan Pengawas Perdagangan Berjangka Komoditi (BAPPEBTI) telah membuat peraturan No. 5 tahun 2019 tentang ketentuan teknis penyelenggaraan pasar fisik aset *cryptocurrency*. Dalam peraturan tersebut menjelaskan bahwa *cryptocurrency* termasuk kelompok komoditi karena memiliki peluang di masa yang akan datang dan menjelaskan bahwa *cryptocurrency* tidak diperbolehkan sebagai alat pembayaran di Indonesia (Cadizza and Yusandy, 2021). Karena

sebagai komoditi berjangka, menjadikan *cryptocurrency* sebagai investasi jangka panjang atau jangka pendek. Potensi keuntungan investasi *cryptocurrency* sangatlah besar, sebagai contoh harga Bitcoin pada tanggal 15 Agustus 2021 berkisar 676 juta rupiah per koin dan pada tanggal 14 Oktober 2021 harga Bitcoin mencapai 829 juta rupiah per koin. Apabila investor membeli aset Bitcoin pada tanggal 15 Agustus 2021, dan menjual aset yang dimiliki pada tanggal 14 Oktober 2021, maka akan mendapatkan keuntungan sebesar 153 juta rupiah. Hal tersebutlah yang menjadi ketertarikan masyarakat untuk berinvestasi *cryptocurrency*.

Selain memiliki keunggulan dibandingkan mata uang konvensional, penggunaan *cryptocurrency* sebagai investasi juga memiliki risiko yang tinggi karena pergerakan harga *cryptocurrency* (volatilitas) mengalami kenaikan atau penurunan tergantung jumlah permintaan (*demand*) dan persediaan (*supply*) (Kim et al., 2021). Hal tersebut yang membuat investor akan mendapatkan keuntungan atau mengalami kerugian, sehingga menganalisis pergerakan harga *cryptocurrency* di waktu mendatang sangat diperlukan. Meskipun volatilitas harga *cryptocurrency* mengalami kenaikan atau penurunan yang kurang stabil, dengan melakukan analisis dapat menentukan waktu yang tepat bertransaksi. Menurut (Hyndman, 2018) dalam penelitian (Pradana and Lestanti, 2020), hal utama dalam melakukan prediksi data *time series* adalah tingkat akurasi dari model tersebut.

Terdapat penelitian sebelumnya yang memprediksi harga *cryptocurrency* diantaranya Peramalan Harga Bitcoin Menggunakan Metode ARIMA dimana penelitian tersebut memprediksi Bitcoin selama 1 bulan ke depan dan menghasilkan akurasi sangat baik sebesar 95% (Salwa et al., 2018). Penelitian selanjutnya yaitu Analisis Volatilitas *Cryptocurrency* Untuk Estimasi *Value At Risk*

Menggunakan Model Garch yang mana penelitian tersebut menganalisis volatilitas untuk estimasi risiko dan berdasarkan hasil tingkat kepercayaan dengan pendekatan *Cornish Fisher Expansion* yaitu Bitcoin sebesar 0,021, Ethereum sebesar 0,031, dan Ripple sebesar 0,041 (Khohir, 2020). Penelitian selanjutnya yaitu Aplikasi Peramalan Kurs Bitcoin-Rupiah Dengan Menggunakan Metode *Double Exponential Smoothing* yang mana penelitian tersebut menggunakan 5 data per hari selama 10 hari dan menghasilkan tingkat akurasi 70% (Darnila et al., 2019).

Pada penelitian ini, akan melakukan prediksi harga *cryptocurrency* Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin. Karena berdasarkan data coinmarketcap pada tahun 2021, kapitalisasi pasar Bitcoin mencapai USD 1,23 Triliun yang berada di peringkat pertama, Ethereum mencapai USD 554,81 Miliar menjadi peringkat kedua, sedangkan Binance Coin mencapai USD 109 Miliar berada di peringkat ketiga. Selain berdasarkan kapitalisasi pasar terbesar diaset *cryptocurrency*, menurut penelitian (Ciaian et al., 2018) menunjukkan bahwa harga altcoin (*alternative coin*) termasuk Ethereum dan Binance Coin dipengaruhi *real shock* dalam harga Bitcoin dan mengingat adanya pola yang sama dalam Bitcoin dengan perkembangan harga altcoin, sehingga terdapat suatu alasan bahwa Bitcoin dan altcoin saling ketergantungan. Sedangkan berdasarkan penelitian (Mallick, 2020), mengungkapkan bahwa Bitcoin dan Binance Coin saling mempengaruhi dan harga Binance bergantung pada volume perdagangan harga Bitcoin, serta di masa pandemi Covid-19 korelasi antar keduanya meningkat menjadi 0,84. Maka dari itu, selain memprediksi juga akan mengetahui hubungan antar ketiga *cryptocurrency* tersebut dan dengan itu akan menjadi peluang return dari ketiganya, sehingga metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Vector*

*Autoregressive Integrated Moving Average (VARIMA).*

Metode VARIMA merupakan bentuk vektor dari model *Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)* dan melibatkan data multivariat atau lebih dari satu variabel. Model VARIMA yang terbentuk, menggambarkan hubungan antara pengamatan sebelumnya pada variabel yang sama dan pengamatan variabel lainnya pada periode sebelumnya, dimana variabel yang digunakan merupakan variabel endogen atau variabel yang dipengaruhi atau mempengaruhi variabel lain (Apriliani, 2022). Metode VARIMA terdiri dari *Vector Autoregressive (VAR)*, *Vector Moving Average (VMA)*, *Vector Autoregressive Moving Average (VARMA)*, dan *Vector Autoregressive Integrated Moving Average (VARIMA)*.

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya menggunakan metode VARIMA antara lain Peramalan Harga Saham Menggunakan Metode VARMA dengan penelitian saham PT. Kimia Farma dan PT. Indo Farma yang mana menunjukkan hasil akurasi yang sangat akurat dengan nilai MAPE masing-masing sebesar 3,49% dan 2,49% (Ulya, 2019). Penelitian selanjutnya yaitu *Application of Clustering and VARIMA for Rainfall Prediction* dimana hasil penelitian menunjukkan model terbaik dengan nilai AIC terkecil 8,510 yaitu VARIMA (1,1,2) dan *clustering* pada Pelabuhan Perikanan Samudra (PPS) (Rusyana et al., 2020). Penelitian selanjutnya yaitu *Modeling of Covid-19 in Indonesia Using Vector Autoregressive Integrated Moving Average* dengan hasil penelitian menunjukkan model terbaik dan nilai AICC terkecil yaitu VARIMA (1,1,1). Model tersebut menunjukkan jumlah kasus positif dan kematian Covid-19 periode sebelumnya mempengaruhi jumlah kematian dan kasus Covid-19 saat ini (Meimela et al., 2021).

Berdasarkan penjelasan dan penelitian sebelumnya, maka penulis akan melakukan penelitian berjudul “Peramalan Harga Penutupan *Cryptocurrency* Menggunakan Metode *Vector Autoregressive Integrated Moving Average* (VARIMA)”. Dengan penelitian ini dapat mengidentifikasi hubungan antara Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin sehingga menjadi peluang dari ketiga *cryptocurrency* tersebut. Selain itu, dengan melakukan peramalan dapat meminimalkan risiko dalam berinvestasi *cryptocurrency*.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Bagaimana pemodelan harga penutupan *cryptocurrency* Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin terbaik menggunakan metode VARIMA?
2. Bagaimana hubungan antara mata uang Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin berdasarkan model VARIMA terbaik?
3. Bagaimana tingkat akurasi peramalan harga penutupan *cryptocurrency* Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin berdasarkan model VARIMA terbaik?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memodelkan harga penutupan *cryptocurrency* Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin terbaik menggunakan metode VARIMA.

2. Mengetahui hubungan pergerakan mata uang Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin berdasarkan model VARIMA.
3. Mengetahui tingkat akurasi peramalan harga penutupan *cryptocurrency* Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin berdasarkan model VARIMA terbaik.

#### 1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pemahaman dalam penerapan model VARIMA untuk meramalkan harga *cryptocurrency*.
2. Membantu investor dalam meramalkan harga *cryptocurrency* di periode yang akan datang untuk dijadikan acuan berinvestasi.

#### 1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menggunakan data sekunder yang diakses melalui situs coinmarketcap.com yaitu harga penutupan *cryptocurrency* Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin pada tanggal 01 Januari sampai 30 November 2021.
2. Model VARIMA terbaik dipilih berdasarkan nilai minimum *Akaike Information Criteria Corrected* (AICC) yang mempertimbangkan banyaknya model parameter.

## 1.6. Sistematika Penulisan

Bagian ini berisi tentang paparan garis besar isi tiap bab.

### 1. BAB I PENDAHULUAN

Bab pendahuluan menjelaskan latar belakang permasalahan dalam melakukan penelitian, rumusan masalah yang diangkat, tujuan dan manfaat yang diperoleh dari penelitian ini.

### 2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Kajian pustaka menjelaskan landasan teori tentang *cryptocurrency* Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin, *cryptocurrency* dalam perspektif Islam dan metode VARIMA.

### 3. BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian menjelaskan sistematika penyelesaian penelitian dalam menentukan model terbaik untuk peramalan harga *cryptocurrency*.

### 4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan menjelaskan tentang penduga parameter model VARIMA dan hasil peramalan harga *cryptocurrency* Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin dengan model terbaik.

### 5. BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan untuk jawaban rumusan masalah penelitian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. *Cryptocurrency*

Arti kata *cryptocurrency* berasal dari *cryptography* yang artinya kode rahasia dan *currency* yang berarti mata uang. *Cryptocurrency* merupakan mata uang menggunakan teknologi blockchain berbasis kriptografi dan bahasa algoritma yang secara otomatis menyusun kode rahasia, sehingga terjamin keamanannya dan tidak dapat dipalsukan (Wibowo, 2019). Fungsi dari Mata uang *cryptocurrency* sama halnya dengan uang konvensional, hanya saja berupa non-fisik atau uang elektronik. Di beberapa negara, *cryptocurrency* menjadi hal yang fenomenal global saat ini seperti Amerika Serikat, El Salvador, Uni Eropa yang memperbolehkan *cryptocurrency* sebagai alat transaksi di negaranya (Hambali and Huda, 2020). Hal tersebut dikarenakan penggunaan yang cukup mudah, bersifat transparan, dan hanya orang yang memiliki akses saja untuk dapat melakukan transaksi. Terdapat tiga cara penggunaan *cryptocurrency* yaitu terdiri dari pembayaran, investasi, dan perdagangan berjangka (Azizah and Irfan, 2020).

Meskipun beberapa negara memperbolehkan *cryptocurrency* sebagai alat pembayaran, terdapat beberapa negara yang tidak memperbolehkan *cryptocurrency* di negaranya seperti Rusia, China, Ekuador, termasuk di Indonesia. Pemerintahan Indonesia tidak memperbolehkan mata uang *cryptocurrency* sebagai alat pembayaran, karena telah diatur dalam UU No 7 tahun 2011 tentang mata uang dan UU No 23 tahun 1999 tentang Bank Indonesia, yang ditetapkan bahwa

alat pembayaran yang sah dan diakui di Indonesia adalah rupiah. Akan tetapi, BAPPEBTI telah menetapkan *cryptocurrency* sebagai subjek komoditi yang dapat diperdagangkan dibursa berjangka (Taniady et al., 2021).

Selain sebagai alat pembayaran, *cryptocurrency* juga menjadi salah satu alternatif investasi. Mata uang *cryptocurrency* sangat digemari oleh banyak orang secara nasional maupun internasional, karena dapat memberikan keuntungan. Akan tetapi, risiko berinvestasi yang dihadapi juga sangat tinggi, sehingga sangat diperlukan langkah yang tepat dalam menganalisa pasar market *cryptocurrency* dengan tujuan meminimalkan risiko (Bunjaku et al., 2017). Terdapat berbagai jenis mata uang *cryptocurrency* diantaranya Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin.

### **2.1.1. Bitcoin**

Salah satu jenis *cryptocurrency* yang pertama kali diciptakan dan menjadi fenomenal global saat ini adalah Bitcoin. Mata uang Bitcoin dengan simbol BTC diciptakan pada tahun 2009 oleh Satoshi Nakamoto dengan tujuan menghilangkan pihak kendali seluruh sistem seperti bank konvensional. Penggunaan Bitcoin menggunakan basis data blockchain dan tidak dapat dipalsukan, sehingga apabila terdapat transaksi yang tidak tercatat, maka sistem akan menolak transaksi tersebut (Kurniawan, 2018). Tingginya harga Bitcoin dipengaruhi karena persediaan Bitcoin yang terbatas dimana jumlah produksi hanya 21 Juta koin. Hal ini yang menjadikan kelangkaan Bitcoin dan membuat harga semakin naik (Ghaiti, 2021) seperti terlihat dalam grafik data historis Bitcoin dari tahun 2019 – 2021.



**Gambar 2.1 Grafik Data Historis Bitcoin Tahun 2019 hingga 2021**

Sumber: *Tradingview.com*

Pada grafik data historis Bitcoin, tahun 2019 harga 1 koin memiliki kisaran harga 50 juta rupiah, dan mengalami kenaikan hingga mencapai 860 juta rupiah pada tahun 2021. Kelebihan yang dimiliki Bitcoin antara lain dapat ditransfer ke negara manapun dengan biaya relatif murah dan menjamin tingkat keamanan Bitcoin dengan teknologi blockchain. Sedangkan kekurangan yang dimiliki Bitcoin antara lain tidak ada jaminan kehilangan karena semua kesalahan ditanggung pengguna (Anwar, 2019).

### 2.1.2. Ethereum

Ethereum merupakan mata uang *cryptocurrency* dengan kapitalisasi pasar terbesar kedua setelah Bitcoin. Ethereum atau disimbolkan dengan ETH didirikan oleh Vitalik Buterin pada tahun 2014 yang mengusulkan implementasi blockchain lebih fungsional. Tujuan didirikan Ethereum untuk menjadi platform dimana smart contract dapat diciptakan dan memiliki aplikasi terdesentralisasi (Aulia, 2020).

Ethereum termasuk dalam altcoin dan persediaannya tidak dapat dipastikan, sewaktu – waktu akan berkurang, sehingga mengakibatkan harganya pun meningkat seperti dalam grafik data historis Ethereum tahun 2019 - 2021.



**Gambar 2.2 Grafik Data Historis Ethereum Tahun 2019 hingga 2021**

Sumber: *Tradingview.com*

Berdasarkan grafik data historis Ethereum, pada tahun 2019 harga 1 koin berkisar harga 4 Juta rupiah dan mengalami kenaikan pada tahun 2021 hingga mencapai 60 Juta rupiah. Meskipun harga Ethereum tidak sebanding dengan Bitcoin, akan tetapi keduanya mendominasi pasar *cryptocurrency* sebanyak 65%. Bukan hanya sekedar *cryptocurrency*, Ethereum memiliki keunggulan yang dapat membuat aplikasi baru. Hal itu yang membuat menarik dibandingkan *cryptocurrency* lainnya, termasuk Bitcoin. Banyak perusahaan yang tertarik berinvestasi Ethereum seperti Microsoft, JP Morgan, Intel dan bekerja sama dalam mengembangkan blockchain Ethereum (Irrera, 2017).

### 2.1.3. Binance Coin

Binance Coin yang disimbolkan dengan BNB merupakan koin *cryptocurrency* yang diterbitkan oleh platform Binance. Binance Coin pertama kali dirilis pada bulan Juli 2017 oleh Changpeng Zhao. Binance Coin pertama kali dan dioperasikan pada blockchain Ethereum dengan token ERC-20. Produksi Binance Coin maksimal 200 Juta koin dan menjadi pasar market terbesar peringkat keempat yang dapat bersaing dengan Bitcoin dan Ethereum (Mallick, 2020). Binance Coin memiliki keunggulan yaitu dorongan terhadap pengembangannya, dimana demi mempertahankan eksistensi harga BNB untuk bisa bersaing tinggi, Binance melakukan pembakaran (*burning*) terhadap koin yang beredar (Hallberg and Sjölander, 2021). Hal tersebut yang membuat harga Binance Coin pada tahun 2021 memecahkan rekor atas kenaikan harga yang signifikan seperti pada grafik data historis berikut.



**Gambar 2.3 Grafik Data Historis Binance Coin Tahun 2019 hingga 2021**

Sumber: *Tradingview.com*

Berdasarkan grafik data historis Binance Coin, terlihat bahwa pada tahun 2019, harga 1 koin berkisar 500 ribu rupiah dan melonjak signifikan pada tahun 2021 sehingga berhasil mencapai harga 9 Juta rupiah. Proses pembakaran koin, Binance akan membeli 50 persen koin yang beredar hingga persediaan Binance Coin terpenuhi 200 Juta dan cara tersebut dilakukan secara bertahap dengan tujuan dapat bersaing dengan mata uang *cryptocurrency* lainnya (Panggabean, 2021).

## 2.2. *Cryptocurrency* Dalam Perspektif Islam

Banyak hal yang dapat dilakukan dalam mencari rezeki, salah satunya berinvestasi *cryptocurrency*. Sistem kinerja dari *cryptocurrency* dapat dikatakan sistem penanaman modal. Dengan melakukan penanaman modal, pastinya mengharapkan keuntungan yang dapat digunakan untuk mencukupi kebutuhan atau mungkin menjadi sumber utama dalam mencari rezeki. Selain itu, prinsip dari *cryptocurrency* juga sama dengan halnya berbisnis atau berniaga, yaitu melakukan transaksi jual atau beli dan hukumnya mubah, serta dalam melakukan perniagaan selalu mengingat Allah Swt. seperti dalam QS. al Baqarah ayat 198.

لَيْسَ عَلَيْكُمْ جُنَاحٌ أَنْ تَبْتَغُوا فَضْلًا مِّن رَّبِّكُمْ فَإِذَا أَفَضْتُمْ مِّنْ عَرَفَاتٍ فَاذْكُرُوا اللَّهَ عِنْدَ الْمَشْعَرِ  
الْحَرَامِ وَاذْكُرُوهُ كَمَا هَدَيْتُمْ وَإِنْ كُنْتُمْ مِّن قَبْلِهِ لَمَنِ الصَّالِينَ ﴿١٩٨﴾

Artinya : “Tidak ada dosa bagimu untuk mencari karunia (rezeki hasil perniagaan). Dari Tuhanmu. Maka apabila kamu telah bertolak dari ‘Arafat, berdzikirlah kepada Allah Swt. di Mas’arilharam dan berdzikirlah (dengan menyebut) Allah sebagaimana yang ditunjukkan-Nya kepadamu, dan

*sesungguhnya kamu sebelum itu benar-benar termasuk orang-orang yang sesat*” (QS. al-Baqarah :198). Dalam ayat tersebut menjelaskan bahwa diperbolehkannya dalam mencari rezeki dari hasil perniagaan atau jual beli dan selalu mengingat serta menyebut nama Allah Swt.sebagai tanda syukur atas nikmat dan karunia yang diberikan-Nya.

Proses akad dalam transaksi jual beli *cryptocurrency* dikaitkan dengan model akad *al-Sharf* yang merupakan akad jual beli mata uang dengan mata uang, ataupun berjangka komoditi seperti emas dengan emas, perak dengan perak. Dalam hal ini, *cryptocurrency* dapat dinisbahkan dengan valas. Terdapat ketentuan syariah valas dalam fatwa DSN-MUI No.28/DSN-MUI/III/2012 antara lain tidak adanya spekulasi (keuntungan), sebagai simpanan, apabila transaksi sesama uang sejenis, maka memiliki nilai yang sama, apabila transaksi uang tidak sejenis, harus sesuai nilai kurs yang berlaku (Musyafah, 2020) seperti yang dijelaskan dalam Hadist Riwayat Muslim No. 1587.

الذَّهَبُ بِالذَّهَبِ وَالْفِضَّةُ بِالْفِضَّةِ وَالْبُرُّ بِالْبُرِّ وَالشَّعِيرُ بِالشَّعِيرِ وَالتَّمْرُ بِالتَّمْرِ وَالْمِلْحُ بِالْمِلْحِ مِثْلًا  
بِمِثْلِ سَوَاءٍ بِسَوَاءٍ يَدًا بِيَدٍ فَإِذَا اِخْتَلَفَتْ هَذِهِ الْأَصْنَافُ فَبِيعُوا كَيْفَ شِئْتُمْ إِذَا كَانَ يَدًا بِيَدٍ

S U K A D A T A

Artinya: “(Juallah) emas dengan emas, perak dengan perak, gandum bur (gandum halus) dengan gandum bur, sya’ir (gandum kasar) dengan sya’ir, kurma dengan kurma, dan garam dengan garam (dengan syarat harus sama takaran nya) dan sejenis, serta secara tunai dari tangan ke tangan. Jika jenisnya berbeda, juallah sekehendakmu jika dilakukan secara tunai dari tangan ke tangan” (HR. Muslim No. 1587). Dalam hadist tersebut menjelaskan bahwa perdagangan komoditi seperti emas, perak boleh diperjualbelikan dengan objek yang

ditransaksikan berupa objek yang sama dan sesuai dengan kurs saat itu, seperti halnya *cryptocurrency*. Dan apabila transaksi berupa barang berbeda, seperti emas fisik dengan rupiah, Bitcoin fisik dengan rupiah maka dapat dilakukan secara tunai dengan nilai yang dapat ditentukan.

Sebelum datangnya Islam, alat transaksi yang digunakan adalah dinar dan dirham. Dinar dan dirham merupakan alat tukar berupa emas dan perak yang ditetapkan oleh Rasulullah SAW. karena dapat menjaga kestabilan ekonomi dan juga sebagai alat penyimpanan atau investasi serta alat ukur nilai terhadap suatu barang (Anwar, 2019) seperti dijelaskan dalam QS. Yusuf ayat 20 sebagai berikut.

وَشَرَوْهُ بِثَمَنٍ بَخْسٍ دَرَاهِمَ مَعْدُودَةٍ وَكَانُوا فِيهِ مِنَ الزَّاهِدِينَ ﴿٢٠﴾

Artinya : *“Dan mereka menjual Yusuf dengan harga yang murah yaitu beberapa dinar saja, dan mereka merasa tidak tertarik hatinya kepada Yusuf”* (QS. Yusuf :20). Dalam ayat tersebut berkaitan dengan Nabi Yusuf a.s yang mana beliau dijual oleh kafilah untuk menjadi budak dan dijual kurang dari 40 dirham. Hal tersebut menjelaskan bahwa dirham pada saat itu, dijadikan sebagai alat transaksi dan mengukur nilai pada suatu barang.

Di era teknologi modern saat ini, dinar dirham dijadikan dalam bentuk digital sebagai investasi emas non-fisik dengan tingkat keamanan yang sama halnya dengan *cryptocurrency* yaitu secara *peer to peer* dan hukumnya diperbolehkan (Ichsan, 2020). Dalam perspektif hukum Islam, mata uang *cryptocurrency* dalam hal penerbitannya. Menurut teori keuangan Imam al-Ghozali, penerbitan mata uang adalah otoritas suatu negara dan para ulama telah sepakat bahwa emas dan perak diberlakukan karena sebagai alat tukar sehingga

tidak memandang unsur intrinsik, melainkan kegunaannya Umar bin Khattab juga pernah menjelaskan bahwa berkeinginan untuk membuat uang dari kulit unta, akan tetapi dibatalkan karena khawatir unta akan punah. Hal itu mengisyaratkan bahwa akan bolehnya suatu hal termasuk *cryptocurrency* menjadi alat tukar, selain emas dan perak (Musyafah, 2020).

### 2.3. Analisis Koefisien Korelasi *Pearson Product Moment*

Analisis korelasi digunakan untuk mengukur kekuatan hubungan antara dua variabel. Salah satu cara mengukur tingkat korelasi antar dua variabel yaitu korelasi *pearson product moment* yang disimbolkan ( $r$ ) dengan tingkat hubungan pada interval tertentu. Syarat untuk melakukan uji korelasi *pearson* adalah data berdistribusi normal dengan nilai  $p\text{-value} < 0,05$ . Hipotesis yang digunakan dalam melakukan uji korelasi *pearson* sebagai berikut (Djordjevic et al., 2021).

$H_0 : r = 0$  (Tidak terdapat hubungan antar dua variabel)

$H_1 : r \neq 0$  (Adanya hubungan antar dua variabel)

Dengan perhitungan statistik sebagai berikut.

$$r_{Z_i Z_j} = \frac{n(\sum Z_i Z_j) - (\sum Z_i)(\sum Z_j)}{\sqrt{(n \sum Z_i^2 - (\sum Z_i)^2)(n \sum Z_j^2 - (\sum Z_j)^2)}} \quad (2.1)$$

Dimana,

$n$  = Banyak data

$Z_i$  = Data variabel ke  $- i$

$Z_j$  = Data variabel ke  $- j$

Apabila nilai  $r_{hitung} < r_{\alpha,df}$  dengan  $df = n-2$  atau nilai  $p\text{-value} > 0,05$ , maka  $H_0$  diterima yang berarti tidak terdapat hubungan antar kedua variabel, dan jika nilai  $r_{hitung} > r_{\alpha,df}$  atau nilai  $p\text{-value} < 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak yang berarti

terdapat hubungan antar kedua variabel yang dapat dilihat berdasarkan interval korelasi *pearson* sebagai berikut (Safitri, 2016).

**Tabel 2.1 Interpretasi Tingkat Korelasi**

Interval Korelasi		Tingkat Hubungan
Positif	Negatif	
0	0	Tidak ada
0,1 hingga 0,199	-0,1 hingga -0,199	Sangat Rendah
0,2 hingga 0,399	-0,2 hingga -0,399	Rendah
0,4 hingga 0,599	-0,4 hingga -0,599	Cukup
0,6 hingga 0,799	-0,6 hingga -0,799	Kuat
0,8 hingga 1,000	-0,8 hingga -1,000	Sangat Kuat

Apabila nilai  $r = -1$ , maka koefisien korelasi negatif sempurna, yang berarti pengaruh variabel  $Z_i$  terhadap  $Z_j$  sangat rendah dan jika nilai  $r = 1$  maka koefisien korelasi positif sempurna yang berarti pengaruh variabel  $Z_i$  terhadap  $Z_j$  sangat kuat. Setidaknya antar variabel memiliki tingkat hubungan cukup berkorelasi supaya terdapat pengaruh satu sama lain.

#### 2.4. Kestasioneran Data

Kestasioneran data berarti pola data berada pada kesetimbangan sekitaran rata-rata dan merupakan hal penting yang dilakukan dalam menganalisis data *time series*. Ketergantungan data dalam *time series* disebut dengan autokorelasi yang bertujuan untuk penentuan dan memperkecil kekeliruan model. Diketahui bahwa data multivariat memiliki lebih dari satu variabel dengan  $Z_t = [Z_{1,t} \ Z_{2,t} \ \dots \ Z_{n,t}]^t$  yang merupakan vektor deret waktu, dan memiliki nilai rata-rata  $Z_t$  sebagai berikut (Ikbal, 2019).

$$E(Z_t) = \mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Dengan varian merupakan ukuran penyebaran data yang didefinisikan sebagai  $Var(Z_t) = E[(Z_t - \mu)(Z_t - \mu)^t] = \Gamma(0)$  dan kovarian merupakan hubungan dua variabel yang didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Cov(Z_t, Z_{t+k}) &= E[(Z_t - \mu)(Z_{t+k} - \mu)^t] \\ &= E \left( \begin{bmatrix} Z_{1,t} - \mu_1 \\ Z_{2,t} - \mu_2 \\ \vdots \\ Z_{n,t} - \mu_n \end{bmatrix} [Z_{1,t+k} - \mu_1 \dots Z_{n,t+k} - \mu_n] \right) \\ &= E \begin{bmatrix} (Z_{1,t} - \mu_1)(Z_{1,t+k} - \mu_1) & \dots & (Z_{1,t} - \mu_1)(Z_{n,t+k} - \mu_n) \\ (Z_{2,t} - \mu_1)(Z_{1,t+k} - \mu_1) & \dots & (Z_{2,t} - \mu_1)(Z_{n,t+k} - \mu_n) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (Z_{n,t} - \mu_1)(Z_{1,t+k} - \mu_1) & \dots & (Z_{n,t} - \mu_1)(Z_{n,t+k} - \mu_n) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \Gamma_{11}(k) & \dots & \Gamma_{1n}(k) \\ \Gamma_{21}(k) & \dots & \Gamma_{2n}(k) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma_{n1}(k) & \dots & \Gamma_{nn}(k) \end{bmatrix} = \Gamma(k) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana,

- $k$  : banyaknya lag 0,1,2, ...  
 $\Gamma_{n \times n}(k)$  : fungsi kovarian silang antara  $Z_{n,t}$  dan  $Z_{n,t}$   
 $Z_t$  : data ke  $t$   
 $Z_{t+k}$  : data *time series* ke  $t + k$   
 $\mu$  : rata-rata dari data *time series* waktu  $Z_t$

Kestasioneran data yang akan dilakukan dibedakan menjadi dua yaitu stasioner dalam varians dan mean.

#### 2.4.1. Stasioner Dalam Varians

Varians merupakan ukuran statistik seberapa persebaran data dalam sampel. Dikatakan stasioner dalam varians apabila fluktuatif data *time series* tidak berubah-ubah atau konstan. Stasioner dalam varians dapat dilihat berdasarkan statistik Box-Cox dengan nilai *rounded value* ( $\lambda$ ) = 1. Selain itu, juga dapat diidentifikasi berdasarkan nilai *Upper Control Line* (UCL) dan *Lower Control Line* (LCL) yang melebihi nilai 1. Apabila data belum stasioner dalam varians, maka dilakukan transformasi Box-Cox dengan bentuk transformasi sebagai berikut (Marimuthu et al., 2022).

$$T(Z_t) = \begin{cases} \frac{Z_t^\lambda - 1}{\lambda} & ; \lambda \neq 0, \\ \ln(Z_t) & ; \lambda = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Dimana  $T(Z_t)$  merupakan data yang ditransformasi dan nilai *rounded value* ( $\lambda$ ) adalah parameter transformasi, setiap nilai  $\lambda$  memiliki bentuk transformasi yang berbeda. Berikut beberapa nilai  $\lambda$  dan bentuk transformasi yang berhubungan.

Tabel 2.2 Nilai *Rounded Value* ( $\lambda$ ) dan Transformasi Box-Cox

Nilai $\lambda$	-2	-1	-0.5	0	0.5	1	2
Transformasi	$\frac{1}{Z_t^2}$	$\frac{1}{Z_t}$	$\frac{1}{\sqrt{Z_t}}$	$\ln Z_t$	$\sqrt{Z_t}$	$Z_t$	$Z_t^2$

Perhitungan transformasi Box-Cox dapat menjadi dua bentuk transformasi. Transformasi pertama seperti pada persamaan (2.4), sedangkan transformasi kedua berdasarkan transformasi persamaan (2.4) yaitu sebagai berikut.

$$W(\lambda) = \begin{cases} \left( \frac{Z_t^{\lambda-1}}{\lambda Z_t^{\lambda-1}} \right) & ; \lambda \neq 0, \\ \hat{Z} \ln(Z_t) & ; \lambda = 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

Pendugaan parameter  $\lambda$  dapat dihitung dengan metode *Maximum Likelihood*. Berikut langkah-langkah mencari nilai  $\lambda$  (Ispriyanti, 2004).

1. Menentukan range  $\lambda$  antara  $(-2, 2)$  atau  $(-1, 1)$ .
2. Transformasikan variabel  $Z$  pada masing - masing nilai lambda berdasarkan persamaan (2.4).
3. Menghitung nilai kemungkinan maksimum dengan persamaan

$$L_{maks}(\lambda) = -\frac{n}{2} \ln \hat{\sigma}^2(\lambda) + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^n \ln Z_i$$

dimana,

$n$  = banyak pengamatan

$\hat{\sigma}^2(\lambda) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i(\lambda) - \bar{Z}(\lambda))^2$

$\bar{Z}(\lambda) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Z_i^{\lambda}-1}{\lambda}$

4. Menentukan nilai  $\lambda$  dengan  $L_{maks}$  yang maksimum.

### 2.4.2. Stasioner Dalam Mean

Stasioner dalam mean berarti fluktuatif data berada di sekitaran rata-rata konstan. Kestasioneran dalam rata-rata pada data multivariat dapat dilihat berdasarkan plot *Matrix Autocorrelation Function* (MACF) yang ditandai banyaknya tanda (.) pada setiap lag. Selain itu, juga dapat dilihat berdasarkan plot data *time series*. Apabila data belum stasioner dalam rata-rata, maka perlu dilakukan proses *differencing* yang merupakan perubahan data saat ini dikurangi data sebelumnya sehingga diperoleh  $d = 1$  dan dirumuskan sebagai berikut (Kristiawan, 2020).

$$\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1} \quad (2.6)$$

Dan jika data belum stasioner setelah *differencing* pertama, maka harus dilakukan kembali *differencing* kedua  $d = 2$  hingga data telah stasioner. Proses *differencing* kedua dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\nabla Z_t = (Z_t - Z_{t-1}) - (Z_{t-1} - Z_{t-2}) \quad (2.7)$$

Apabila data tidak perlu untuk *differencing* dan telah stasioner, didapatkan  $d = 0$ . Banyaknya proses *differencing* akan digunakan sebagai model VARIMA. Selain dilakukan proses Transformasi Box-Cox dan *differencing*, kestasioneran data dalam varians dan rata-rata dapat diidentifikasi dengan perhitungan secara statistik menggunakan uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) dengan persamaan sebagai berikut (Ayudhiah et al., 2020).

$$Z_t = \phi Z_{t-1} + \epsilon_t \quad (2.8)$$

Dengan hipotesis yang digunakan sebagai berikut.

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

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

Statistik hitung dari uji ADF.

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\phi}}{Stdv(\hat{\phi})} \quad (2.9)$$

Dimana,

$$\hat{\phi} = \frac{\sum_{t=1}^n Z_{t-1}Z_t}{\sum_{t=1}^n Z_{t-1}^2}$$

Nilai *standard deviation* (*Stdv*)

$$Stdv(\hat{\phi}) = \sqrt{\frac{\sigma^2}{\sum_{t=1}^n Z_{t-1}^2}} \quad (2.10)$$

Nilai varians sebagai berikut.

$$\sigma^2 = \sum_{t=1}^n \frac{(\Delta Z_t - \phi Z_{t-1})^2}{n-1} \quad (2.11)$$

Apabila nilai  $|t_{hitung}| > t_{\alpha/2;df}$  dengan  $df = n-1$  dan  $n$  adalah banyak pengamatan atau nilai  $p\text{-value} < \text{taraf signifikan}$  ( $\alpha = 0,05$ ), maka data telah stasioner dalam varians maupun rata-rata.

## 2.5. Identifikasi Model VARIMA

Deret waktu atau *time series* merupakan data pengamatan berdasarkan waktu yang berurutan. Data *time series* berkaitan dengan waktu, maka data lampau akan berhubungan dengan data sekarang dan berguna untuk peramalan di masa yang akan datang (Ulya, 2019). Model VARIMA merupakan model *time series* yang melibatkan lebih dari satu variabel dan bentuk vektor dari model ARIMA.

Dengan metode VARIMA, dapat mengetahui hubungan antar variabel pada waktu sebelumnya (Fitrianti et al., 2019). Dalam mengidentifikasi model VARIMA, terdapat langkah – langkah yang harus dilakukan diantaranya identifikasi *Matrix Autocorrelation Function* (MACF), *Matrix Partial Autocorrelation Function* (MPACF), dan *Akaike Information Criteria Corrected* (AICC).

### 2.5.1. Matrix Autocorrelation Function (MACF)

Pada data univariat menggunakan metode ARIMA, analisis plot ACF sangat diperlukan untuk mengidentifikasi model *Moving Average* (MA). Begitu juga metode VARIMA, untuk mendapatkan orde  $q$  (VMA) maka dilakukan identifikasi plot MACF yang merupakan nilai fungsi korelasi antar variabel dalam bentuk matriks. MACF dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Ayudhiah et al., 2020).

$$\rho(k) = [\hat{\rho}_{i,j}(k)] \quad (2.12)$$

Dimana,  $\hat{\rho}_{ij}(k)$  merupakan korelasi silang sampel pada deret ke  $i = 1, 2, \dots, m$  dan ke  $j = 1, 2, \dots, m$  dengan  $m$  adalah banyak variabel pada lag  $k$  yang dinyatakan dalam persamaan

$$\hat{\rho}_{i,j}(k) = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (Z_{i,t} - \bar{Z}_i)(Z_{j,t+k} - \bar{Z}_j)}{\sqrt{\sum_{t=1}^N (Z_{i,t} - \bar{Z}_i)^2 \sum_{t=1}^N (Z_{j,t} - \bar{Z}_j)^2}} \quad (2.13)$$

Dengan  $\bar{Z}_i$  dan  $\bar{Z}_j$  merupakan rata-rata sampel tiap komponen deret yang sesuai dan  $N$  merupakan banyak data. Apabila  $Z_i$  dan  $Z_j$  adalah proses *white noise* sehingga menunjukkan persamaan berikut. Apabila  $\bar{Z}_i$  dan  $\bar{Z}_j$  adalah proses *white*

noise sehingga menunjukkan persamaan berikut.

$$Cov[\hat{\rho}_{i,j}(k), \hat{\rho}_{i,j}(k+s)] \cong \frac{1}{n-k} \quad (2.14)$$

$$Var[\hat{\rho}_{i,j}(k)] \cong \frac{1}{n-k} \quad (2.15)$$

Matriks korelasi bernilai nol setelah lag ke- $q$ , model yang sesuai adalah MA( $q$ ). Apabila dimensi dan bentuk vektor semakin besar, menjadikan identifikasi semakin sulit karena bentuk grafik dan matriks yang kompleks. Tiao dan box memperkenalkan metode untuk mengatasi hal tersebut dengan simbol (+), (-), dan (.) pada matriks korelasi sampel ke ( $i,j$ ) antara lain (Siswanto et al., 2019)

1. Simbol (+) berarti  $\hat{\rho}_{i,j}(k) > 2$  kali *standard error* dan hubungan korelasi positif antar komponen ( $i,j$ ).
2. Simbol (-) berarti  $\hat{\rho}_{i,j}(k) < -2$  kali *standard error* dan hubungan korelasi negatif antar komponen ( $i,j$ ).
3. Simbol (.) berarti  $\hat{\rho}_{i,j}(k)$  berada diantara  $\pm 2$  kali *standard error* dan tidak adanya korelasi antar komponen ( $i,j$ ).

Nilai *standard error* dari  $\hat{\rho}_{i,j}(k)$  dapat dituliskan sebagai berikut.

$$Std.error = \sqrt{\frac{1}{N-1}} \quad (2.16)$$

Dengan  $N$  adalah banyak pengamatan.

### 2.5.2. Matrix Partial Autocorrelation Function (MPACF)

Pada metode VARIMA, MPACF merupakan perluasan bentuk vektor *time series* dari PACF pada lag ke- $k$  yang dinotasikan  $P(k)$  sebagai koefisien terakhir

jika data yang diterapkan dalam proses vektor *time series* dari orde  $p$  (VAR). Sehingga  $P(k)$  merupakan persamaan  $\phi_{k,k}$  dalam regresi linier multivariat dan dinyatakan sebagai berikut (Fitrianti et al., 2019).

$$Z_{t+k} = \phi_{k,1}Z_{t+k-1} + \phi_{k,2}Z_{t+k-2} + \cdots + \phi_{k,k}Z_t + \epsilon_{k,t+k} \quad (2.17)$$

Dengan  $\epsilon_{k,t+k}$  adalah error dan  $\phi_{k,k}$  merupakan matriks koefisien ordo  $n \times n$  dengan  $k = 1, 2, \dots, K$ . Bentuk umum persamaan Yule Walker dengan  $\Gamma(k)$  adalah matriks kovarians.

$$\begin{bmatrix} \Gamma(0) & \Gamma'(1) & \dots & \Gamma'(k-1) \\ \Gamma(1) & \Gamma(0) & \dots & \Gamma'(k-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma(k-1) & \Gamma'(k-2) & \dots & \Gamma(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi'_{k,1} \\ \phi'_{k,2} \\ \vdots \\ \phi'_{k,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Gamma(1) \\ \Gamma(2) \\ \vdots \\ \Gamma(k) \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Dari persamaan matriks tersebut diperoleh penyelesaian  $\phi'_{k,k}$  dan matriks autokorelasi parsial dengan orde  $k$  yang lebih tinggi. Apabila  $k \geq 2$  maka

$$A(k) = \begin{bmatrix} \Gamma(0) & \Gamma'(1) & \dots & \Gamma'(k-1) \\ \Gamma(1) & \Gamma(0) & \dots & \Gamma'(k-2) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma(k-1) & \Gamma'(k-2) & \dots & \Gamma(0) \end{bmatrix} b(k) = \begin{bmatrix} \Gamma'(k-1) \\ \Gamma'(k-2) \\ \vdots \\ \Gamma'(1) \end{bmatrix}$$

$$c(k) = \begin{bmatrix} \Gamma(1) \\ \Gamma(2) \\ \vdots \\ \Gamma(k-1) \end{bmatrix} \phi'_*(k-1) = \begin{bmatrix} \phi'_{k,1} \\ \phi'_{k,2} \\ \vdots \\ \phi'_{k,k-1} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.19) ke dalam persamaan (2.18), maka dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} A(k) & b(k) \\ b'(k) & \Gamma(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi'_*(k-1) \\ \phi'_{k,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c(k) \\ \Gamma(k) \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Dan dapat disederhanakan menjadi

$$A(k)\phi'_*(k-1) + b(k)\phi'_{k,k} = c(k) \quad (2.21)$$

$$b'(k)\phi'_*(k-1) + \Gamma(0)\phi'_{k,k} = \Gamma(k) \quad (2.22)$$

Persamaan (2.21) mengimplikasikan bahwa

$$\phi'_*(k-1) = [A(k)]^{-1}c(k) - [A(k)]^{-1}b(k)\phi'_{k,k} \quad (2.23)$$

Persamaan (2.23) disubstitusikan ke dalam persamaan (2.22) menjadi

$$\phi'_{k,k} = \Gamma(0) - b'(k)[A(k)]^{-1}b(k)^{-1}\Gamma(k) - b'(k)[A(k)]^{-1}c(k) \quad (2.24)$$

Sehingga MPACF didefinisikan sebagai berikut

$$P(k) = \begin{cases} \Gamma'(1)[\Gamma(0)]^{-1} & ; k = 1, \\ [\Gamma(k) - b'(k)[A(k)]^{-1}c(k)][\Gamma(0) - b'(k)[A(k)]^{-1}b(k)^{-1}] & ; k > 1 \end{cases} \quad (2.25)$$

Mengidentifikasi data berdasarkan nilai MPACF, dapat dilakukan hal yang sama seperti MACF dengan melihat tanda (+), (-), dan (.).

### 2.5.3. Akaike Information Criteria Corrected (AICC)

*Akaike Information Criteria Corrected* (AICC) merupakan metode untuk menentukan pemilihan model terbaik dengan lag yang optimum dan mempertimbangkan parameter dalam model (Delsole and Tippett., 2021). AICC dapat dituliskan sebagai berikut :

$$AICC(p, q) = \log|S| + \frac{2r}{(N - r)/k} \quad (2.26)$$

Dimana,

$\log |S|$  : *Maximum Likelihood* kovarian residual

$r$  : banyak parameter

$k$  : banyak variabel

$N$  : banyak data

### 2.5.4. Model VARIMA

VARIMA merupakan model *time series* pada data multivariat. Model VARIMA  $(p, d, q)$  terbentuk dari *Vector Autoregressive*  $(p)$ , *differencing*  $(d)$ , dan *Vector Moving Average*  $(q)$ .

#### (i) Model *Vector Autoregressive*

Model *Vector Autoregressive* yang dinotasikan sebagai VAR  $(p)$  dan dinyatakan sebagai fungsi dari  $p$  pada data sebelumnya dimana  $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-p}$  dengan  $p$  adalah banyaknya nilai pada waktu sebelumnya yang digunakan sebagai prediksi saat ini (Perdana, 2017).

Model persamaan VAR sebagai berikut.

$$\phi_p(B)Z_t = a_t \quad (2.27)$$

Dengan,

$B$  merupakan *backward shift*

$$\phi_p = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$$

Sehingga persamaan (2.27) dapat dijabarkan menjadi

$$\begin{aligned} (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p)Z_t &= a_t \\ Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} - \dots - \phi_p Z_{t-p} &= a_t \\ Z_t &= \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \end{aligned} \quad (2.28)$$

Model VAR adalah bentuk vektor dari model *Autoregressive* (AR) dan model yang digunakan adalah  $(p, d, q)$ . Apabila tidak ada faktor *differencing* ( $d = 0$ ) maka menjadi VAR  $(p, d, 0)$ , maka persamaan (2.28) dikonversi dalam bentuk matriks menjadi.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} Z_{1,t} \\ Z_{2,t} \\ \vdots \\ Z_{n,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \phi_{11}^1 & \phi_{12}^1 & \dots & \phi_{1n}^1 \\ \phi_{11}^2 & \phi_{12}^2 & \dots & \phi_{1n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{11}^n & \phi_{12}^n & \dots & \phi_{1n}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1,t-1} \\ Z_{2,t-1} \\ \vdots \\ Z_{3,t-1} \end{bmatrix} \\ &+ \dots + \begin{bmatrix} \phi_{p1}^1 & \phi_{p2}^1 & \dots & \phi_{pn}^1 \\ \phi_{p1}^2 & \phi_{p2}^2 & \dots & \phi_{pn}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{p1}^n & \phi_{p2}^n & \dots & \phi_{pn}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_{1,t-p} \\ Z_{2,t-p} \\ \vdots \\ Z_{n,t-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ \vdots \\ Z_{n,t} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2.29)$$

Apabila terdapat faktor *differencing* ( $d = 1$ ), maka persamaan (2.28) dikonversi dalam bentuk matriks menjadi

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \vdots \\ \nabla Z_{n,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \phi_{11}^1 & \phi_{12}^1 & \cdots & \phi_{1n}^1 \\ \phi_{11}^2 & \phi_{12}^2 & \cdots & \phi_{1n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{11}^n & \phi_{12}^n & \cdots & \phi_{1n}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-1} \\ \nabla Z_{2,t-1} \\ \vdots \\ \nabla Z_{n,t-1} \end{bmatrix} \\
 &+ \dots + \begin{bmatrix} \phi_{p1}^1 & \phi_{p2}^1 & \cdots & \phi_{pn}^1 \\ \phi_{p1}^2 & \phi_{p2}^2 & \cdots & \phi_{pn}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{p1}^n & \phi_{p2}^n & \cdots & \phi_{pn}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-p} \\ \nabla Z_{2,t-p} \\ \vdots \\ \nabla Z_{n,t-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ \vdots \\ Z_{n,t} \end{bmatrix}
 \end{aligned} \tag{2.30}$$

Dengan,  $n$  adalah banyak variabel,  $p$  adalah orde VAR,  $Z_{n,t}$  adalah data variabel  $n$  ke  $t$ ,  $\phi$  merupakan koefisien parameter VAR, dan  $a_t$  adalah vektor galat dengan  $a_t \sim MN(0, \Sigma)$ .

(ii) Model *Vector Moving Average*

Model *vector moving average* merupakan bentuk vektor dari *moving average* yang dinotasikan sebagai VMA ( $q$ ). Model persamaan VMA dengan orde  $q$  sebagai berikut (Kristiawan, 2020).

$$Z_t = \theta_q(B)a_t \tag{2.31}$$

Dengan,  $\theta_q = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$

Sehingga persamaan (2.31) dapat dijabarkan menjadi

$$Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)a_t \tag{2.32}$$

$$Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

Karena hanya model VMA yang berarti tanpa orde  $p$ , sehingga dapat dibentuk menjadi VMA  $(0, d, q)$ . Apabila tidak ada faktor *differencing* ( $d = 0$ ), maka persamaan (2.32) dikonversi dalam bentuk matriks menjadi

$$\begin{bmatrix} Z_{1,t} \\ Z_{2,t} \\ \vdots \\ Z_{n,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ \vdots \\ a_{n,t} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \theta_{11}^1 & \theta_{12}^1 & \cdots & \theta_{1n}^1 \\ \theta_{11}^2 & \theta_{12}^2 & \cdots & \theta_{1n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{11}^n & \theta_{12}^n & \cdots & \theta_{1n}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-1} \\ a_{2,t-1} \\ \vdots \\ a_{n,t-1} \end{bmatrix} \\ - \cdots - \begin{bmatrix} \theta_{q1}^1 & \theta_{q2}^1 & \cdots & \theta_{qn}^1 \\ \theta_{q1}^2 & \theta_{q2}^2 & \cdots & \theta_{qn}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{q1}^n & \theta_{q2}^n & \cdots & \theta_{qn}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-q} \\ a_{2,t-q} \\ \vdots \\ a_{n,t-q} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Apabila terdapat faktor *differencing* ( $d = 1$ ), maka persamaan (2.32) dikonversi dalam bentuk matriks menjadi

$$\begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \vdots \\ \nabla Z_{n,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ \vdots \\ a_{n,t} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \theta_{11}^1 & \theta_{12}^1 & \cdots & \theta_{1n}^1 \\ \theta_{11}^2 & \theta_{12}^2 & \cdots & \theta_{1n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{11}^n & \theta_{12}^n & \cdots & \theta_{1n}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-1} \\ a_{2,t-1} \\ \vdots \\ a_{n,t-1} \end{bmatrix} \\ - \cdots - \begin{bmatrix} \theta_{q1}^1 & \theta_{q2}^1 & \cdots & \theta_{qn}^1 \\ \theta_{q1}^2 & \theta_{q2}^2 & \cdots & \theta_{qn}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{q1}^n & \theta_{q2}^n & \cdots & \theta_{qn}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-q} \\ a_{2,t-q} \\ \vdots \\ a_{n,t-q} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

Dengan,  $n$  adalah banyak variabel,  $q$  adalah orde VMA,  $Z_{n,t}$  adalah data variabel  $n$  ke  $t$ , dan  $\theta$  merupakan koefisien parameter VMA.

## (iii) Model VARIMA

Model VARIMA merupakan pengembangan dari model ARIMA dengan melibatkan lebih dari satu variabel. Pembentukan model VARIMA berdasarkan orde VAR ( $p$ ), VMA ( $q$ ), dan *differencing* ( $d$ ), maka persamaan VARIMA yang terbentuk sebagai berikut (Khusna et al., 2016).

$$\phi_p(B)(1 - B)^d Z_t = \theta_q(B)a_t \quad (2.35)$$

Dengan,  $(1 - B)^d$  merupakan proses *differencing* orde ke- $d$ , sehingga persamaan (2.35) dapat dijabarkan menjadi

$$\begin{aligned} & (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p) (1 - B)^d Z_t \\ &= (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q) a_t \\ & (Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \phi_2 Z_{t-2} - \dots - \phi_p Z_{t-p}) (1 - B)^d \\ &= (a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}) \end{aligned} \quad (2.36)$$

Misal *differencing* ( $d = 1$ ) dan  $\nabla = (1 - B)^d$ , maka

$$\begin{aligned} & (\nabla Z_t - \phi_1 \nabla Z_{t-1} - \phi_2 \nabla Z_{t-2} - \dots - \phi_p \nabla Z_{t-p}) \\ &= (a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (Z_t - Z_{t-1}) - \phi_1 (Z_{t-1} - Z_{t-2}) - \phi_2 (Z_{t-2} - Z_{t-3}) \\ & - \dots - \phi_p (Z_{t-p} - Z_{t-p-1}) = (a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}) \end{aligned} \quad (2.37)$$

$$\begin{aligned} & (Z_t - Z_{t-1}) = \phi_1 (Z_{t-1} - Z_{t-2}) + \phi_2 (Z_{t-2} - Z_{t-3}) \\ & + \dots + \phi_p (Z_{t-p} - Z_{t-p-1}) - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} + a_t \end{aligned}$$

Apabila persamaan (2.37) dikonversi dalam bentuk matriks menjadi

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \vdots \\ \nabla Z_{n,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \phi_{11}^1 & \phi_{12}^1 & \dots & \phi_{1n}^1 \\ \phi_{11}^2 & \phi_{12}^2 & \dots & \phi_{1n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{11}^n & \phi_{12}^n & \dots & \phi_{1n}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-1} \\ \nabla Z_{2,t-1} \\ \vdots \\ \nabla Z_{n,t-1} \end{bmatrix} + \dots + \begin{bmatrix} \phi_{p1}^1 & \phi_{p2}^1 & \dots & \phi_{pn}^1 \\ \phi_{p1}^2 & \phi_{p2}^2 & \dots & \phi_{pn}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{p1}^n & \phi_{p2}^n & \dots & \phi_{pn}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-p} \\ \nabla Z_{2,t-p} \\ \vdots \\ \nabla Z_{n,t-p} \end{bmatrix} \\
 &- \begin{bmatrix} \theta_{11}^1 & \theta_{12}^1 & \dots & \theta_{1n}^1 \\ \theta_{11}^2 & \theta_{12}^2 & \dots & \theta_{1n}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{11}^n & \theta_{12}^n & \dots & \theta_{1n}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-1} \\ a_{2,t-1} \\ \vdots \\ a_{n,t-1} \end{bmatrix} - \dots - \begin{bmatrix} \theta_{q1}^1 & \theta_{q2}^1 & \dots & \theta_{qn}^1 \\ \theta_{q1}^2 & \theta_{q2}^2 & \dots & \theta_{qn}^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \theta_{q1}^n & \theta_{q2}^n & \dots & \theta_{qn}^n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-q} \\ a_{2,t-q} \\ \vdots \\ a_{n,t-q} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ \vdots \\ Z_{n,t} \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{2.38}$$

Dengan,  $\nabla Z_t = Z_t - Z_{t-1}$  merupakan *differencing*.

## 2.6. Estimasi Parameter dan Pengujian Signifikan

Untuk mengetahui parameter model VARIMA signifikan atau tidak, dilakukan pengujian terhadap taksiran parameter dengan uji  $t$  dengan tujuan untuk menguji pengaruh parameter terhadap model. Hipotesis yang digunakan sebagai berikut (Apriliani, 2022).

$$H_0 : \phi_{ij} = 0 \text{ atau } \theta_{ij} = 0 \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, p ; j = 1, 2, \dots, q$$

(parameter tidak signifikan)

$$H_1 : \phi_{ij} \neq 0 \text{ atau } \theta_{ij} \neq 0 \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, p ; j = 1, 2, \dots, q$$

(parameter signifikan)

Dengan  $\phi$  adalah orde  $p$ , dan  $\theta$  adalah orde  $q$ . Statistik uji *t-hitung* yang digunakan adalah

$$t - hitung = \frac{\phi_{ij}}{Se(\phi_{ij})}; t - hitung = \frac{\theta_{ij}}{Se(\theta_{ij})} \quad (2.39)$$

Apabila nilai *t-hitung*  $> t_{\alpha/2,df}$ ,  $df = n-p-1$ , dengan  $n$  adalah banyak pengamatan,  $p$  adalah banyak parameter atau berdasarkan nilai *p-value*  $< 0,05$  maka  $H_0$  ditolak yang berarti parameter model telah signifikan.

## 2.7. Uji Asumsi Residual

Setelah ditentukan model VARIMA, dilakukan asumsi residual untuk mendapatkan model yang layak digunakan. Menganalisis data *time series* harus memenuhi dua asumsi yaitu uji *white noise* dan berdistribusi multivariat normal.

### 2.7.1. Uji White Noise

Dikatakan memenuhi uji residual *white noise* apabila residual dari model tersebut saling bebas (independen) dengan yang lainnya atau tidak adanya korelasi dengan mean sama dengan nol dan ragam konstan. Pengujian *white noise* dapat dianalisis berdasarkan plot MACF dengan melihat lag yang tidak signifikan. Selain itu, dapat dilakukan uji Portmanteau yang merupakan generalisasi dari uji *Ljung Box* untuk data multivariat. Hipotesis yang digunakan sebagai berikut (Bhattacharjee et al., 2021).

$$H_0 : \rho_1 = \rho_2 = \rho_k = 0 \text{ (residual bersifat white noise)}$$

$$H_0 : \text{minimal terdapat satu } \rho_k \neq 0 \text{ (residual tidak bersifat white noise)}$$

Statistik uji yang digunakan

$$Q(k) = N^2 \sum_{k=1}^K \frac{1}{N-k} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_k \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_k \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \quad (2.40)$$

Dimana,

$Q(k)$  : nilai Q-hitung pada lag ke- $k$

$k$  : lag yang diuji

$N$  : banyak pengamatan

$\hat{\Gamma}_k$  : matriks ACF residual

Apabila nilai uji  $Q(k) < \chi_{\alpha,df}^2$  dengan  $df = (\text{banyak baris} - 1) (\text{banyak kolom} - 1)$  atau nilai  $p\text{-value} > 0,05$ , maka  $H_0$  diterima yang berarti residual bersifat *white noise* atau saling bebas satu sama lain.

### 2.7.2. Uji Distribusi Multivariat Normal

Pengujian distribusi normal untuk mengetahui residual yang digunakan dari populasi berdistribusi normal atau tidak dan sebagai asumsi dasar yang harus terpenuhi ndalam rata-rata sampel. Pengujian dapat dilakukan menggunakan uji *Kolmogorov-Smirnov* dengan hipotesis yang digunakan untuk uji normalitas multivariat sebagai berikut (Apriliani, 2022).

$H_0$  :  $|F(x) = F_0(x)|$  (residual berdistribusi multivariat normal)

$H_1$  :  $|F(x) \neq F_0(x)|$  (residual tidak berdistribusi multivariat normal)

Dengan statistik uji yang digunakan

$$D = SUP |F_n(a_t) - F_0(a_t)| \quad (2.41)$$

Dimana,

SUP : Nilai maksimum harga mutlak

$F_n(a_t)$  : Fungsi peluang kumulatif dari residual sampel

$F_0(a_t)$  : Nilai peluang kumulatif dari distribusi normal

Apabila nilai  $D < D_{1-\alpha, n}$  dengan  $n$  adalah data residual atau nilai  $p$ -value  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima yang berarti residual berdistribusi multivariat normal. Selain itu, pengujian distribusi multivariat normal dapat dilakukan menggunakan QQ plot atau plot *chi-square* ( $\chi_{p,0,5}^2$ ) antara nilai jarak mahalnobis ( $d_i^2$ ) dengan nilai kuantil distribusi *chi-square* ( $\frac{i-0,5}{n}$ ). Berikut langkah-langkah pengujian distribusi multivariat normal menggunakan QQ plot (Sonya et al., 2019)

1. Menghitung nilai  $d_i^2$  dengan persamaan berikut.

$$d_i^2 = (Z_{ij} - \bar{Z}_j)^t S^{-1} (Z_{ij} - \bar{Z}_j) \quad (2.42)$$

Dimana,

$Z_{ij}$  = residual observasi ke- $i$  pada variabel ke- $j$

$\bar{Z}_j$  = rata-rata data residual pada variabel ke- $j$

$S^{-1}$  = invers matriks kovarian residual

2. Urutkan nilai  $d_j^2$  dari yang terkecil :

$$d_{(1)}^2 \leq d_{(2)}^2 \leq d_{(3)}^2 \leq \dots \leq d_{(n)}^2$$

3. Tentukan nilai  $q_i$  dengan rumus  $\int_{-\infty}^{q_i} f(x^2) dx = p_i$  atau  $q_i(p_i) = \chi_p^2(\frac{n-i+0,5}{n})$  dengan  $p$  adalah banyak variabel dan  $n$  adalah banyak data yang digunakan sebagai sumbu Y.

4. Membuat *scatterplot* antara pasangan  $d_i^2$  dan  $q_i$

Apabila *scatter plot* cenderung membentuk garis lurus dengan nilai  $d_i^2 < \chi_{p;0,5}^2$  lebih dari 50% atau nilai *p-value*  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima yang berarti residual data berdistribusi multivariat normal.

## 2.8. Tingkat Akurasi Model

Tingkat akurasi model yang dihasilkan sangat penting dalam peramalan karena dapat mengetahui seberapa besar akurasi yang tepat antara data peramalan dan data aktual. Tingkat akurasi model dapat menggunakan *Mean Absolute Percent Error* (MAPE) dengan menggunakan kesalahan absolut pada setiap periode dibagi dengan nilai yang diamati yang terbukti untuk periode tersebut (Khair et al., 2017). Interpretasi nilai MAPE dapat dilihat berdasarkan interval sebagai berikut.

**Tabel 2.3 Kriteria Nilai MAPE**

Nilai MAPE	Interpretasi
$\leq 10\%$	Sangat akurat
10% – 20%	Akurat
20% – 50%	Cukup Akurat
$> 50\%$	Tidak akurat

Rumus MAPE dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Z_t - \hat{Z}_t}{Z_t} \right| \times 100\% \quad (2.43)$$

Dimana,

$n$  : banyak data

$Z_t$  : data aktual ke- $t$

$\hat{Z}_t$  : Data peramalan ke- $t$

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Sumber dan Struktur Data

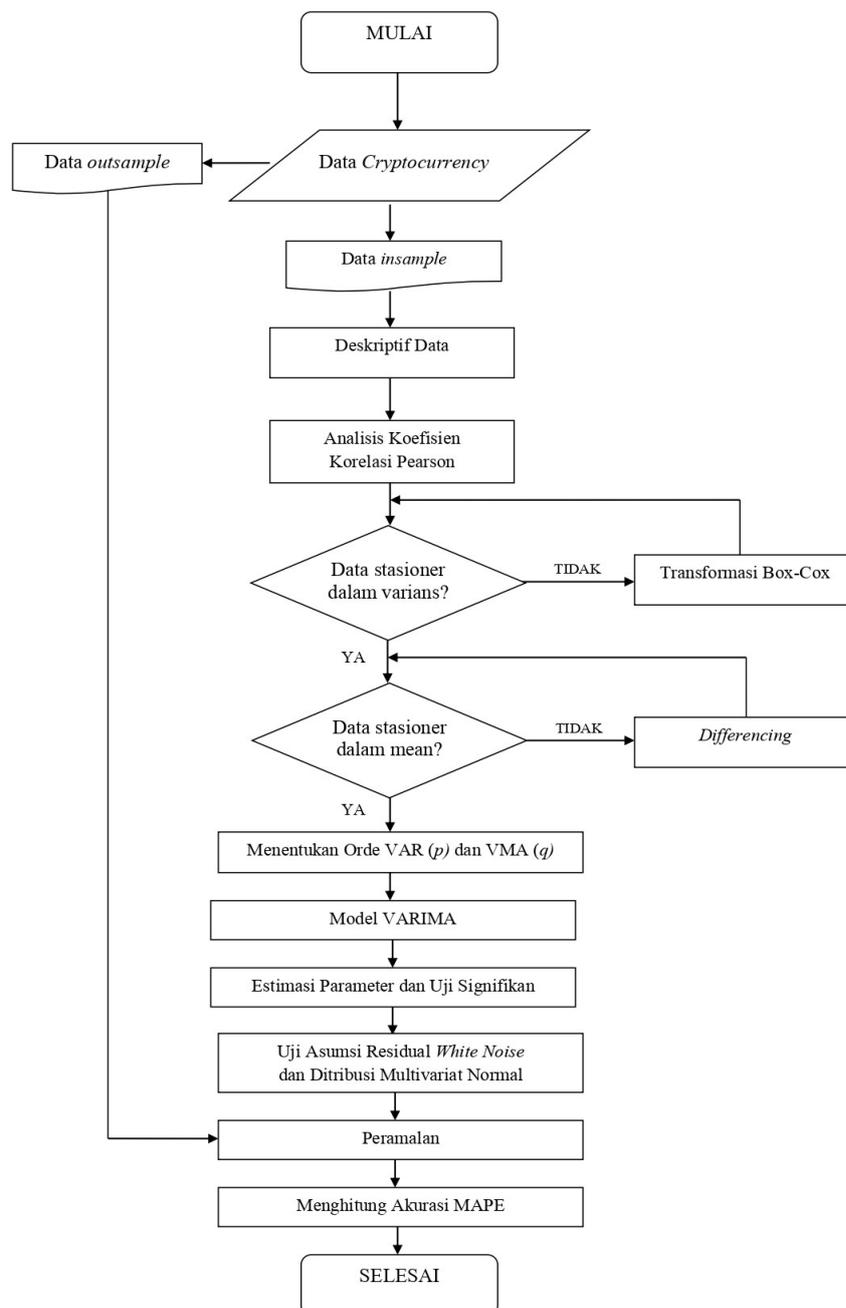
Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi harga penutupan mata uang *cryptocurrency* pada periode yang akan datang dengan variabel yang digunakan adalah Bitcoin ( $Z_1$ ), Ethereum ( $Z_2$ ), dan Binance Coin ( $Z_3$ ). Data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapatkan dari situs pasar market yaitu *coinmarketcap.com*. Penggunaan data dalam penelitian ini dibagi menjadi data *insample* sebanyak 334 data yaitu 01 Januari 2021 hingga 30 November 2021 dan data *outsample* sebanyak 31 data yaitu 01 Desember 2021 hingga 31 Desember 2021. Berikut struktur data *cryptocurrency*. Secara lengkap dapat dilihat pada lampiran 1.

Tabel 3.1 Struktur Data

t	Hari	$Z_{1,t}$	$Z_{2,t}$	$Z_{3,t}$
1	01 Januari 2021	$Z_{1,1}$	$Z_{2,1}$	$Z_{3,1}$
2	02 Januari 2021	$Z_{1,2}$	$Z_{2,2}$	$Z_{3,2}$
3	03 Januari 2021	$Z_{1,3}$	$Z_{2,3}$	$Z_{3,3}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
364	30 Desember 2021	$Z_{1,364}$	$Z_{2,364}$	$Z_{3,364}$
365	31 Desember 2021	$Z_{1,365}$	$Z_{2,365}$	$Z_{3,365}$

### 3.2. Langkah-Langkah Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan diantaranya kestasioneran data, identifikasi model, estimasi parameter, uji asumsi residual, dan tingkat akurasi model yang disajikan dalam bentuk *flowchart* sebagai berikut.



**Gambar 3.1 Flowchart Penelitian**

Berdasarkan gambar 3.1, langkah dari penelitian ini adalah :

1. Membagi data menjadi dua bagian yaitu 334 data *insample* untuk membentuk model VARIMA dan 31 data *outsample* sebagai tingkat akurasi model.
2. Melakukan deskriptif data untuk mengetahui nilai rata-rata, persebaran data terhadap rata-rata, koefisien variasi, nilai minimum dan maksimum tiap variabel.
3. Menganalisis tingkat korelasi antar variabel menggunakan persamaan (2.1) dengan syarat tingkat hubungan antar variabel minimal cukup berkorelasi antara 0,4 hingga 0,599.
4. Pengujian kestasioneran data dalam varians dan rata-rata.
  - (a) Melakukan pemeriksaan kestasioneran data terhadap varians menggunakan grafik-Box-Cox. Apabila nilai  $\lambda$  bernilai 1 atau batas atas (UCL) atau batas bawah (LCL) melebihi nilai 1, maka data telah stasioner dalam varians dan apabila  $\lambda$  tidak bernilai 1, perlu dilakukan tranformasi menggunakan persamaan (2.4) hingga stasioner dalam varians.
  - (b) Melakukan pemeriksaan kestasioneran data terhadap rata-rata dapat diidentifikasi berdasarkan plot data yang fluktuatif berada disekitaran rata-rata. Apabila belum stasioner dalam rata-rata, maka dapat dilakukan differencing menggunakan persamaan (2.6) hingga data stasioner.

5. Mengidentifikasi model VARIMA dengan langkah-langkah berikut.
  - (a) Menentukan orde VMA ( $q$ ) berdasarkan plot MACF dari data yang telah stasioner dalam varians dan rata-rata dengan melihat lag yang *cut off*.
  - (b) Menentukan orde VAR ( $p$ ) berdasarkan plot MPACF dari data yang telah stasioner dalam varians dan rata-rata.
  - (c) Mengidentifikasi orde berdasarkan nilai AICC minimum dan menentukan beberapa penduga model VARIMA.
6. Melakukan estimasi parameter dan uji signifikansi untuk mendapatkan parameter yang signifikan dengan nilai  $p\text{-value} < 0,05$ .
7. Menguji kesesuaian model dari nilai residual pada tiap model VARIMA diantaranya uji *white noise* sesuai persamaan (2.40) dan uji distribusi multivariat normal menggunakan persamaan (2.42).
8. Melakukan peramalan dalam waktu satu bulan berdasarkan model VARIMA terbaik yang memenuhi uji asumsi residual.
9. Melakukan perhitungan tingkat akurasi terhadap model VARIMA terbaik dengan MAPE sesuai persamaan (2.43).
10. Melakukan interpretasi dari hasil peramalan.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Deskriptif Data

Deskriptif data digunakan sebagai gambaran umum tentang pemahaman dan penjelasan data *cryptocurrency* Bitcoin (BTC), Ethereum (ETH), dan Binance Coin (BNB). Data yang digunakan adalah data harga penutupan pada tanggal 01 Januari 2021 hingga 30 November 2021 sebagai data *insample* dan tanggal 01 Desember 2021 hingga 31 Desember 2021 sebagai data *outsample*. Berikut deskriptif data harga penutupan Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin menggunakan Minitab.

**Tabel 4.1** Deskriptif Data *Cryptocurrency*

Mata Uang	Mean	Stdv	Minimum	Maksimum
BTC	676670203	146804982	409954094	958497024
ETH	38414669	14112082	10278000	68222000
BNB	5198803	2407874	536345	9720851

Berdasarkan tabel 4.1 deskriptif data *cryptocurrency* pada harga penutupan, rata-rata harga Bitcoin sebesar Rp 676.670.203 dengan nilai keragaman sebesar Rp 146.804.982. Minimum harga penutupan Bitcoin sebesar Rp 409.954.094 pada tanggal 01 Januari 2021 dan harga maksimum mencapai Rp 958.497.024 pada tanggal 08 November 2021. Sedangkan, rata-rata harga Ethereum yaitu sebesar Rp 38.414.669 dengan nilai keragaman sebesar Rp 14.112.082. Minimum harga penutupan Ethereum sebesar Rp 10.278.000 pada tanggal 01 Januari 2021 dan

harga maksimum mencapai Rp 68.222.000 pada tanggal 08 November 2021. Untuk rata-rata harga Binance Coin sebesar Rp 5.198.803 dengan keragaman sebesar Rp 2.407.874. Minimum harga penutupan Binance sebesar Rp 536.345 pada tanggal 12 Januari 2021 dan harga maksimum mencapai Rp 9.720.851 pada tanggal 03 Mei 2021. Pergerakan harga *cryptocurrency* dari tiga variabel dapat dilihat sebagai berikut.



**Gambar 4.1 Plot Data Harga Penutupan Bitcoin**

Pada gambar 4.1 terlihat bahwa pergerakan harga Bitcoin mengalami fluktuatif naik turun setiap harinya. Harga tertinggi pada tanggal 08 November 2021 sebesar Rp 958.497.024 tiap koinnya dan harga terendah pada tanggal 01 Januari 2021 sebesar Rp 409.954.094 tiap koinnya.



**Gambar 4.2 Plot Data Harga Penutupan Ethereum**

Pada gambar 4.2 terlihat bahwa pergerakan harga Ethereum mengalami fluktuatif naik turun setiap harinya. Harga tertinggi pada tanggal 08 November 2021 sebesar Rp 68.222.000 per koin dan harga terendah pada tanggal 01 Januari 2021 sebesar Rp 10.278.000 per koin.



**Gambar 4.3 Plot Data Harga Penutupan Binance Coin**

Pada gambar 4.3 pergerakan harga Binance Coin sama halnya dengan Bitcoin dan Ethereum yang mengalami fluktuatif naik turun cukup besar. Harga tertinggi pada tanggal 03 Mei 2021 sebesar Rp 9.720.851 per koin dan harga terendah pada tanggal 12 Januari 2021 sebesar Rp 536.345 per koin. Berdasarkan grafik pergerakan ketiga harga *cryptocurrency* tersebut, terlihat adanya fluktuatif yang menunjukkan data belum stasioner.

#### 4.2. Koefisien Korelasi *Pearson Product Moment*

Koefisien korelasi pearson digunakan untuk mengetahui hubungan antar kedua variabel dengan hipotesis yang digunakan sebagai berikut.

$$H_0 : r = 0 \text{ (Tidak terdapat hubungan antar dua variabel)}$$

$$H_1 : r \neq 0 \text{ (Adanya hubungan antar dua variabel)}$$

Berikut contoh perhitungan korelasi *pearson* pada variabel Bitcoin ( $Z_1$ ) dan Ethereum ( $Z_2$ ) menggunakan persamaan (2.1).

$$\sum Z_1 = 226007847936$$

$$\sum Z_1^2 = 160109493418866$$

$$\sum Z_2 = 12830499360$$

$$\sum Z_2^2 = 559196617021184$$

$$\sum Z_1 Z_2 = 907572298212831$$

$$r_{Z_1 Z_2} = \frac{334(907572298212831) - (226007847936)(12830499360)}{\sqrt{530939651016026 \times 10^{40}}}$$

$$r_{Z_1 Z_2} = 0,571$$

**Tabel 4.2 Nilai Korelasi Ketiga *Cryptocurrency***

Variabel	Bitcoin	Ethereum	Binance Coin
Bitcoin	1	0,571	0,652
Ethereum	0,571	1	0,869
Binance Coin	0,652	0,869	1

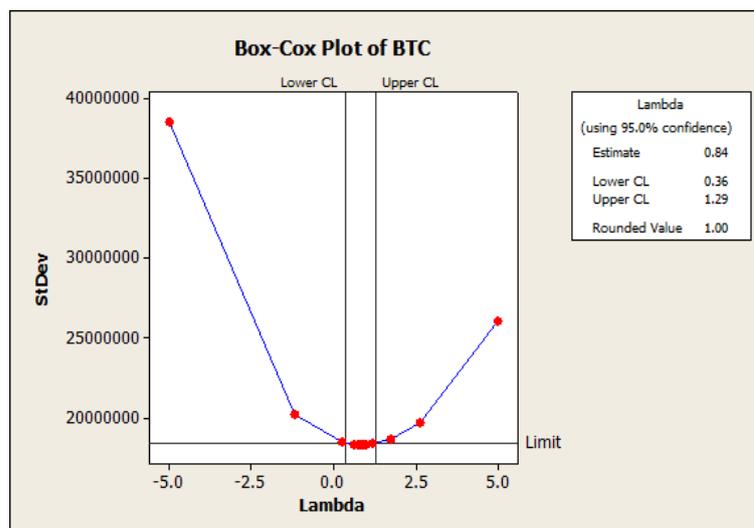
Berdasarkan nilai korelasi pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai korelasi Bitcoin dan Ethereum sebesar  $0,571 > r_{0,05;332} = 0,107$  dan nilai *p-value* sebesar  $0 < 0,05$  yang berarti  $H_0$  ditolak, maka dapat dikatakan bahwa keduanya cukup berkorelasi. Sedangkan nilai korelasi Bitcoin dan Binance Coin sebesar  $0,652 > 0,107$  dan nilai *p-value* sebesar  $0 < 0,05$  yang berarti  $H_0$  ditolak, maka dapat dikatakan bahwa keduanya kuat berkorelasi, dan nilai korelasi Ethereum dan Binance Coin sebesar  $0,869 > 0,107$  dan nilai *p-value* sebesar  $0 < 0,05$  yang berarti  $H_0$  ditolak, maka dapat dikatakan bahwa keduanya sangat kuat berkorelasi.

### 4.3. Kestasioneran Data

Karena adanya fluktuatif naik turun pada setiap harga *cryptocurrency* sehingga data belum dikatakan stasioner. Kestasioneran bertujuan data berada disekitaran rata-rata dan varians sehingga tidak terjadi perubahan yang signifikan tiap waktunya. Selain itu, dengan stasioner data dapat memberikan relevan data di masa sekarang dan yang akan datang.

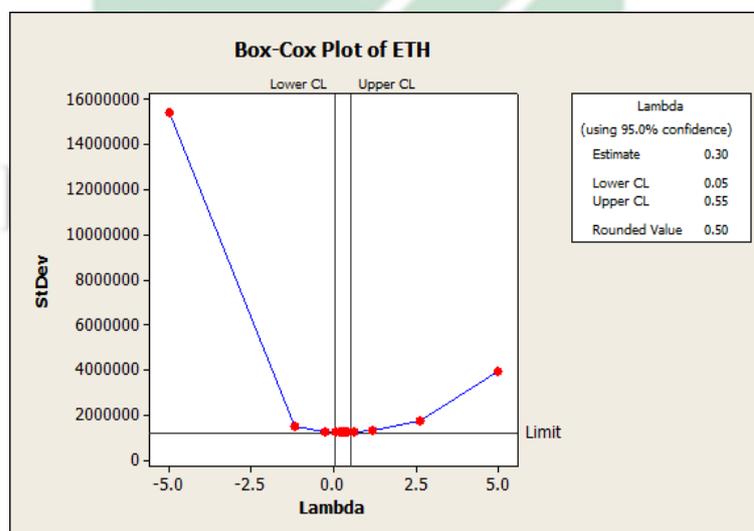
#### 4.3.1. Stasioner Dalam Varians

Mengidentifikasi stasioner dalam varians dapat dilihat berdasarkan nilai *rounded value* yang bernilai 1 atau nilai batas atas (UCL) dan nilai batas bawah (LCL) yang melebihi angka 1. Apabila belum atau tidak melebihi angka 1, maka dilakukan transformasi Box-Cox hingga *rounded value* bernilai 1 atau nilai batas melebihi angka 1. Berikut identifikasi Box-Cox pada data harga penutupan dari tiga variabel.



**Gambar 4.4 Transformasi Box-Cox Harga Penutupan Bitcoin**

Berdasarkan gambar 4.4, nilai *rounded value* yang dihasilkan sama dengan 1 dengan batas atas (UCL) sebesar 1,29 dan batas bawah sebesar 0,36. Karena nilai *rounded value* bernilai 1 atau melebihi angka 1 pada nilai batas atas, maka data Bitcoin telah stasioner dalam varians.



**Gambar 4.5 Transformasi Box-Cox Harga Penutupan Ethereum**

Pada gambar 4.5, identifikasi Box-Cox harga Ethereum terlihat nilai *rounded value* sama dengan 0,5 dan batas atas (UCL) bernilai 0,55 serta batas bawah (LCL)

bernilai 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa data Ethereum tidak memenuhi stasioner dalam varians dan perlu dilakukan Transformasi Box-Cox dengan menggunakan persamaan (2.4). Berikut perhitungan Transformasi Box-Cox pada beberapa sampel data Ethereum.

$$T(Z_t) = \sqrt{(Z_t)}$$

$$Z_1 = 10278000 \rightarrow T(Z_1) = \sqrt{(10278000)} = 3205,932$$

$$Z_2 = 10813000 \rightarrow T(Z_2) = \sqrt{(10813000)} = 3288,313$$

$$Z_3 = 13653000 \rightarrow T(Z_3) = \sqrt{(13653000)} = 3695$$

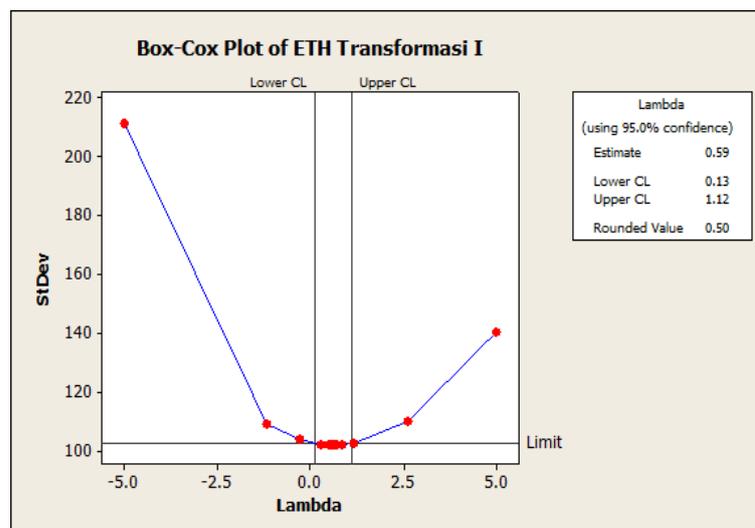
$$\vdots$$

$$Z_{333} = 63468000 \rightarrow T(Z_{333}) = \sqrt{(63468000)} = 7966,680$$

$$Z_{334} = 66528000 \rightarrow T(Z_{334}) = \sqrt{(66528000)} = 8156,470$$

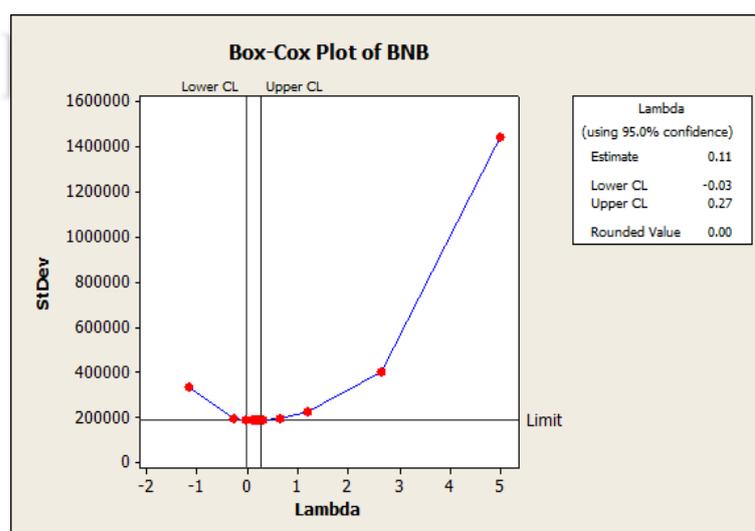
**Tabel 4.3 Hasil Transformasi Box-Cox I Harga Penutupan Ethereum**

Data Ke-	Hasil Transformasi
1	3205,932
2	3288,313
3	3695
⋮	⋮
333	7966,680
334	8156,470



**Gambar 4.6 Transformasi Box-Cox I Harga Penutupan Ethereum**

Setelah diperoleh hasil transformasi Box-Cox pertama, dilakukan identifikasi ulang dengan hasil pada gambar 4.6. Berdasarkan nilai *rounded value* bernilai 0,5 dengan batas atas (UCL) bernilai 1,12 dan batas bawah (LCL) bernilai 0,13. Meskipun nilai *rounded value* tidak bernilai 1, akan tetapi batas atas (UCL) melebihi angka 1. Sehingga dapat dikatakan bahwa data Ethereum telah stasioner dalam varians.



**Gambar 4.7 Transformasi Box-Cox Harga Penutupan Binance Coin**

Berdasarkan gambar 4.7 pada harga Binance Coin, menunjukkan nilai *rounded value* bernilai 0 dengan batas atas (UCL) bernilai 0,27 sedangkan batas bawah (LCL) bernilai  $-0,03$ , sehingga data Binance belum stasioner dalam varians dan perlu dilakukan transformasi Box-Cox. Berikut perhitungan transformasi Box-Cox pada beberapa sampel data Binance Coin dengan menggunakan persamaan (2.4).

$$T(Z_t) = Ln(Z_t)$$

$$Z_1 = 538800 \rightarrow T(Z_1) = Ln(538800) = 13,197$$

$$Z_2 = 544964 \rightarrow T(Z_2) = Ln(544964) = 13,208$$

$$Z_3 = 578237 \rightarrow T(Z_3) = Ln(578237) = 13,267$$

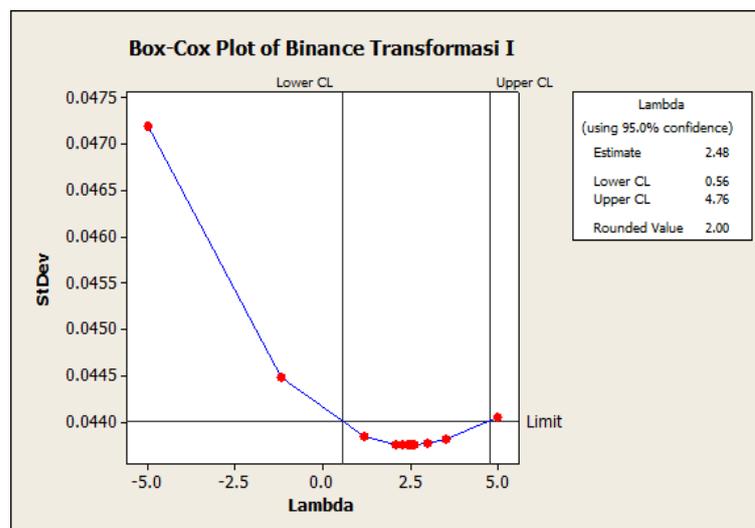
$$\vdots$$

$$Z_{333} = 8942822 \rightarrow T(Z_{333}) = Ln(8942822) = 16,006$$

$$Z_{334} = 8934946 \rightarrow T(Z_{334}) = Ln(8934946) = 16,005$$

**Tabel 4.4 Hasil Transformasi Box-Cox I Harga Penutupan Binance Coin**

Data Ke-	Hasil Transformasi
1	13,197
2	13,208
3	13,267
⋮	⋮
333	16,006
334	16,005



**Gambar 4.8 Transformasi Box-Cox Pertama Harga Penutupan Binance Coin**

Setelah dilakukan Transformasi Box-Cox pada harga Binance Coin, diperoleh nilai *rounded value* ( $\lambda$ ) bernilai 0 dengan batas atas (UCL) bernilai 2,58 sedangkan batas bawah (LCL) bernilai  $-1,81$ . Karena batas atas (UCL) melewati angka 1, sehingga dapat disimpulkan bahwa data Binance Coin telah stasioner dalam varians.

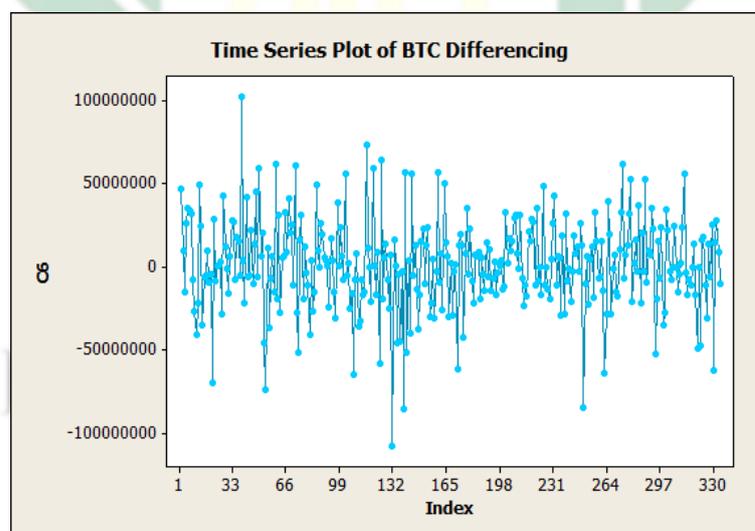
#### 4.3.2. Stasioner Dalam Mean

Setelah data stasioner dalam varians, maka dilakukan stasioner dalam rata-rata (*mean*). Berdasarkan plot data *time series*, terlihat bahwa data belum stasioner dalam rata-rata karena data cenderung berfluktuasi sehingga perlu dilakukan proses *differencing* (pembedaan). Berikut perhitungan *differencing* menggunakan persamaan (2.6) pada tiap variabel.

Tabel 4.5 Perhitungan *Differencing* Bitcoin

Data Ke-	Harga BTC	$Z_t - Z_{t-1}$
1	409954094,1	-
2	456647107,4	46693013,260
3	465953615,3	9306507,930
4	450288295,7	-15665319,580
⋮	⋮	⋮
334	820182016	-10323968

Dari hasil perhitungan *differencing*, maka dilakukan plot *time series* sebagai berikut.

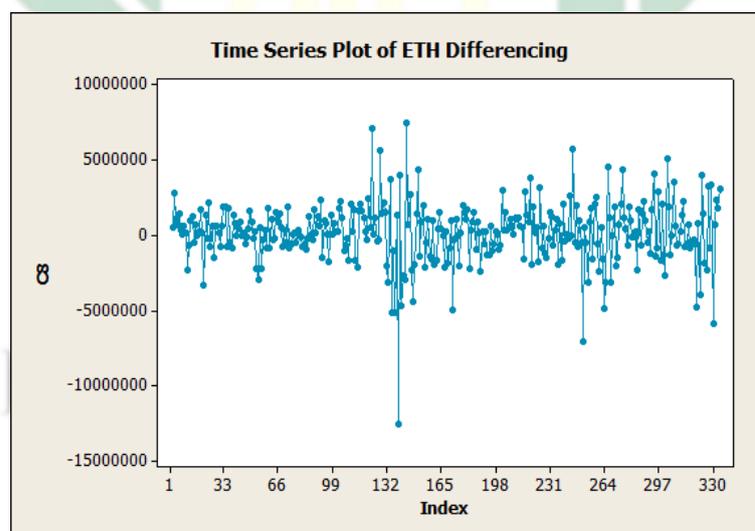
Gambar 4.9 Plot *Differencing* Harga Bitcoin

Berdasarkan plot data hasil perhitungan *differencing*, terlihat bahwa data berada disekitaran nilai nol sehingga dapat disimpulkan bahwa data Bitcoin telah stasioner dalam rata-rata.

Tabel 4.6 Perhitungan *Differencing* Ethereum

Data Ke-	Harga ETH	$Z_t - Z_{t-1}$
1	10278000	-
2	10813000	535000
3	13653000	2840000
4	14709000	1056000
⋮	⋮	⋮
334	66528000	3060000

Dari hasil perhitungan *differencing*, maka dilakukan plot *time series* sebagai berikut.

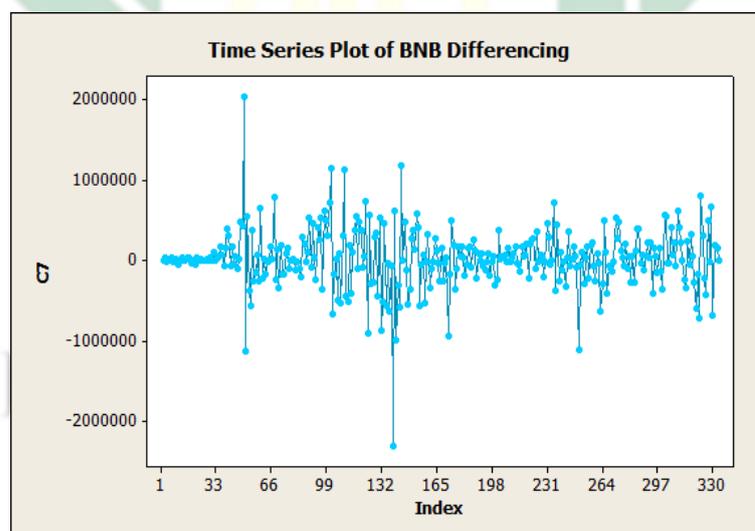
Gambar 4.10 Plot *Differencing* Harga Ethereum

Berdasarkan plot data hasil perhitungan *differencing*, terlihat bahwa data berada disekitaran nilai nol sehingga dapat disimpulkan bahwa data Ethereum telah stasioner dalam rata-rata.

Tabel 4.7 Perhitungan *Differencing* Binance Coin

Data Ke-	Harga ETH	$Z_t - Z_{t-1}$
1	538800	-
2	544964	6164
3	578237	33273
4	557347	-20890
⋮	⋮	⋮
334	8934946	-7876

Dari hasil perhitungan *differencing*, maka dilakukan plot *time series* sebagai berikut.

Gambar 4.11 Plot *Differencing* Harga Binance Coin

Berdasarkan plot data hasil perhitungan *differencing*, terlihat bahwa data berada disekitaran nilai nol sehingga dapat disimpulkan bahwa data Binance Coin telah stasioner dalam rata-rata. Dari hasil *first differencing* terhadap ketiga variabel, terlihat bahwa data telah stasioner dalam rata-rata (*mean*). Kestasioneran data juga dapat dihitung secara statistik menggunakan uji ADF dengan syarat nilai

statistik ADF lebih besar dari nilai kritis (*critical value*) *Mckinnoncritical* yang ditentukan. Hipotesis yang digunakan sebagai berikut.

$$H_0 : \phi_i \geq 0 \text{ (Data bersifat tidak stasioner)}$$

$$H_1 : \phi_i < 0 \text{ (Data bersifat stasioner)}$$

Data bersifat stasioner ( $H_0$  ditolak) apabila nilai  $|t_{hitung}| > t_{\frac{\alpha}{2};df}$  atau nilai  $p\text{-value} < 0,05$ . Berikut hasil perhitungan uji ADF *Unit Root Test* menggunakan persamaan (2.8) dan (2.11) terhadap masing-masing variabel setelah *differencing*.

**Tabel 4.8 Uji Augmented Dickey Fuller**

Variabel	$t_{hitung}$	$p\text{-value}$
Bitcoin	-19,837	0,000
Ethereum	-6,333	0,000
Binance Coin	-6,969	0,000

Pada tabel 4.8 uji ADF menunjukkan bahwa nilai  $t_{hitung}$  pada variabel Bitcoin sebesar  $|-19,837|$ , Ethereum sebesar  $|-6,333|$  dan Binance sebesar  $|-6,969|$  dimana lebih besar dari  $t_{0,025;333} = 2,25$ . Selain itu, dapat dilihat berdasarkan nilai  $p\text{-value}$  pada masing-masing variabel sebesar 0,000 yang lebih kecil dari taraf signifikan ( $\alpha = 0,05$ ), sehingga dapat dikatakan bahwa data ketiga variabel telah stasioner dalam varians maupun rata-rata.

#### 4.4. Identifikasi Model VARIMA

Setelah data bersifat stasioner dalam rata-rata dan varians, maka langkah selanjutnya dilakukan pemodelan harga *cryptocurrency*. Identifikasi model menggunakan metode VARIMA berdasarkan pada plot *Matrix Autocorrelation Function* (MACF) untuk menentukan orde VMA ( $q$ ) dan plot MPACF untuk

menentukan orde VAR ( $p$ ). Berikut contoh perhitungan nilai MACF pada lag 0 berdasarkan persamaan (2.13) dengan data yang telah stasioner. Lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 2.

Diketahui bahwa  $Z_1$  (Bitcoin),  $Z_2$  (Ethereum), dan  $Z_3$  (Binance Coin) dengan  $i = j = 1, 2, 3$  (banyak variabel)

$N = 333$  (data setelah *differencing*)

(i) Mencari nilai  $\hat{\rho}_{1,1}(0)$  dengan  $i = 1, j = 1$

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)(Z_{1,t+0} - \bar{Z}_1) &= 253787413139939000 \\ \sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)^2 \sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)^2 &= 644080510682619 \times 10^{20} \\ \hat{\rho}_{1,1}(0) &= \frac{\sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)(Z_{1,t+0} - \bar{Z}_1)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)^2 \sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)^2}} = \frac{253787413139939000}{\sqrt{644080510682619 \times 10^{20}}} = 1 \end{aligned}$$

(ii) Mencari nilai  $\hat{\rho}_{1,2}(0)$  dengan  $i = 1, j = 2$

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)(Z_{2,t+0} - \bar{Z}_2) &= 9425780877658320 \\ \sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)^2 \sum_{t=1}^{333} (Z_{2,t} - \bar{Z}_2)^2 &= 342702350254718 \times 10^{18} \\ \hat{\rho}_{1,2}(0) &= \frac{\sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)(Z_{2,t+0} - \bar{Z}_2)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)^2 \sum_{t=1}^{333} (Z_{2,t} - \bar{Z}_2)^2}} = \frac{9425780877658320}{\sqrt{342702350254718 \times 10^{18}}} = 0,509 \end{aligned}$$

(iii) Mencari nilai  $\hat{\rho}_{1,3}(0)$  dengan  $i = 1, j = 3$

$$\begin{aligned} \sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)(Z_{3,t+0} - \bar{Z}_3) &= 2099401438304550 \\ \sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)^2 \sum_{t=1}^{333} (Z_{3,t} - \bar{Z}_3)^2 &= 114158623257198 \times 10^{17} \\ \hat{\rho}_{1,3}(0) &= \frac{\sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)(Z_{3,t+0} - \bar{Z}_3)}{\sqrt{\sum_{t=1}^{333} (Z_{1,t} - \bar{Z}_1)^2 \sum_{t=1}^{333} (Z_{3,t} - \bar{Z}_3)^2}} = \frac{2099401438304550}{\sqrt{114158623257198 \times 10^{17}}} = 0,621 \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Nilai *Matrix Autocorrelation Function* Setelah *Differencing*

Lag	0			1			2		
Variabel	$Z_{1,t}$	$Z_{2,t}$	$Z_{3,t}$	$Z_{1,t-1}$	$Z_{2,t-1}$	$Z_{3,t-1}$	$Z_{1,t-2}$	$Z_{2,t-2}$	$Z_{3,t-2}$
$Z_{1,t}$	1	0,509	0,621	-0,084	0,153	-0,069	0,028	0,057	0,027
$Z_{2,t}$	0,509	1	0,548	-0,183	-0,102	-0,152	0,114	0,095	0,143
$Z_{3,t}$	0,621	0,548	1	-0,121	0,039	-0,146	0,136	0,115	0,105

Dari nilai MACF yang diperoleh, divisualisasikan dalam plot sebagai berikut.

Schematic Representation of Cross Correlations											
Variable/Lag	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BTC	+++	.+.	...	...	...	...	...	...	..-	...	...
ETH	+++	..-	+.+	...	.+.	..-	..+	...	...	...	...
BNB	+++	..-	..+	...	...	..-	..+	...	...	...	...

+ is  $> 2 \times \text{std error}$ , - is  $< -2 \times \text{std error}$ , . is between

Gambar 4.12 Plot *Matrix Autocorrelation Function*

Berdasarkan gambar 4.12, pada setiap tanda memiliki nilai yang berbeda dan nilai *standart error* dengan pengamatan sebanyak 333 data setelah *differencing* dapat dihitung menggunakan persamaan (2.16) sebagai berikut.

$$2 \times \text{Std.error} = 2 \times \frac{1}{\sqrt{333}} = 0,109$$

Berdasarkan, plot MACF terlihat bahwa tanda (+) muncul secara bersamaan pada lag 0 yang berarti adanya nilai korelasi silang positif antar variabel pada lag 0 dan beberapa lag lainnya. Sedangkan plot MPACF, untuk menentukan orde VAR ( $p$ ) dari data yang telah stasioner dengan menggunakan persamaan (2.25) sehingga didapatkan nilai sebagai berikut. Lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 2.

Tabel 4.10 Nilai *Partial Cross Correlations Function* Setelah *Differencing*

Lag	1			2			3		
Variabel	$Z_{1,t-1}$	$Z_{2,t-1}$	$Z_{3,t-1}$	$Z_{1,t-2}$	$Z_{2,t-2}$	$Z_{3,t-2}$	$Z_{1,t-3}$	$Z_{2,t-3}$	$Z_{3,t-3}$
$Z_{1,t}$	-0,085	0,234	-0,095	0,05	0,115	-0,027	0,009	-0,04	0,025
$Z_{2,t}$	-0,159	-0,145	0,00015	0,074	0,036	0,091	-0,032	0,017	-0,021
$Z_{3,t}$	-0,043	0,019	-0,102	0,123	0,048	-0,028	0,009	-0,012	0,042

Dari nilai MPACF yang diperoleh, divisualisasikan dalam plot sebagai berikut.

Schematic Representation of Partial Cross Correlations												
Variable/Lag	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
BTC	.+	.+	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ETH	--	...	...	...	...	..+	...	...	...	...	...	...
BNB	...	..+	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

+ is > 2\*std error, - is < -2\*std error, . is between

Gambar 4.13 Plot *Matrix Partial Autocorrelation Function*

Berdasarkan plot MPACF, terlihat hampir pada semua lag bertanda titik (.) yang mengindikasikan tidak adanya korelasi dan tanda (+) hanya pada lag tertentu. Untuk menentukan orde dapat diidentifikasi berdasarkan nilai AICC minimum sebagai berikut.

Tabel 4.11 *Minimum Information Criterion Based on AICC*

Lag	MA (0)	MA (1)	MA (2)	MA (3)	MA (4)
AR (1)	87,936	87,944	87,965	87,987	88,019
AR (2)	87,942	87,953	87,974	88,001	88,036
AR (3)	87,999	87,974	87,997	88,032	88,068
AR (4)	88,031	87,999	88,037	88,071	88,104

Berdasarkan Tabel 4.11 diketahui bahwa orde terkecil yaitu AR (1) dan MA(0) dengan nilai AICC sebesar 87,936. Akan tetapi, pada penelitian ini juga melakukan penduga dengan 3 nilai AICC minimum sesuai yaitu AR (1) dan MA(1) dengan AICC sebesar 87,944 dan orde AR (2) dan MA (0) dengan AICC sebesar 87,942. Sehingga penduga model yang terbentuk adalah VARIMA (1,1,0), VARIMA (1,1,1), dan VARIMA (2,1,0).

#### 4.5. Estimasi Parameter dan Pengujian Signifikan

Setelah didapatkan penduga model VARIMA (1,1,0), VARIMA (1,1,1), dan VARIMA (2,1,0), maka dilakukan pengujian signifikan parameter. Hipotesis yang digunakan untuk uji signifikan parameter dengan taraf signifikan ( $\alpha = 0,05$ ) sebagai berikut.

$$H_0 : \phi_{ij} = 0 \text{ atau } \theta_{ij} = 0 \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, p ; j = 1, 2, \dots, q$$

(parameter tidak signifikan)

$$H_1 : \phi_{ij} \neq 0 \text{ atau } \theta_{ij} \neq 0 \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, p ; j = 1, 2, \dots, q$$

(parameter signifikan)

Berikut taksiran parameter pada masing-masing model.

##### 4.5.1. Model VARIMA (1,1,0)

Estimasi parameter model VARIMA (1,1,0) didapatkan 9 parameter. Parameter yang digunakan sebagai model berdasarkan nilai  $p - value$  yang lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ . Apabila nilai  $p - value < 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak yang berarti parameter signifikan. Begitupun sebaliknya, apabila nilai  $p - value > 0,05$ , maka  $H_0$  diterima yang berarti parameter tidak signifikan. Berikut penduga estimasi parameter dari model VARIMA (1,1,0) data ketiga *cryptocurrency*.

Tabel 4.12 Estimasi Parameter VARIMA (1,1,0)

Variabel	Parameter	Estimasi	Standard Error	p-value	Keterangan
BTC	$\phi_{11}^1$	0,035	0,071	0,626	Tidak Signifikan
	$\phi_{12}^1$	-2,385	0,920	0,010	Signifikan
	$\phi_{13}^1$	-3,295	5,514	0,550	Tidak Signifikan
ETH	$\phi_{11}^2$	0,020	0,005	0,000	Signifikan
	$\phi_{12}^2$	-0,241	0,066	0,000	Signifikan
	$\phi_{13}^2$	0,034	0,398	0,931	Tidak Signifikan
BNB	$\phi_{11}^3$	0,001	0,000	0,343	Tidak Signifikan
	$\phi_{12}^3$	-0,021	0,012	0,089	Tidak Signifikan
	$\phi_{13}^3$	-0,120	0,074	0,105	Tidak Signifikan

Berdasarkan Tabel 4.12, terdapat beberapa parameter yang signifikan yaitu  $\phi_{12}^1$ ,  $\phi_{11}^2$ , dan  $\phi_{12}^2$  dan beberapa parameter lainnya tidak signifikan. Untuk mengatasi parameter yang tidak signifikan, maka dilakukan *restrict* dengan cara menghilangkan satu demi satu parameter dari nilai *p-value* terbesar dan secara bertahap hingga mendapatkan parameter yang nilai *p-value* lebih kecil dari taraf signifikan ( $\alpha = 0,05$ ). Berikut hasil estimasi parameter VARIMA (1,1,0) setelah dilakukan *restrict*.

Tabel 4.13 Estimasi Parameter VARIMA (1,1,0) setelah *restrict*

Variabel	Parameter	Estimasi	Standard Error	p-value	Keterangan
BTC	$\phi_{12}^1$	-2,474	0,740	0,001	Signifikan
ETH	$\phi_{11}^2$	0,019	0,003	0,000	Signifikan
	$\phi_{12}^2$	-0,235	0,059	0,000	Signifikan
BNB	$\phi_{12}^3$	-0,027	0,001	0,007	Signifikan

Dari hasil estimasi parameter yang telah di *restrict*, diperoleh sebanyak 4 parameter yang signifikan dengan masing-masing nilai *p-value* kurang dari 0,05, sehingga sesuai dengan persamaan (2.38), model VARIMA (1,1,0) dapat dibentuk menjadi persamaan yang sebagai berikut.

$$\begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \nabla Z_{3,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11}^1 & \phi_{12}^1 & \phi_{13}^1 \\ \phi_{11}^2 & \phi_{12}^2 & \phi_{13}^2 \\ \phi_{11}^3 & \phi_{12}^3 & \phi_{13}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-1} \\ \nabla Z_{2,t-1} \\ \nabla Z_{3,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ a_{3,t} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \nabla Z_{3,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -2,474 & 0 \\ 0,019 & -0,235 & 0 \\ 0 & -0,027 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-1} \\ \nabla Z_{2,t-1} \\ \nabla Z_{3,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ a_{3,t} \end{bmatrix}$$

Dari model matriks di atas, maka dapat dijabarkan menjadi persamaan sebagai berikut.

(i) Harga Penutupan Bitcoin (BTC)

$$\nabla Z_{1,t} = -2,474 \nabla Z_{2,t-1} + a_{1,t}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$Z_{1,t} = Z_{1,t-1} - 2,474 (Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) + a_{1,t}$$

Persamaan di atas, menunjukkan bahwa harga penutupan Bitcoin dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya dan perubahan harga Ethereum, akan tetapi tidak dipengaruhi harga Binance Coin. Apabila selisih harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  meningkat sebesar Rp 1, maka akan menurunkan harga Bitcoin sebesar Rp 2,474. Harga Bitcoin hari ini sama dengan harga Bitcoin satu hari sebelumnya.

## (ii) Harga Penutupan Ethereum (ETH)

$$\nabla Z_{2,t} = 0,019\nabla Z_{1,t-1} - 0,235\nabla Z_{2,t-1} + a_{1,t}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$Z_{2,t} = Z_{2,t-1} + 0,019(Z_{1,t-1} - Z_{1,t-2}) - 0,235(Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) + a_{2,t}$$

Persamaan di atas, menunjukkan bahwa harga penutupan Ethereum dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya dan perubahan harga Bitcoin, akan tetapi tidak dipengaruhi oleh harga Binance Coin. Apabila selisih harga Bitcoin antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  meningkat sebesar Rp 1, maka akan meningkatkan harga Ethereum sebesar Rp 0,019. Selain itu, setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  akan menurunkan harga Ethereum sendiri sebesar Rp 0,235. Harga Ethereum hari ini sama dengan harga Ethereum satu hari sebelumnya.

## (iii) Harga Penutupan Binance Coin (BNB)

$$\nabla Z_{3,t} = -0,027\nabla Z_{2,t-1} + a_{3,t}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$Z_{3,t} = Z_{3,t-1} - 0,027(Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) + a_{3,t}$$

Persamaan di atas, menunjukkan bahwa harga penutupan Binance Coin dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya dan perubahan harga Ethereum, akan tetapi tidak dipengaruhi harga Bitcoin. Setiap kenaikan Rp 1 rupiah selisih harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  akan mempengaruhi harga Binance Coin dengan penurunan harga sebesar Rp 0,027. Harga Binance Coin hari ini sama dengan harga Binance Coin satu hari sebelumnya.

#### 4.5.2. Model VARIMA (1,1,1)

Estimasi parameter model VARIMA (1,1,1) didapatkan 18 parameter. Parameter yang digunakan sebagai model berdasarkan nilai  $p - value$  yang lebih kecil dari taraf signifikan ( $\alpha = 0,05$ ). Berikut penduga estimasi parameter dari model VARIMA (1,1,1) data ketiga *cryptocurrency*.

**Tabel 4.14 Estimasi Parameter VARIMA (1,1,1)**

Variabel	Parameter	Estimasi	Standard Error	$p$ -value	Keterangan
BTC	$\phi_{11}^1$	-0,078	0,678	0,907	Tidak Signifikan
	$\phi_{12}^1$	-2,680	3,901	0,493	Tidak Signifikan
	$\phi_{13}^1$	-38,950	38,518	0,313	Tidak Signifikan
	$\theta_{11}^1$	-0,104	0,718	0,884	Tidak Signifikan
	$\theta_{12}^1$	-0,3941	3,920	0,920	Tidak Signifikan
	$\theta_{13}^1$	-37,955	43,128	0,379	Tidak Signifikan
ETH	$\phi_{11}^2$	0,008	0,035	0,819	Tidak Signifikan
	$\phi_{12}^2$	-0,268	0,238	0,261	Tidak Signifikan
	$\phi_{13}^2$	-2,791	2,243	0,214	Tidak Signifikan
	$\theta_{11}^2$	-0,010	0,035	0,774	Tidak Signifikan
	$\theta_{12}^2$	-0,029	0,265	0,912	Tidak Signifikan
	$\theta_{13}^2$	-3,233	2,289	0,158	Tidak Signifikan
BNB	$\phi_{11}^3$	0,001	0,005	0,858	Tidak Signifikan
	$\phi_{12}^3$	-0,066	0,036	0,072	Tidak Signifikan
	$\phi_{13}^3$	-0,677	0,352	0,055	Tidak Signifikan
	$\theta_{11}^3$	0,000	0,005	0,959	Tidak Signifikan
	$\theta_{12}^3$	-0,053	0,042	0,205	Tidak Signifikan
	$\theta_{13}^3$	-0,588	0,382	0,125	Tidak Signifikan

Berdasarkan Tabel 4.14, tidak ada parameter yang signifikan sehingga perlu dilakukan *restrict* yang sama halnya seperti model VARIMA (1,1,0) hingga mendapatkan parameter yang signifikan. Berikut hasil estimasi parameter VARIMA (1,1,1) setelah dilakukan *restrict*.

**Tabel 4.15** Estimasi Parameter VARIMA (1,1,1) setelah *restrict*

Variabel	Parameter	Estimasi	Standard Error	p-value	Keterangan
BTC	$\phi_{12}^1$	-2,641	0,751	0,001	Signifikan
	$\phi_{13}^1$	-38,951	12,679	0,002	Signifikan
	$\theta_{13}^1$	-37,944	12,501	0,003	Signifikan
ETH	$\phi_{12}^2$	-0,230	0,057	0,000	Signifikan
	$\phi_{13}^2$	-2,823	0,978	0,004	Signifikan
	$\theta_{11}^2$	-0,019	0,004	0,000	Signifikan
	$\theta_{13}^2$	-3,096	1,015	0,002	Signifikan
BNB	$\phi_{12}^3$	-0,022	0,007	0,002	Signifikan
	$\phi_{13}^3$	-0,852	0,073	0,000	Signifikan
	$\theta_{13}^3$	-0,795	0,081	0,000	Signifikan

Dari hasil estimasi parameter yang telah di *restrict*, diperoleh sebanyak 10 parameter yang signifikan dengan masing-masing nilai *p-value* kurang dari taraf signifikan ( $\alpha = 0,05$ ), sehingga sesuai dengan persamaan (2.38), model VARIMA (1,1,1) dapat dibentuk menjadi persamaan yang sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \nabla Z_{3,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \phi_{11}^1 & \phi_{12}^1 & \phi_{13}^1 \\ \phi_{11}^2 & \phi_{12}^2 & \phi_{13}^2 \\ \phi_{11}^3 & \phi_{12}^3 & \phi_{13}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-1} \\ \nabla Z_{2,t-1} \\ \nabla Z_{3,t-1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \theta_{11}^1 & \theta_{12}^1 & \theta_{13}^1 \\ \theta_{11}^2 & \theta_{12}^2 & \theta_{13}^2 \\ \theta_{11}^3 & \theta_{12}^3 & \theta_{13}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-1} \\ a_{2,t-1} \\ a_{3,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ a_{3,t} \end{bmatrix} \\
\begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \nabla Z_{3,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & -2,641 & -38,951 \\ 0 & -0,230 & -2,823 \\ 0 & -0,022 & -0,852 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-1} \\ \nabla Z_{2,t-1} \\ \nabla Z_{3,t-1} \end{bmatrix} \\
&- \begin{bmatrix} 0 & 0 & -37,944 \\ -0,019 & 0 & -3,096 \\ 0 & 0 & -0,795 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{1,t-1} \\ a_{2,t-1} \\ a_{3,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ a_{3,t} \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

Dari model matriks di atas, maka dapat dijabarkan menjadi persamaan sebagai berikut.

(i) Harga Penutupan Bitcoin (BTC)

$$\nabla Z_{1,t} = -2,641 \nabla Z_{2,t-1} - 38,951 \nabla Z_{3,t-1} + 37,944 a_{3,t-1} + a_{1,t}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$\begin{aligned}
Z_{1,t} &= Z_{1,t-1} - 2,641 (Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) \\
&- 38,951 (Z_{3,t-1} - Z_{3,t-2}) + 37,944 a_{3,t-1} + a_{1,t}
\end{aligned}$$

Persamaan di atas, menunjukkan bahwa harga penutupan Bitcoin dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya, perubahan harga Ethereum, dan harga Binance Coin. Apabila selisih harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  meningkat sebesar Rp 1, maka akan menurunkan harga Bitcoin sebesar Rp 2,641. Setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Binance Coin juga antara satu hingga dua hari sebelumnya, akan mempengaruhi harga Ethereum penurunan sebesar Rp 38,951. Setiap kenaikan Rp 1 nilai residual harga Binance satu hari sebelumnya, akan meningkatkan harga Bitcoin sebesar Rp 37,944. Harga Bitcoin hari ini sama

dengan harga Bitcoin satu hari sebelumnya.

(ii) Harga Penutupan Ethereum (ETH)

$$\begin{aligned}\nabla Z_{2,t} &= -0,230\nabla Z_{2,t-1} - 2,823\nabla Z_{3,t-1} + 0,019a_{1,t-1} \\ &+ 3,096a_{3,t-1} + a_{2,t}\end{aligned}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$\begin{aligned}Z_{2,t} &= Z_{2,t-1} - 0,230(Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) - 2,823(Z_{3,t-1} - Z_{3,t-2}) \\ &+ 0,019a_{1,t-1} + 3,096a_{3,t-1} + a_{2,t}\end{aligned}$$

Persamaan tersebut, menunjukkan bahwa harga penutupan Ethereum dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya, perubahan harga Bitcoin, dan harga Binance Coin. Setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$ , akan mempengaruhi penurunan harga Ethereum sebesar Rp 0,230. Apabila selisih harga Binance antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  meningkat Rp 1, akan menurunkan harga Ethereum sebesar Rp 2,823. Selain itu, setiap kenaikan Rp 1 nilai residual harga Bitcoin satu hari sebelumnya, akan menaikkan harga Ethereum sebesar Rp 0,019 dan apabila kenaikan Rp 1 residual harga Binance Coin satu hari sebelumnya, maka harga Ethereum meningkat sebesar Rp 3,096. Harga Ethereum hari ini sama dengan harga Ethereum satu hari sebelumnya.

(iii) Harga Penutupan Binance Coin (BNB)

$$\nabla Z_{3,t} = -0,022\nabla Z_{2,t-1} - 0,852\nabla Z_{3,t-1} + 0,795a_{3,t-1} + a_{3,t}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$\begin{aligned}Z_{3,t} &= Z_{3,t-1} - 0,022(Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) - 0,852(Z_{3,t-1} - Z_{3,t-2}) \\ &+ 0,795a_{3,t-1} + a_{3,t}\end{aligned}$$

Persamaan di atas, menunjukkan bahwa harga penutupan Binance Coin dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya dan harga Ethereum,

akan tetapi tidak dipengaruhi oleh harga Bitcoin. Setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$ , akan menurunkan harga Binance Coin sebesar Rp 0,022. Apabila selisih harga Binance Coin antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  meningkat Rp 1, akan mempengaruhi dirinya sendiri dengan penurunan sebesar Rp 0,852. Selain itu, setiap kenaikan 1 rupiah nilai residual harga Binance satu hari sebelumnya, akan meningkatkan harga Binance Coin sendiri sebesar Rp 0,795. Harga Binance Coin hari ini sama dengan harga Binance Coin satu hari sebelumnya.

#### 4.5.3. Model VARIMA (2,1,0)

Pada estimasi parameter model VARIMA (2,1,0) didapatkan 18 parameter. Estimasi parameter yang digunakan berdasarkan nilai *p-value* yang lebih kecil dari taraf signifikan ( $\alpha = 0,05$ ) sehingga memenuhi asumsi  $H_0$  ditolak yang berarti parameter signifikan. Berikut penduga estimasi parameter model VARIMA (2,1,0) data ketiga *cryptocurrency*.

**Tabel 4.16 Estimasi Parameter VARIMA (2,1,0)**

Variabel	Parameter	Estimasi	Standard Error	<i>p-value</i>	Keterangan
BTC	$\phi_{11}^1$	0,046	0,072	0,521	Tidak Signifikan
	$\phi_{12}^1$	-2,562	0,957	0,008	Signifikan
	$\phi_{13}^1$	-1,365	5,550	0,806	Tidak Signifikan
	$\phi_{21}^1$	-0,064	-0,880	0,378	Signifikan
	$\phi_{22}^1$	0,634	0,936	0,498	Tidak Signifikan
	$\phi_{23}^1$	12,330	5,510	0,026	Signifikan

Variabel	Parameter	Estimasi	<i>Standard Error</i>	<i>p-value</i>	Keterangan
ETH	$\phi_{11}^2$	0,021	0,005	0,000	Signifikan
	$\phi_{12}^2$	-0,275	0,069	0,000	Signifikan
	$\phi_{13}^2$	0,228	0,398	0,567	Tidak Signifikan
	$\phi_{21}^2$	0,002	0,005	0,732	Tidak Signifikan
	$\phi_{22}^2$	0,048	0,067	0,477	Tidak Signifikan
	$\phi_{23}^2$	0,715	0,396	0,072	Tidak Signifikan
BNB	$\phi_{11}^3$	0,001	0,001	0,242	Tidak Signifikan
	$\phi_{12}^3$	-0,020	0,013	0,116	Tidak Signifikan
	$\phi_{13}^3$	-0,107	0,075	0,152	Tidak Signifikan
	$\phi_{21}^3$	-0,001	0,001	0,347	Tidak Signifikan
	$\phi_{22}^3$	0,023	0,013	0,063	Tidak Signifikan
	$\phi_{23}^3$	0,082	0,074	0,271	Tidak Signifikan

Berdasarkan Tabel 4.16, terdapat beberapa parameter yang signifikan yaitu  $\phi_{12}^1$ ,  $\phi_{21}^1$ ,  $\phi_{23}^1$ ,  $\phi_{11}^2$ ,  $\phi_{12}^2$  dan yang lainnya tidak signifikan. Untuk mengatasi parameter yang tidak signifikan, maka dilakukan *restrict* hingga mendapatkan parameter yang nilai *p-value*nya lebih kecil dari 0,05. Berikut hasil estimasi parameter VARIMA (2,1,0) setelah dilakukan *restrict*.

**Tabel 4.17 Estimasi Parameter VARIMA (2,1,0) setelah *restrict***

Variabel	Parameter	Estimasi	<i>Standard Error</i>	<i>p-value</i>	Keterangan
BTC	$\phi_{12}^1$	-1,976	0,619	0,002	Signifikan
	$\phi_{23}^1$	9,158	3,382	0,007	Signifikan

Variabel	Parameter	Estimasi	Standard Error	p-value	Keterangan
ETH	$\phi_{11}^2$	0,018	0,004	0,000	Signifikan
	$\phi_{12}^2$	-0,197	0,052	0,000	Signifikan
	$\phi_{23}^2$	0,756	0,253	0,003	Signifikan
BNB	$\phi_{13}^3$	-0,122	0,044	0,006	Signifikan
	$\phi_{22}^3$	0,018	0,008	0,025	Signifikan

Dari hasil estimasi parameter yang telah di *restrict*, diperoleh sebanyak 7 parameter yang signifikan dengan masing-masing nilai *p-value* kurang dari 0,05 sehingga sesuai dengan persamaan (2.38), model VARIMA (2,1,0) dapat dibentuk menjadi persamaan yang sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \nabla Z_{3,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \phi_{11}^1 & \phi_{12}^1 & \phi_{13}^1 \\ \phi_{11}^2 & \phi_{12}^2 & \phi_{13}^2 \\ \phi_{11}^3 & \phi_{12}^3 & \phi_{13}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-1} \\ \nabla Z_{2,t-1} \\ \nabla Z_{3,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{21}^1 & \phi_{22}^1 & \phi_{23}^1 \\ \phi_{21}^2 & \phi_{22}^2 & \phi_{23}^2 \\ \phi_{21}^3 & \phi_{22}^3 & \phi_{23}^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-2} \\ \nabla Z_{2,t-2} \\ \nabla Z_{3,t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ a_{3,t} \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t} \\ \nabla Z_{2,t} \\ \nabla Z_{3,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & -1,976 & 0 \\ 0,018 & -0,197 & 0 \\ 0 & 0 & -0,122 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-1} \\ \nabla Z_{2,t-1} \\ \nabla Z_{3,t-1} \end{bmatrix} \\
 &+ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 9,158 \\ 0 & 0 & 0,756 \\ 0 & 0,018 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nabla Z_{1,t-2} \\ \nabla Z_{2,t-2} \\ \nabla Z_{3,t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{1,t} \\ a_{2,t} \\ a_{3,t} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

Dari model matriks di atas, maka dapat dijabarkan menjadi persamaan sebagai berikut.

(i) Harga Penutupan Bitcoin (BTC)

$$\nabla Z_{1,t} = -1,976\nabla Z_{2,t-1} + 9,158\nabla Z_{3,t-2} + a_{1,t}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$Z_{1,t} = Z_{1,t-1} - 1,976 (Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) + 9,158 (Z_{3,t-2} - Z_{3,t-3}) + a_{1,t}$$

Persamaan di atas, menunjukkan bahwa harga penutupan Bitcoin dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya, harga Ethereum, dan harga Binance Coin. Setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$ , akan menurunkan harga Bitcoin sebesar Rp 1,976. Selain itu, Setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Binance Coin antara dua hingga tiga hari sebelumnya pada  $t - 2$  dan  $t - 3$ , akan meningkatkan harga Bitcoin sebesar Rp 9,158. Harga Bitcoin hari ini sama dengan harga Bitcoin satu hari sebelumnya.

(ii) Harga Penutupan Ethereum (ETH)

$$\nabla Z_{2,t} = 0,018\nabla Z_{1,t-1} - 0,197\nabla Z_{2,t-1} + 0,756\nabla Z_{3,t-2} + a_{2,t}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$\begin{aligned} Z_{2,t} &= Z_{2,t-1} + 0,018 (Z_{1,t-1} - Z_{1,t-2}) - 0,197 (Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) \\ &+ 0,756 (Z_{3,t-2} - Z_{3,t-3}) + a_{2,t} \end{aligned}$$

Persamaan di atas, menunjukkan bahwa harga penutupan Ethereum dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya, perubahan harga Bitcoin, dan harga Binance Coin. Apabila selisih harga Bitcoin antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  meningkat Rp 1, maka akan meningkatkan harga Ethereum sebesar Rp 0,018. Setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$

dan  $t - 2$ , akan mempengaruhi dirinya sendiri dengan penurunan sebesar Rp 0,197. Selain itu, setiap kenaikan Rp 1 harga selisih harga Binance Coin antara dua hingga tiga hari sebelumnya, akan meningkatkan harga Ethereum sebesar Rp 0,756. Harga Ethereum hari ini sama dengan harga Ethereum satu hari sebelumnya.

(iii) Harga Penutupan Binance Coin (BNB)

$$\nabla Z_{3,t} = -0,122\nabla Z_{3,t-1} + 0,018\nabla Z_{2,t-2} + a_{3,t}$$

Sehingga dapat dijabarkan dalam bentuk data asli menjadi

$$Z_{3,t} = Z_{3,t-1} - 0,122(Z_{3,t-1} - Z_{3,t-2}) + 0,018(Z_{2,t-2} - Z_{2,t-3}) + a_{3,t}$$

Persamaan di atas, menunjukkan bahwa harga penutupan Binance Coin dipengaruhi oleh perubahan harga sebelumnya dan harga Ethereum, akan tetapi tidak dipengaruhi harga Bitcoin. Setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Binance Coin antara satu hingga dua hari sebelumnya pada  $t - 1$  dan  $t - 2$  akan menurunkan harga Binance Coin sebesar Rp 0,122. Selain itu, setiap kenaikan Rp 1 selisih harga Ethereum antara dua hingga tiga hari sebelumnya pada  $t - 2$  dan  $t - 3$ , akan meningkatkan harga Binance Coin sebesar Rp 0,018. Harga Binance Coin hari ini sama dengan harga Binance Coin satu hari sebelumnya.

#### 4.6. Uji Asumsi Residual

Setelah diperoleh model VARIMA (1,1,0), VARIMA (1,1,1), dan VARIMA (2,1,0), langkah selanjutnya dilakukan pengujian *white noise* dan distribusi multivariat normal pada residual tiap model untuk mendapatkan model terbaik.

#### 4.6.1. Uji *White Noise* VARIMA (1,1,0)

Uji portmanteau atau uji *white noise* bertujuan untuk mengetahui residual bersifat independen (tidak saling berhubungan). Pengujian asumsi *white noise* dapat dilihat hingga lag 12 berdasarkan nilai portmanteau atau *p-value*  $> 0,05$ . Hipotesis yang digunakan untuk uji *white noise* sebagai berikut.

$$H_0 : \text{Residual bersifat } white \text{ noise dengan } \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$$

$$H_1 : \text{Residual tidak bersifat } white \text{ noise dengan } \rho_k \neq 0$$

Kriteria keputusan  $H_0$  diterima apabila uji statistik portmanteau  $Q(k) < \chi_{\alpha,df}^2$  atau nilai *p-value* lebih besar dari  $\alpha = 0,05$  yang berarti residual bersifat *white noise* atau independen. Sebaliknya, apabila  $Q(k) > \chi_{\alpha,df}^2$  atau nilai *p-value* lebih kecil dari  $\alpha = 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak yang berarti residual tidak bersifat *white noise* atau terdapat hubungan antar residual (dependen). Berikut contoh perhitungan uji *white noise* pada lag 2 menggunakan persamaan (2.40). MACF residual lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 3.

Banyak data ( $n$ ) = 333

$$k = 2$$

$$\hat{\Gamma}_1 = \begin{bmatrix} 0,027 & 0,025 & 0,034 \\ 0,007 & -0,003 & 0,017 \\ -0,004 & 0,026 & -0,041 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_1^t = \begin{bmatrix} 0,027 & 0,007 & -0,004 \\ 0,025 & -0,003 & 0,026 \\ 0,034 & 0,017 & -0,041 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_2 = \begin{bmatrix} 0,056 & 0,115 & 0,048 \\ 0,093 & 0,134 & 0,123 \\ 0,146 & 0,163 & 0,114 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_2^t = \begin{bmatrix} 0,056 & 0,093 & 0,146 \\ 0,115 & 0,134 & 0,163 \\ 0,048 & 0,123 & 0,114 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_0^{-1} = \begin{bmatrix} 1,73 & -0,435 & -0,82 \\ -0,435 & 1,565 & -0,608 \\ -0,820 & -0,608 & 1,845 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
Q(k) &= n^2 \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{n-i} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_i^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_i \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right] \\
Q(2) &= (333)^2 \left[ \frac{1}{332} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_1^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_1 \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) + \frac{1}{331} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_2^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_2 \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right] \\
Q(2) &= (333)^2 \left[ \frac{1}{332} (0,016) + \frac{1}{331} (0,044) \right] \\
Q(2) &= (333)^2 [0,001086] = 20,257
\end{aligned}$$

Didapatkan nilai  $Q(2) = 20,257$  dimana lebih kecil dari  $(\chi_{0,05;9}^2 = 16,919)$  yang berarti  $H_0$  diterima dengan keputusan memenuhi asumsi uji *white noise* pada lag 2. Dengan cara yang sama, dapat dihitung hingga lag 12 dan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 4.18 sebagai berikut.

**Tabel 4.18 Hasil Uji White Noise VARIMA (1,1,0)**

Lag	$Q(k)$	$df$	$\chi_{\alpha;df}^2$	$p$ -value	Keputusan
2	20,257	9	16,919	0,017	$H_0$ ditolak
3	25,139	18	28,869	0,123	$H_0$ diterima
4	33,726	27	40,113	0,177	$H_0$ diterima
5	45,850	36	50,998	0,129	$H_0$ diterima
6	65,764	45	61,656	0,024	$H_0$ ditolak
7	76,637	54	72,153	0,024	$H_0$ ditolak
8	86,654	63	82,529	0,027	$H_0$ ditolak
9	103,466	72	92,808	0,009	$H_0$ ditolak
10	106,164	81	103,010	0,033	$H_0$ ditolak
11	114,908	90	113,145	0,041	$H_0$ ditolak
12	120,436	99	123,225	0,074	$H_0$ diterima

Berdasarkan tabel 4.18, menunjukkan beberapa lag tidak memenuhi uji *white noise* seperti pada lag 2 dengan nilai  $Q(k) = 20,257 > (\chi_{0,05;9}^2 = 16,919)$  atau memiliki nilai  $p$ -value kurang dari 0,05 dan hanya beberapa lag yang

memenuhi asumsi uji *white noise*. Maka dapat disimpulkan bahwa residual data ketiga *cryptocurrency* model VARIMA (1,1,0) tidak memenuhi asumsi uji *white noise*.

#### 4.6.2. Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (1,1,0)

Pengujian distribusi normal untuk mengetahui residual data *cryptocurrency* berdistribusi multivariat normal atau tidak. Dapat dikatakan residual berdistribusi multivariat normal apabila minimal 50% nilai  $d_i^2 \leq \chi_{p;0,5}^2$ . Hipotesis yang digunakan untuk uji distribusi multivariat normal pada data *cryptocurrency* sebagai berikut.

$$H_0 : |F(x) = F_0(x)| \text{ (residual berdistribusi multivariat normal)}$$

$$H_1 : |F(x) \neq F_0(x)| \text{ (residual tidak berdistribusi multivariat normal)}$$

Berikut contoh perhitungan data residual berdistribusi multivariat normal untuk pasangan observasi pertama menggunakan persamaan (2.42).

**Tabel 4.19 Residual VARIMA (1,1,0)**

Observasi	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
1	0	0	0
2	0	0	0
3	10630030,519	2044059,429	47614,961
⋮	⋮	⋮	⋮
333	14563699,614	1795174,376	214278,850
334	-5920472,281	3307389,653	39841,178

Diketahui pasangan data pertama,

$$Z_{11} = 0, Z_{12} = 0, \text{ dan } Z_{13} = 0$$

$$\bar{Z}_j = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 \\ \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1482396,008 \\ 179394,163 \\ 29388,825 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 727884751488948 & 26967624863188,200 & 6004023867586,650 \\ 26967624863188,2 & 3768529798518,640 & 391641712337,888 \\ 6004023867586,650 & 391641712337,888 & 131540893634,936 \end{bmatrix}$$

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 2,369 \times 10^{-17} & -8,276 \times 10^{-17} & -8,349 \times 10^{-15} \\ -8,276 \times 10^{-17} & 4,131 \times 10^{-15} & -8,523 \times 10^{-15} \\ -8,349 \times 10^{-15} & -8,523 \times 10^{-15} & 1,395 \times 10^{-13} \end{bmatrix}$$

Sehingga,

$$d_i^2 = (Z_{ij} - \bar{Z}_j)^t S^{-1} (Z_{ij} - \bar{Z}_j)$$

$$d_1^2 = \begin{bmatrix} 0 - 1482396,008 & 0 - 179394,163 & 0 - 29388,825 \\ 2,369 \times 10^{-17} & -8,276 \times 10^{-17} & -8,349 \times 10^{-15} \\ -8,276 \times 10^{-17} & 4,131 \times 10^{-15} & -8,523 \times 10^{-15} \\ -8,349 \times 10^{-15} & -8,523 \times 10^{-15} & 1,395 \times 10^{-13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 - 1482396,008 \\ 0 - 179394,163 \\ 0 - 29388,825 \end{bmatrix}$$

$$d_1^2 = \begin{bmatrix} 4,265 \times 10^{-12} & -3,68 \times 10^{-11} & -1,333 \times 10^{-9} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1482396,008 \\ -179394,163 \\ -29388,825 \end{bmatrix}$$

$$d_1^2 = 0,009$$

Karena  $0,009 < (\chi_{3;0,5}^2 = 2,37)$ , maka disimpulkan bahwa observasi pertama berada di dalam kontur (elips). Dilakukan dengan cara yang sama sampai observasi ke-334 dan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

**Tabel 4.20 Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) VARIMA (1,1,0)**

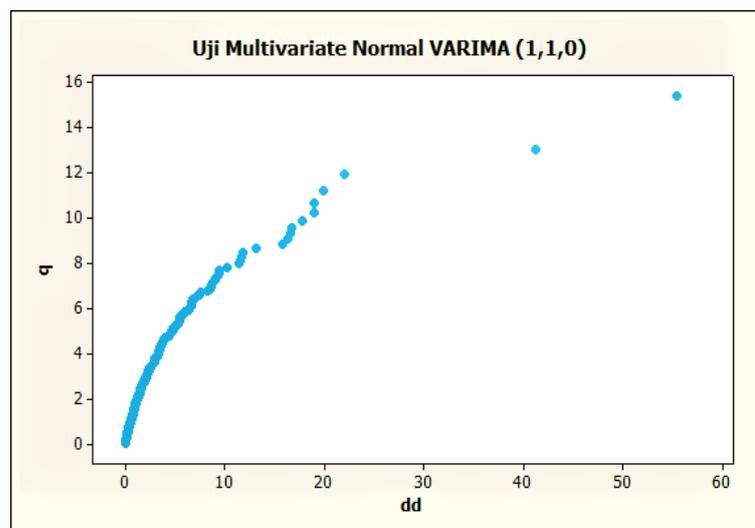
Observasi ( $i$ )	$d_i^2$	Posisi
1	0,009	dalam
2	0,009	dalam
3	1,268	dalam
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
333	0,696	dalam
334	4,501	luar

Setelah diperoleh nilai  $d_i^2$ , maka mengurutkan nilai  $d_i^2$  dari yang terkecil dan menentukan nilai  $q_i = \chi_3^2 \left( \frac{334-i+0,5}{334} \right)$  pada tiap observasi, sehingga diperoleh

**Tabel 4.21 Pasangan Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) dan  $q_i$  VARIMA (1,1,0)**

Observasi ( $i$ )	$d_i^2$	$\chi_3^2 \left( \frac{334-i+0,5}{334} \right)$
1	0,009	0,032
2	0,009	0,067
3	0,012	0,094
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
333	41,159	13,068
334	55,465	15,411

Dan diperoleh QQ plot untuk setiap observasi pada model VARIMA (1,1,0) menggunakan *macro* Minitab.



Gambar 4.14 QQ Plot Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (1,1,0)

Berdasarkan hasil uji multivariat normal model VARIMA (1,1,0) diketahui bahwa pasangan data yang terletak dalam kontur diperoleh  $d_i^2 = 0,658$  atau 65,8% dimana nilai jarak  $d_i^2$  yang lebih kecil dari  $(\chi_{3;0,5}^2 = 2,37)$  lebih dari 50%, hal ini menunjukkan bahwa residual model VARIMA (1,1,0) memenuhi uji distribusi multivariat normal.

#### 4.6.3. Uji *White Noise* VARIMA (1,1,1)

Sama halnya dengan uji *white noise* pada model VARIMA (1,1,0) dengan melihat hingga lag 12 berdasarkan nilai portmanteau atau nilai *p-value*. Hipotesis yang digunakan untuk uji *white noise* sebagai berikut.

$$H_0 : \text{Residual bersifat white noise dengan } \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$$

$$H_1 : \text{Residual tidak bersifat white noise dengan } \rho_k \neq 0$$

Berikut contoh perhitungan uji *white noise* pada lag 3 menggunakan persamaan (2.40). MACF residual lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 3.

Banyak data ( $n$ ) = 333

$k = 3$

$$\hat{\Gamma}_1 = \begin{bmatrix} 0,064 & 0,018 & 0,008 \\ 0,047 & -0,001 & 0,016 \\ -0,043 & 0,012 & -0,011 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_1^t = \begin{bmatrix} 0,064 & 0,047 & 0,043 \\ 0,018 & -0,001 & 0,012 \\ 0,008 & 0,016 & -0,011 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_2 = \begin{bmatrix} 0,024 & 0,046 & -0,034 \\ 0,010 & -0,018 & 0,03 \\ 0,084 & 0,056 & 0,017 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_2^t = \begin{bmatrix} 0,024 & 0,010 & 0,084 \\ 0,046 & -0,018 & 0,056 \\ 0,005 & 0,003 & 0,017 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_3 = \begin{bmatrix} 0,028 & 0,004 & 0,074 \\ 0,045 & 0,087 & 0,083 \\ 0,059 & 0,055 & 0,123 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_3^t = \begin{bmatrix} 0,028 & 0,045 & 0,059 \\ 0,004 & 0,087 & 0,055 \\ 0,074 & 0,083 & 0,123 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_0^{-1} = \begin{bmatrix} 1,663 & -0,394 & -0,783 \\ -0,394 & 1,509 & -0,581 \\ 0,783 & -0,581 & 1,784 \end{bmatrix}$$

$$Q(k) = n^2 \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{n-i} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_i^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_i \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right]$$

$$Q(3) = (333)^2 \left[ \frac{1}{332} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_1^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_1 \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right] + (332)^2 \left[ \frac{1}{331} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_2^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_2 \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right]$$

$$+ (332)^2 \left[ \frac{1}{330} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_3^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_3 \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right]$$

$$Q(3) = (333)^2 \left[ \frac{1}{332}(0,008) + \frac{1}{331}(0,018) + \frac{1}{330}(0,025) \right]$$

$$Q(3) = (333)^2 [0,00015437] = 17,118$$

Didapatkan nilai  $Q(3) = 17,118$  dimana lebih kecil dari  $(\chi_{0,05;9}^2 = 16,919)$ .

Berdasarkan hipotesis yang digunakan, maka  $H_0$  ditolak dengan keputusan tidak memenuhi asumsi uji *white noise*. Dengan cara yang sama, dapat dihitung hingga lag 12 dan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 4.22 sebagai berikut.

Tabel 4.22 Hasil Uji *White Noise* VARIMA (1,1,1)

Lag	$Q(k)$	$df$	$\chi^2_{\alpha;df}$	$p$ -value	Keputusan
3	17,118	9	16,919	0,048	$H_0$ ditolak
4	22,712	18	28,869	0,141	$H_0$ diterima
5	30,480	27	40,113	0,264	$H_0$ diterima
6	44,584	36	50,998	0,169	$H_0$ diterima
7	51,277	45	61,656	0,225	$H_0$ diterima
8	60,466	54	72,153	0,251	$H_0$ diterima
9	75,616	63	82,529	0,144	$H_0$ diterima
10	79,011	72	92,808	0,281	$H_0$ diterima
11	84,481	81	103,010	0,412	$H_0$ diterima
12	90,166	90	113,145	0,532	$H_0$ diterima

Berdasarkan tabel 4.22, menunjukkan setiap lag hasil uji *white noise*  $Q(k) < (\chi^2_{\alpha;df})$  atau memiliki nilai  $p$ -value lebih besar dari 0,05, meskipun hanya satu lag  $Q(3) = 17,118 > (\chi^2_{0,05;9} = 16,919)$  atau nilai  $p$ -value yang lebih kecil dari 0,05. Akan tetapi secara keseluruhan telah memenuhi sehingga dapat disimpulkan bahwa residual data ketiga *cryptocurrency* model VARIMA (1,1,1) memenuhi asumsi uji *white noise*.

#### 4.6.4. Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (1,1,1)

Pengujian distribusi normal sama halnya seperti model VARIMA (1,1,0). Uji distribusi multivariat normal dilakukan dengan menggunakan plot *chi-square*  $(\chi^2_{p;0,5})$ . Hipotesis yang digunakan untuk uji distribusi multivariat normal pada data *cryptocurrency* sebagai berikut.

$H_0$  :  $|F(x) = F_0(x)|$  (residual berdistribusi multivariat normal)

$H_1$  :  $|F(x) \neq F_0(x)|$  (residual tidak berdistribusi multivariat normal)

Berikut contoh perhitungan data residual berdistribusi multivariat normal untuk pasangan observasi pertama menggunakan persamaan (2.42).

**Tabel 4.23 Residual VARIMA (1,1,1)**

Observasi	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
1	0	0	0
2	0	0	0
3	-37386505,33	2305000	27109
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
333	6485110,149	801455,406	4144,966
334	76998,229	3756491,143	147798,572

Diketahui pasangan data pertama,

$$Z_{11} = 0, Z_{12} = 0, \text{ dan } Z_{13} = 0$$

$$\bar{Z}_j = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 \\ \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1321186,173 \\ 163363,487 \\ 27458,495 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 715410644348028 & 24939119753894,2 & 5663394847169,3 \\ 24939119753894,2 & 3617211547701,27 & 362735905678,652 \\ 5663394847169,3 & 362735905678,652 & 125372953385,696 \end{bmatrix}$$

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 2,319 \times 10^{-17} & -7,72710^{-16} & -8,242 \times 10^{-16} \\ -7,727 \times 10^{-16} & 4,151 \times 10^{-15} & -8,521 \times 10^{-15} \\ -8,242 \times 10^{-16} & -8,521 \times 10^{-15} & 1,416 \times 10^{-13} \end{bmatrix}$$

Sehingga,

$$d_i^2 = (\mathbf{Z}_{ij} - \bar{Z}_j)^t S^{-1} (\mathbf{Z}_{ij} - \bar{Z}_j)$$

$$d_1^2 = \begin{bmatrix} 0 - 1321186,173 & 0 - 163363,487 & 0 - 27458,495 \\ 2,319 \times 10^{-17} & -7,72710^{-16} & -8,242 \times 10^{-16} \\ -7,727 \times 10^{-16} & 4,151 \times 10^{-15} & -8,521 \times 10^{-15} \\ -8,242 \times 10^{-16} & -8,521 \times 10^{-15} & 1,416 \times 10^{-13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 - 1321186,173 \\ 0 - 163363,487 \\ 0 - 27458,495 \end{bmatrix}$$

$$d_1^2 = \begin{bmatrix} 4,609 \times 10^{-12} & -3,421 \times 10^{-10} & -1,408 \times 10^{-9} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1321186,173 \\ -163363,487 \\ -27458,495 \end{bmatrix}$$

$$d_1^2 = 0,008$$

Karena  $0,008 < (\chi_{3;0,5}^2 = 2,37)$ , maka disimpulkan bahwa observasi pertama berada di dalam kontur (elips). Dilakukan dengan cara yang sama sampai observasi ke-334 dan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

**Tabel 4.24 Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) VARIMA (1,1,1)**

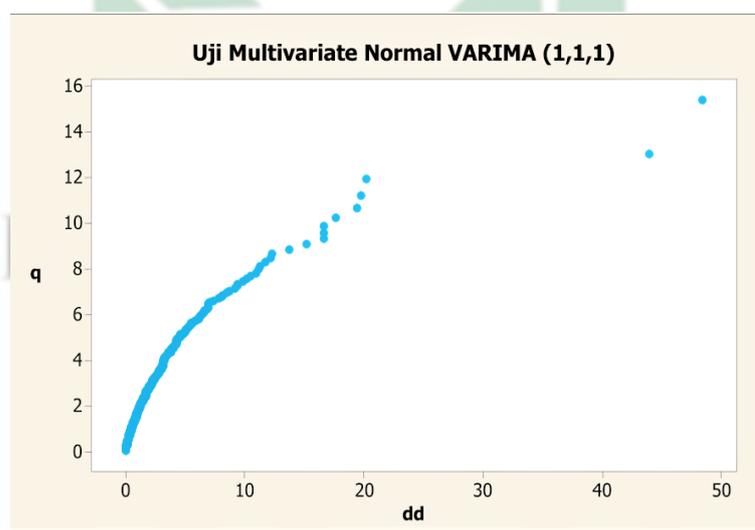
Observasi ( $i$ )	$d_i^2$	Posisi
1	0,008	dalam
2	0,008	dalam
3	6,640	dalam
⋮	⋮	⋮
333	0,232	dalam
334	4,911	luar

Setelah diperoleh nilai  $d_i^2$ , maka mengurutkan nilai  $d_i^2$  dari yang terkecil dan menentukan nilai  $q_i = \chi_3^2 \left( \frac{334-i+0,5}{334} \right)$  pada tiap observasi, sehingga diperoleh

**Tabel 4.25 Pasangan Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) dan  $q_i$  VARIMA (1,1,1)**

Observasi ( $i$ )	$d_i^2$	$\chi_3^2 \left( \frac{334-i+0,5}{334} \right)$
1	0,008	0,032
2	0,008	0,067
3	0,010	0,094
⋮	⋮	⋮
333	43,934	13,068
334	48,409	15,411

Dan diperoleh QQ plot untuk setiap observasi pada model VARIMA (1,1,1) menggunakan *macro* Minitab.



**Gambar 4.15 QQ Plot Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (1,1,1)**

Berdasarkan hasil uji multivariat normal model VARIMA (1,1,1) diketahui bahwa pasangan data yang terletak dalam kontur diperoleh  $d_i^2 = 0,632$  atau 63,2% dimana nilai jarak  $d_i^2$  yang lebih kecil dari  $(\chi_{3;0,5}^2 = 2,37)$  lebih dari 50%, hal ini

menunjukkan bahwa residual model VARIMA (1,1,0) memenuhi uji distribusi multivariat normal.

#### 4.6.5. Uji *White Noise* VARIMA (2,1,0)

Dilakukan hal yang sama seperti pada model VARIMA (1,1,0) dan VARIMA (1,1,1) dengan melihat hingga lag 12 berdasarkan nilai portmanteau atau *p-value*. Hipotesis yang digunakan untuk uji *white noise* sebagai berikut.

$$H_0 : \text{Residual bersifat } white \text{ noise dengan } \rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_k = 0$$

$$H_1 : \text{Residual tidak bersifat } white \text{ noise dengan } \rho_k \neq 0$$

Berikut contoh perhitungan uji *white noise* pada lag 3 menggunakan persamaan (2.40). MACF residual lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 4.

Banyak data ( $n$ ) = 333

$$k = 3$$

$$\hat{\Gamma}_1 = \begin{bmatrix} 0,010 & 0,022 & 0,030 \\ -0,031 & -0,038 & -0,063 \\ -0,017 & 0,018 & 0,001 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_1^t = \begin{bmatrix} 0,010 & -0,031 & -0,017 \\ 0,022 & -0,038 & 0,018 \\ 0,030 & -0,063 & 0,001 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_2 = \begin{bmatrix} -0,03 & 0,012 & -0,034 \\ 0,023 & 0,047 & 0,025 \\ 0,018 & 0,008 & 0,037 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_2^t = \begin{bmatrix} -0,03 & 0,023 & 0,018 \\ 0,012 & 0,047 & 0,008 \\ -0,0034 & 0,025 & 0,037 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_3 = \begin{bmatrix} 0,026 & -0,006 & 0,042 \\ -0,02 & -0,004 & -0,007 \\ 0,019 & 0,003 & 0,044 \end{bmatrix} \quad \hat{\Gamma}_3^t = \begin{bmatrix} 0,026 & -0,020 & 0,042 \\ -0,006 & -0,004 & 0,003 \\ 0,042 & -0,007 & 0,044 \end{bmatrix}$$

$$\hat{\Gamma}_0^{-1} = \begin{bmatrix} 1,697 & -0,4 & -0,815 \\ -0,4 & 1,528 & -0,596 \\ -0,815 & -0,596 & 1,825 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
Q(k) &= n^2 \left[ \sum_{i=1}^k \frac{1}{n-i} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_i^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_i \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right] \\
Q(3) &= (333)^2 \left[ \frac{1}{332} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_1^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_1 \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right] + (333)^2 \left[ \frac{1}{331} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_2^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_2 \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right] \\
&\quad + (333)^2 \left[ \frac{1}{330} \text{trace} \left( \hat{\Gamma}_3^t \hat{\Gamma}_0^{-1} \hat{\Gamma}_3 \hat{\Gamma}_0^{-1} \right) \right] \\
Q(3) &= (333)^2 \left[ \frac{1}{332} (0, 012) + \frac{1}{331} (0, 014) + \frac{1}{330} (0, 007) \right] \\
Q(3) &= (333)^2 [0, 00009748] = 10, 809
\end{aligned}$$

Didapatkan nilai  $Q(3) = 10, 809$  dimana lebih kecil dari  $(\chi_{0,05;9}^2 = 16, 919)$  yang berarti  $H_0$  diterima dengan keputusan memenuhi asumsi uji *white noise* pada lag 3. Dengan cara yang sama, dapat dihitung hingga lag 12 dan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 4.26 sebagai berikut.

**Tabel 4.26 Hasil Uji White Noise VARIMA (2,1,0)**

Lag	$Q(k)$	$df$	$\chi_{\alpha;df}^2$	$p$ -value	Keputusan
3	10,809	9	16,919	0,282	$H_0$ diterima
4	18	18	28,869	0,446	$H_0$ diterima
5	29,489	27	40,113	0,330	$H_0$ diterima
6	46,806	36	50,998	0,106	$H_0$ diterima
7	54,293	45	61,656	0,156	$H_0$ diterima
8	65,826	54	72,153	0,129	$H_0$ diterima
9	83,327	63	82,529	0,043	$H_0$ ditolak
10	87,419	72	92,808	0,103	$H_0$ diterima
11	95,055	81	103,010	0,135	$H_0$ diterima
12	101,959	90	113,145	0,183	$H_0$ diterima

Berdasarkan tabel 4.26, menunjukkan setiap lag hasil uji *white noise*  $Q(k) < (\chi_{\alpha;df}^2)$  memiliki nilai  $p$ -value lebih besar dari 0,05, meskipun hanya satu lag  $Q(9) = 83, 327 > (\chi_{0,05;63}^2 = 82, 529)$  atau nilai  $p$ -value yang lebih kecil dari

0,05. Akan tetapi secara keseluruhan telah memenuhi, sehingga dapat disimpulkan bahwa residual data ketiga *cryptocurrency* model VARIMA (2,1,0) memenuhi asumsi uji *white noise*.

#### 4.6.6. Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (2,1,0)

Pengujian distribusi normal sama halnya seperti model VARIMA (1,1,0) dan VARIMA (1,1,1) dengan menggunakan plot *chi-square* ( $\chi^2_{p;0,5}$ ). Hipotesis yang digunakan untuk uji distribusi multivariat normal pada data *cryptocurrency* sebagai berikut.

$H_0$  :  $|F(x) = F_0(x)|$  (residual berdistribusi multivariat normal)

$H_1$  :  $|F(x) \neq F_0(x)|$  (residual tidak berdistribusi multivariat normal)

Berikut contoh perhitungan data residual berdistribusi multivariat normal untuk pasangan observasi pertama menggunakan persamaan (2.42).

**Tabel 4.27 Residual VARIMA (2,1,0)**

Observasi	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮
333	11726711,769	1595734,346	159048,107
334	-8377324,22	3118817,358	-32278,554

Diketahui pasangan data pertama,

$$Z_{11} = 0, Z_{12} = 0, \text{ dan } Z_{13} = 0$$

$$\bar{Z}_j = \begin{bmatrix} \bar{Z}_1 \\ \bar{Z}_2 \\ \bar{Z}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1145775,844 \\ 149714,395 \\ 25327,646 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 713826557021275 & 25813796730577,7 & 5874170190053,35 \\ 25813796730577,7 & 3669991990704,31 & 382623899624,142 \\ 5874170190053,35 & 382623899624,142 & 129836280290,981 \end{bmatrix}$$

$$S^{-1} = \begin{bmatrix} 2,383 \times 10^{-17} & -7,96910^{-17} & -8,433 \times 10^{-16} \\ -7,969 \times 10^{-17} & 4,199 \times 10^{-15} & -8,770 \times 10^{-15} \\ -8,433 \times 10^{-16} & -8,770 \times 10^{-15} & 1,410 \times 10^{-13} \end{bmatrix}$$

Sehingga,

$$d_i^2 = (Z_{ij} - \bar{Z}_j)^t S^{-1} (Z_{ij} - \bar{Z}_j)$$

$$d_1^2 = \begin{bmatrix} 0 - 1145775,84 & 0 - 149714,395 & 0 - 25327,645 \\ 2,383 \times 10^{-17} & -7,96910^{-17} & -8,433 \times 10^{-16} \\ -7,969 \times 10^{-17} & 4,199 \times 10^{-15} & -8,770 \times 10^{-15} \\ -8,433 \times 10^{-16} & -8,770 \times 10^{-15} & 1,410 \times 10^{-13} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 - 1145775,84 \\ 0 - 149714,395 \\ 0 - 25327,645 \end{bmatrix}$$

$$d_1^2 = \begin{bmatrix} 5,986 \times 10^{-12} & -3.153 \times 10^{-10} & -1.292 \times 10^{-9} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1145775,84 \\ -149714,395 \\ -25327,645 \end{bmatrix}$$

$$d_1^2 = 0,007$$

Karena  $0,007 < (\chi_{3;0,5}^2 = 2,37)$ , maka disimpulkan bahwa observasi pertama berada di dalam kontur (elips). Dilakukan dengan cara yang sama sampai observasi ke-334 dan dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

**Tabel 4.28 Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) VARIMA (2,1,0)**

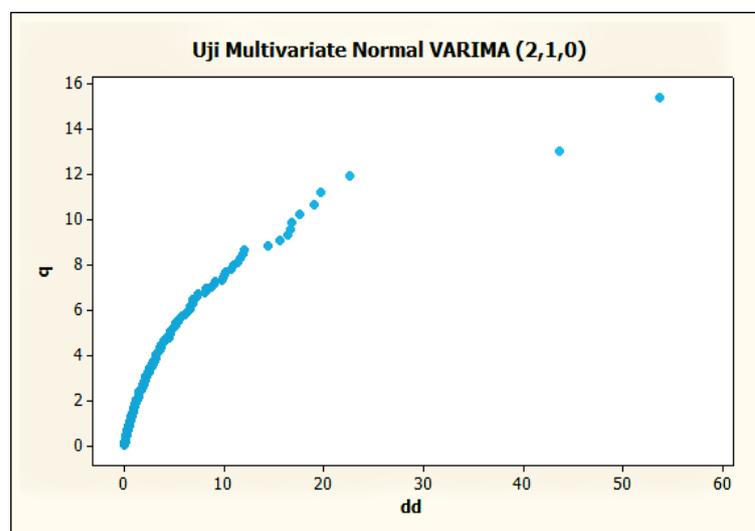
Observasi ( $i$ )	$d_i^2$	Posisi
1	0,007	dalam
2	0,007	dalam
3	0,007	dalam
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
333	0,574	dalam
334	4,610	luar

Setelah diperoleh nilai  $d_i^2$ , maka mengurutkan nilai  $d_i^2$  dari yang terkecil dan menentukan nilai  $q_i = \chi_3^2 \left( \frac{334-i+0,5}{334} \right)$  pada tiap observasi, sehingga diperoleh

**Tabel 4.29 Pasangan Jarak Mahalanobis ( $d_i^2$ ) dan  $q_i$  VARIMA (2,1,0)**

Observasi ( $i$ )	$d_i^2$	$\chi_3^2 \left( \frac{334-i+0,5}{334} \right)$
1	0,007	0,032
2	0,007	0,067
3	0,007	0,094
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
333	22,610	13,068
334	53,629	15,411

Dan diperoleh QQ plot untuk setiap observasi pada model VARIMA (2,1,0) menggunakan *macro* Minitab.



Gambar 4.16 QQ Plot Uji Distribusi Multivariat Normal VARIMA (2,1,0)

Berdasarkan hasil uji multivariat normal model VARIMA (2,1,0) diketahui bahwa pasangan data yang terletak dalam kontur diperoleh  $d_i^2 = 0,64$  atau 64% dimana nilai jarak  $d_i^2$  yang lebih kecil dari  $(\chi_{3;0,5}^2 = 2,37)$  lebih dari 50%, hal ini menunjukkan bahwa residual model VARIMA (2,1,0) memenuhi uji distribusi multivariat normal.

#### 4.7. Pemilihan Model Terbaik

Setelah dilakukan uji asumsi residual, langkah selanjutnya ditentukan model yang terbaik berdasarkan hasil uji asumsi residual dan tingkat akurasi pada tiap model. Berikut hasil uji asumsi residual dan tingkat akurasi tiap model.

Tabel 4.30 Hasil Uji Asumsi Residual dan Tingkat Akurasi Model

Model	Uji <i>White Noise</i>	Uji Distribusi Multivariat Normal	Nilai MAPE			Rata - Rata MAPE
			BTC	ETH	BNB	
VARIMA (1,1,0)	Tidak bersifat <i>White Noise</i>	Multivariat Normal	2,535%	2,739%	2,659%	2,644%
VARIMA (1,1,1)	Bersifat <i>White Noise</i>	Multivariat Normal	2,965%	2,747%	3,428%	3,047%
VARIMA (2,1,0)	Bersifat <i>White Noise</i>	Multivariat Normal	2,644%	2,837%	2,684%	2,722%

Berdasarkan tabel 4.30 hasil uji asumsi residual dan tingkat akurasi model, menunjukkan bahwa model VARIMA (1,1,0) memenuhi distribusi multivariat normal akan tetapi tidak memenuhi asumsi uji *white noise*, maka model tersebut tidak layak digunakan untuk peramalan *cryptocurrency*. Sedangkan model VARIMA (1,1,1) dan VARIMA (2,1,0) memenuhi uji *white noise* dan distribusi multivariat normal. Berdasarkan tingkat akurasi yang diperoleh, model VARIMA (2,1,0) memiliki tingkat akurasi rata - rata MAPE yang lebih kecil dari VARIMA (1,1,1), sehingga dapat disimpulkan bahwa model terbaik yang digunakan sebagai peramalan harga *cryptocurrency* adalah VARIMA (2,1,0).

#### 4.8. Peramalan Harga *Cryptocurrency*

Langkah selanjutnya melakukan peramalan dengan menggunakan model VARIMA (2,1,0). Peramalan dilakukan selama 1 bulan ke depan yaitu bulan Desember 2021. Peramalan menggunakan data sebelumnya pada bulan November 2021 pada masing-masing *cryptocurrency*. Contoh peramalan harga penutupan *cryptocurrency* pada tanggal 01 Desember 2021 (data ke-335) sebagai berikut.

## (i) Harga Penutupan Bitcoin (BTC)

$$Z_{1,t} = Z_{1,t-1} - 1,976 (Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) + 9,158 (Z_{3,t-2} - Z_{3,t-3})$$

$$Z_{1,335} = Z_{1,334} - 1,976 (Z_{2,334} - Z_{2,333})$$

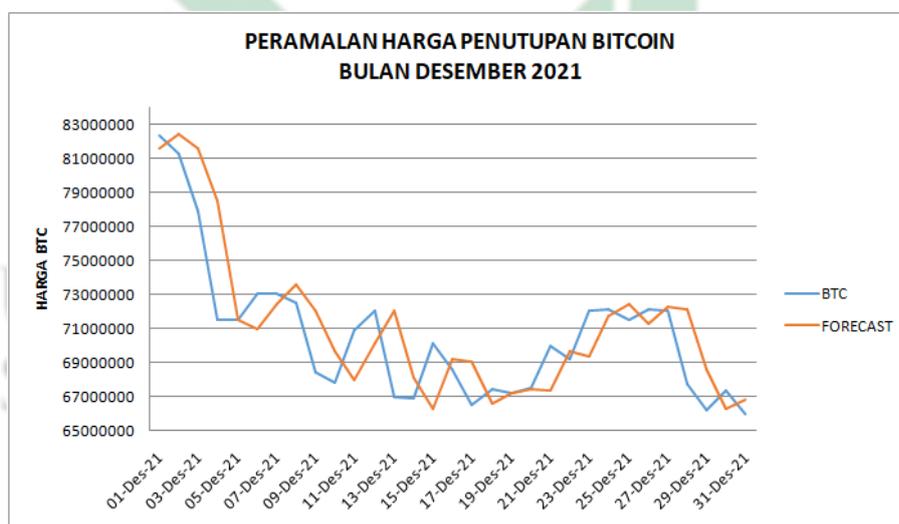
$$+ 9,158 (Z_{3,333} - Z_{3,332})$$

$$Z_{1,335} = 820182016 - 1,976 (66528000 - 63468000)$$

$$+ 9,158 (8942822 - 8792452)$$

$$Z_{1,335} = 815512544,460$$

Berdasarkan hasil peramalan harga Bitcoin diperoleh dengan harga Rp 815.512.544,460 per koinnya pada tanggal 01 Desember 2021, akan tetapi pada data *outsample* tanggal 01 Desember 2021, harga Bitcoin sebesar Rp 822.987.845,88. Berikut grafik perbandingan data *outsample* dan peramalan harga penutupan Bitcoin. Hasil peramalan dapat dilihat pada lampiran 5.

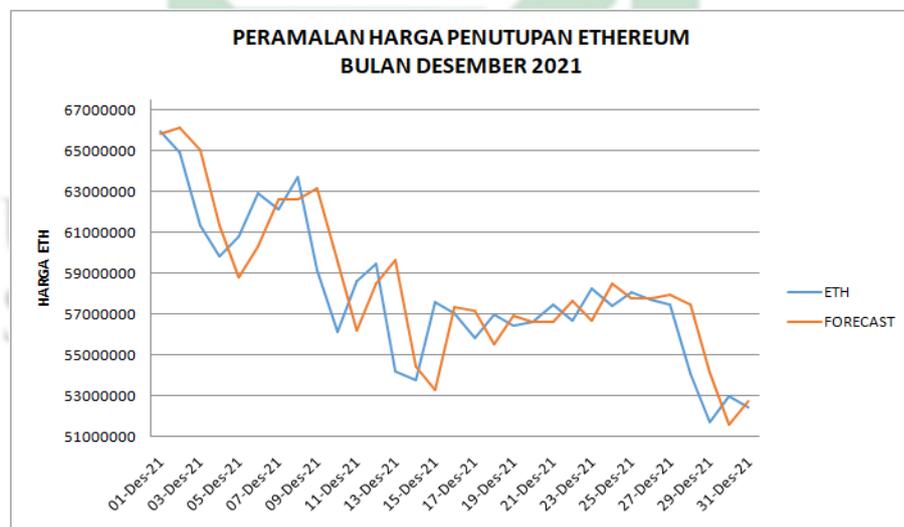


**Gambar 4.17** Plot Data *Outsample* dan Hasil Peramalan Harga Penutupan Bitcoin Bulan Desember 2021

## (ii) Harga Penutupan Ethereum (ETH)

$$\begin{aligned}
 Z_{2,t} &= Z_{2,t-1} + 0,018 (Z_{1,t-1} - Z_{1,t-2}) - 0,197 (Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) \\
 &\quad + 0,756 (Z_{3,t-2} - Z_{3,t-3}) \\
 Z_{2,335} &= Z_{2,334} + 0,018 (Z_{1,334} - Z_{1,333}) - 0,197 (Z_{2,334} - Z_{2,333}) \\
 &\quad + 0,756 (Z_{3,333} - Z_{3,332}) \\
 Z_{2,335} &= 66528000 + 0,018 (820182016 - 830505984) \\
 &\quad - 0,197 (66528000 - 63468000) + 0,756 (8942822 - 8792452) \\
 Z_{2,335} &= 65853028,296
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil peramalan harga Ethereum diperoleh dengan harga Rp 65.853.028,296 per koinnya pada tanggal 01 Desember 2021, sedangkan pada data *outsample* tanggal 01 Desember 2021, harga Ethereum sebesar Rp 65.962.752,89. Berikut grafik perbandingan data *outsample* dan peramalan harga penutupan Ethereum. Hasil peramalan dapat dilihat pada lampiran 5.



**Gambar 4.18** Plot Data *Outsample* dan Hasil Peramalan Harga Penutupan Ethereum Bulan Desember 2021

## (iii) Harga Penutupan Binance Coin (BNB)

$$Z_{3,t} = Z_{3,t-1} - 0,122 (Z_{3,t-1} - Z_{3,t-2}) + 0,018 (Z_{2,t-2} - Z_{2,t-3})$$

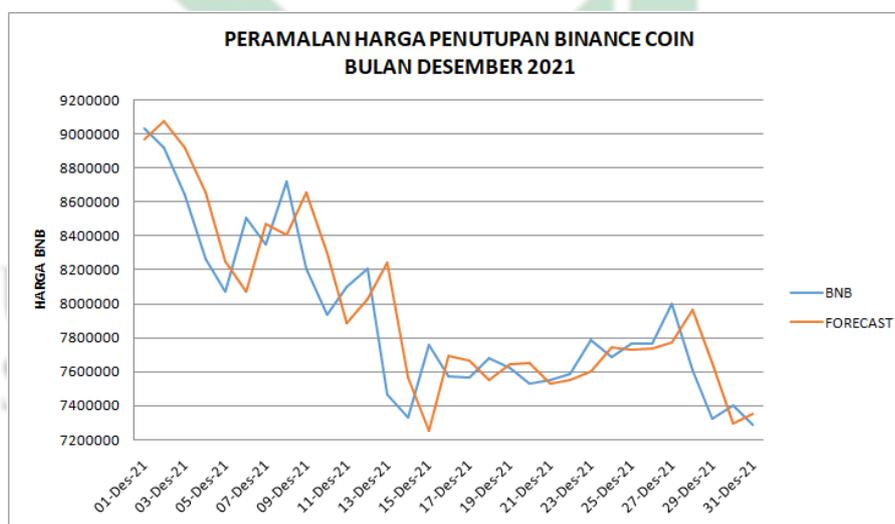
$$Z_{3,335} = Z_{3,334} - 0,122 (Z_{3,334} - Z_{3,333}) + 0,018 (Z_{2,333} - Z_{2,332})$$

$$Z_{3,335} = 8934946 - 0,122 (8934946 - 8942822)$$

$$+ 0,018 (63468000 - 61688000)$$

$$Z_{3,335} = 8967946,872$$

Berdasarkan hasil peramalan harga Binance Coin diperoleh dengan harga Rp 8.967.946,872 per koinnya pada tanggal 01 Desember 2021, sedangkan pada data *outsample* tanggal 01 Desember 2021, harga Binance Coin sebesar Rp 9.030.482,30. Berikut grafik perbandingan data *outsample* dan peramalan harga penutupan Binance Coin. Hasil peramalan dapat dilihat pada lampiran 5.



**Gambar 4.19** Plot Data *Outsample* dan Hasil Peramalan Harga Penutupan Binance Bulan Desember 2021

Berdasarkan gambar (4.17) sampai (4.19) menunjukkan bahwa pergerakan hasil peramalan *cryptocurrency* hampir sama dengan pergerakan data *outsample* pada bulan Desember 2021. Pergerakan harga dari masing-masing *cryptocurrency*

bergerak menurun secara perlahan dan harga terendah terjadi pada tanggal 31 Desember 2021.

#### 4.9. Integrasi Keislaman

Sebagai makhluk ciptaan Allah Swt., manusia hanya mampu memiliki rencana yang akan datang, tetapi hanya Allah Swt. Yang maha mengetahui dan menentukan apa yang terjadi. Di era pengetahuan saat ini, manusia pasti menggunakan pengetahuan dan teknologi untuk memprediksi atau mengestimasi kejadian di masa yang akan datang. Hal tersebut bertujuan untuk berjaga - jaga apabila terjadi hal yang di luar dugaan, seperti tidak menghabiskan harta bendanya hanya untuk bersenang – senang dan selalu menyimpan untuk keadaan yang sulit seperti yang dijelaskan dalam QS. Yusuf (12) ayat 47-48.

قَالَ تَزْرَعُونَ سَبْعَ سِنِينَ دَابًّا فَمَا حَصَدْتُمْ فَذَرُوهُ فِي سُنْبُلِهِ إِلَّا قَلِيلًا مِّمَّا تَأْكُلُونَ ﴿٤٧﴾ ثُمَّ يَأْتِي مِنْ  
بَعْدِ ذَلِكَ سَبْعُ شِدَادٍ يَأْكُلْنَ مَا قَدَّمْتُمْ لَهُنَّ إِلَّا قَلِيلًا مِّمَّا تُحْصِنُونَ ﴿٤٨﴾

Artinya: “Dia (Yusuf) berkata, “Agar kamu bercocok tanam tujuh tahun (berturut-turut) sebagaimana biasa; kemudian apa yang kamu tuai hendaklah kamu biarkan di tangkainya kecuali sedikit untuk kamu makan. Kemudian setelah itu akan datang tujuh (tahun) yang sangat sulit, yang menghabiskan apa yang kamu simpan untuk menghadapinya (tahun sulit), kecuali sedikit dari apa (bibit gandum) yang kamu simpan” (QS. Yusuf: 47-48). Dalam ayat tersebut menjelaskan bahwa estimasi di masa mendatang sangat dibutuhkan dan tidak menghabiskan apa yang dimiliki. Dengan menyimpan persediaan, seperti harta benda, makanan, dan lain sebagainya dengan tujuan untuk menghadapi masa yang sulit karena manusia tidak

mengetahui apa yang akan terjadi disuatu saat nanti.

Akan tetapi, melakukan suatu estimasi tidak selalu menghasilkan apa yang diharapkan. Terkadang dapat menguntungkan atau merugikan, seperti dalam melakukan investasi. Seperti yang diketahui, bahwa pergerakan pasar modal tidak dapat diprediksi seratus persen akan menghasilkan keuntungan, sehingga harus sabar dan apabila menghadapi kerugian. Karena keuntungan adalah imbalan atas kerugian seperti dalam Hadist Riwayat Abu Daud no 3510, an-Nasai no. 4490, Tirmidzi no. 1285, Ibnu Majah no. 2234, dan Ahmad 6:237.

عَنْ عَائِشَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهَا أَنَّ رَجُلًا ابْتِاعَ غُلَامًا فَأَقَامَ عِنْدَهُ مَا شَاءَ اللَّهُ أَنْ يُقِيمَ ثُمَّ وَجَدَ بِهِ عَيْبًا  
فَخَاصَمَهُ إِلَى النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ فَرَدَّهُ عَلَيْهِ فَقَالَ الرَّجُلُ يَا رَسُولَ اللَّهِ قَدْ اسْتَعْلَلْتُ غُلَامِي  
فَقَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ الْخُرَاجُ بِالضَّمَانِ  
قَالَ أَبُو دَاوُدَ هَذَا إِسْنَادٌ لَيْسَ بِذَلِكَ

Artinya: “*Dari sahabat Aisyah r.a bahwa seorang laki-laki membeli budak lelaki, kemudian budak tersebut tinggal bersamanya selama beberapa waktu. Suatu hari pembeli mendapatkan adanya cacat pada budak tersebut. Kemudian, pembeli mengadu kepada penjual budak kepada Nabi Muhammad SAW. Dan nabi pun memutuskan agar budak tersebut dikembalikan. Maka penjual berkata, ‘Ya Rasulullah! Sungguh ia telah mempekerjakan budakku? Rasulullah SAW bersabda, ‘Keuntungan adalah imbalan atas kerugian’*” (HR. Abu Daud no 3510, an-Nasai no. 4490, Tirmidzi no. 1285, Ibnu Majah no. 2234, dan Ahmad 6:237). Dalam hadist tersebut menjelaskan bahwa apabila berani melakukan perbuatan, maka harus berani juga menanggung risiko. Sama halnya dalam berniaga, apabila mendapatkan keuntungan, maka juga harus siap menerima kerugian yang didapatkan.

Maka dari itu, dengan melakukan peramalan pergerakan harga *cryptocurrency* menggunakan model VARIMA (2,1,0), seorang investor dapat meminimalisir kerugian, serta tingkat akurasi peramalan berdasarkan nilai MAPE yang diperoleh pada *cryptocurrency* Bitcoin sebesar 2,644%, Ethereum sebesar 2,837%, dan Binance Coin sebesar 2,684% yang berarti sangat akurat untuk peramalan di masa mendatang. Pada dasarnya, melakukan hal muamalah seperti berinvestasi *cryptocurrency* hukumnya diperbolehkan, apabila tidak terdapat dalil yang melarangnya. Berinvestasi *cryptocurrency*, bukan sembarangan orang dalam melakukan transaksi. Karena harus memiliki dasar keilmuan dan mempelajari analisa pergerakan harga *cryptocurrency*. Mempelajari dasar keilmuannya, pasti akan memberikan keuntungan bagi diri sendiri dan sesuai keinginan yang diharapkan sehingga dapat memberikan kemudahan serta kebahagiaan dalam urusan di dunia maupun di akhirat sebagaimana dalam Hadist Imam Syafi'i sebagai berikut.

مَنْ أَرَادَ الدُّنْيَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَ الْآخِرَةَ فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَهُمَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ

Artinya: “Barangsiapa yang ingin bahagia di dunia, maka ia harus mengetahui ilmunya, barangsiapa yang ingin bahagia di akhirat, maka ia harus mengetahui ilmunya, dan barangsiapa yang ingin bahagia keduanya, maka ia harus mengetahui ilmunya” (HR. Imam Syafi'i). Dalam hadist tersebut menjelaskan bahwa apabila seseorang ingin kebahagiaan di dunia maupun di akhirat, maka ia harus mengetahui ilmunya. Sama halnya berinvestasi *cryptocurrency*, apabila seorang investor menginginkan keuntungan yang maksimal dan minimal kerugian, maka harus mempelajari dasar keilmuannya dan menganalisa pergerakan harga *cryptocurrency* di masa yang akan datang.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah diperoleh, maka kesimpulan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Model terbaik pada harga penutupan ketiga *cryptocurrency* adalah VARIMA (2,1,0) karena memenuhi uji *white noise* pada semua lag dan distribusi multivariat normal dengan nilai  $d_i^2 = 0,64$  atau 64% dimana lebih besar dari 50%. Model persamaan yang terbentuk pada masing-masing harga *cryptocurrency* sebagai berikut.

Harga Penutupan Bitcoin (BTC):

$$Z_{1,t} = Z_{1,t-1} - 1,976 (Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) + 9,158 (Z_{3,t-2} - Z_{3,t-3}) + a_{1,t}$$

Harga Penutupan Ethereum (ETH):

$$Z_{2,t} = Z_{2,t-1} + 0,018 (Z_{1,t-1} - Z_{1,t-2}) - 0,197 (Z_{2,t-1} - Z_{2,t-2}) + 0,756 (Z_{3,t-2} - Z_{3,t-3}) + a_{2,t}$$

Harga Penutupan Binance Coin (BNB):

$$Z_{3,t} = Z_{3,t-1} - 0,122 (Z_{3,t-1} - Z_{3,t-2}) + 0,018 (Z_{2,t-2} - Z_{2,t-3}) + a_{3,t}$$

2. Berdasarkan model VARIMA terbaik yaitu VARIMA (2,1,0), menunjukkan bahwa adanya hubungan antara variabel Bitcoin, Ethereum, dan Binance Coin. Persamaan harga penutupan Bitcoin menunjukkan bahwa, Bitcoin dipengaruhi oleh dirinya sendiri pada satu hari sebelumnya, dan dipengaruhi oleh harga Ethereum antara satu hingga dua hari sebelumnya, serta

dipengaruhi oleh harga Binance Coin antara dua hingga tiga hari sebelumnya. Sedangkan, pada persamaan harga penutupan Ethereum menunjukkan bahwa, harga Ethereum dipengaruhi oleh dirinya sendiri antara satu hingga dua hari sebelumnya, dan dipengaruhi oleh harga Bitcoin antara satu hingga dua hari sebelumnya, serta dipengaruhi oleh harga Binance Coin antara dua hingga tiga hari sebelumnya. Untuk harga penutupan Binance Coin dipengaruhi oleh dirinya sendiri antara satu hingga dua hari sebelumnya dan dipengaruhi oleh harga Ethereum antara dua hingga tiga hari sebelumnya, akan tetapi tidak dipengaruhi oleh harga Bitcoin.

3. Tingkat akurasi model VARIMA (2,1,0) yang diperoleh berdasarkan nilai kesalahan MAPE pada masing-masing variabel antara lain harga penutupan Bitcoin sebesar 2,644%, Ethereum sebesar 2,837%, dan Binance Coin sebesar 2,684% yang mana nilai akurasi menunjukkan sangat akurat dalam peramalan harga *cryptocurrency*.

## 5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan dan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran untuk penelitian selanjutnya antara lain.

1. Mengembangkan lagi penggunaan metode VARIMA seperti penggunaan data seasonal dan perbandingan metode *time series* lainnya.
2. Melibatkan data *cryptocurrency* dengan mata uang selain *cryptocurrency*, seperti Kurs Dollar.
3. Apabila menggunakan metode VARIMA, sebaiknya minimal 3 variabel yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Affandi, F. (2020). *Fungsi Uang Dalam Persepektif Ekonomi Islam*. Ekonomi Syariah, 1(1), 80-91.
- Anwar, N.S. (2019). *Analisis Transaksi Digital Cryptocurrency Sebagai Investasi Global Dalam Perspektif Hukum Islam (Studi Kasus Dinar Dirham Di Makassar)*. Skripsi. Program Studi Hukum Ekonomi Syariah Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Apriliani, M. (2022). *Peramalan Indeks Harga Saham Global Menggunakan VARIMA dan VARIMAX Dengan Variabel Dummy Sebagai Variabel Eksogen*. Skripsi. Program Studi Statistika Universitas Hasanuddin.
- Aulia, N. (2020). *Prediksi Harga Ethereum Berdasarkan Informasi Blockchain Menggunakan Metode Long Short Term Memory*. Skripsi. Program Studi Statistika Syariah Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ayudhiah, M., Bahri, S., and Fitriyani, N. (2020). *Peramalan Indeks Harga Konsumen Kota Mataram Menggunakan Vector Autoregressive Integrated Moving Average (VARIMA)*. Eigen Mathematics Journal, 3(1): 1-8.
- Azizah, A. S. N dan Irfan. (2020). *Fenomena Cryptocurrency Dalam Perspektif Hukum Islam*. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Perbandingan Mazhab, 1(1): 62-80.
- Bhattacharjee, M., Bose, A., and Srivastava, R. (2021). *A White Noise Test Under Weak Conditions*. Journal of Statistical Planning and Inference, 211: 362-390.

- Bunjaku, F., Trajkovska, O. G., and Kacarski, E. M. (2017). *Cryptocurrencies – Advantages and Disadvantages*. *Journal of Economics*, 2(1): 1-9.
- Cadizza, R. and Yusandy, T. (2021). *Pengaturan Cryptocurrency di Indonesia dan Negara-Negara Maju*. *Jurnal Hukum dan Keadilan Mediasi*, 8(2): 118-130.
- Ciaian, P., Rajcaniova, M., and Kancs, D. (2018). *Virtual relationships: Short- and long-run evidence from Bitcoin and altcoin markets*. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 52: 173-195.
- Darnila, E., Fikry, M., and Jaen, H. (2019). *Aplikasi Peramalan Kurs Bitcoin-Rupiah Dengan Menggunakan Metode Double Exponential Smoothing*. *TECHSI*, 11(1): 114-124.
- Delsole, T. and Tippett, M. K. (2021). *Correcting the corrected AIC*. *Statistics and Probability Letters*, 173(1): 109064.
- Disemadi, H.S. and Delvin. (2021). *Kajian Praktik Money Laundering dan Tax Avoidance Dalam Transaksi Cryptocurrency di Indonesia*. *Ilmu Pengetahuan Sosial*, 8(3): 326-340.
- Djordjevic, B., Mane, A.S., and Krmac, E. (2021). *Analysis of Dependency and Importance of Key Indicators for Railway Sustainability Monitoring: A new Integrated Approach with DEA and Pearson Correlation*. *Research in Transportation Business and Management*, 41: 1-12.
- Fachri,A., Fasa, M.I, Hilali,S., Hidayat, A.W., and Zahra, D.W. (2020). *Kontroversi Pendekatan Teori Uang: Perspektif Ekonomi Islam vs Ekonomi Konvensional*. *al Anwal*, 3, 123-138.

- Ferdous, M. S., Chowdhury, M. J. M., and Hoque, M. A. (2021). *A Survey of Consensus Algorithms in Public Blockchain Systems for Crypto-currencies*. Journal of Network and Computer Applications, 182.
- Fitrianti, H., Belwawin, S., Riyana, M., and Amin, R. (2019). *Climate modeling using vector moving average autoregressive*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 343(1).
- Genady, D. (2018). *Pengaruh Kemudahan, Kemanfaatan, Promosi Uang Elektronik Terhadap Keputusan Penggunaan Uang Elektronik Di Masyarakat*. Skripsi. Program Studi Perbankan Syariah Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Ghaiti, K. (2021). *The Volatility of Bitcoin, Bitcoin Cash, Litecoin, Dogecoin and Ethereum*. Thesis. Degree of Master of Science in Management University of Ottawa. Canada.
- Hallberg, C.-B. and Sjölander, G. (2021). *Reducing volatility for a linear and stable growth in a cryptocurrency: Encourage spending, while providing a stable store of value over time in a decentralized network*. Dissertation. Retrieved from <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-296645>.
- Hambali, R. and Huda, N. (2020). *Risiko dan Tingkat Keuntungan Investasi Cryptocurrency*. Manajemen dan Bisnis: Perform, 17(1), 72-84.
- Hyndman, R. J. (2018). *Forecasting: Principles and Practice*. Otexts: Melbourne, Australia.
- Ichsan, M. (2020). *Konsep Uang Dalam Perspektif Ekonomi Islam*. Profetika, 21(1): 27-83.

- Ikbal, M. (2019). *Perbandingan Model Vector Autoregressive Integrated Moving Average Dengan Generalized Space Time Autoregressive Integrated Moving Average Untuk Peramalan Volume Pemakaian Air Bersih*. Skripsi. Program Studi S1 Statistika Universitas Airlangga Surabaya.
- Iqbal, M. (11 November 2021). *Resmi Nih, Fatwa MUI: Kripto Seperti Bitcoin Cs Haram!*. Diakses pada 16 Oktober 2021, dari <https://www.cnbcindonesia.com/tech/20211111145640-37-290794/resmi-nih-fatwa-mui-kripto-seperti-bitcoin-cs-haram>.
- Irrera, A. (28 Februari 2017). *JPMorgan, Microsoft, Intel and Others Form New Blockchain Alliance*. Diakses pada 4 Juni 2022, dari <https://www.reuters.com/article/us-ethereum-enterprises-consortium/jpmorgan-microsoft-intel-andothers-form-new-blockchain-alliance-idUSKBN1662K7>.
- Ispriyanti, D. (2004). *Pemodelan Statistika Dengan Transformasi Box Cox*. Jurnal Matematika dan Komputer, 7(3): 8 - 17.
- Khair,U., Fahmi, H., and Hakim, S. A. (2017). *Forecasting Error Calculation with Mean Absolute Deviation and Mean Absolute Percentage Error*. Journal of Physics Conference Series: Conf. Series 937: 1-6.
- Khairunisa, P. (2019). *Etika Bisnis Dalam Islam Terhadap Transaksi Terlarang Riba dan Gharar*. Ilmu Ekonomi Islam, 3(1).
- Khohir, R. (2020). *Analisis Volatilitas Cryptocurrency Untuk Estimasi Value At Risk Menggunakan Model Garch*. Skripsi. Program Studi Matematika Universitas Sumatera Utara. Medan
- Khusna, H., Ahsan, M., and Prastyo, D. (2016). *Number of Foreign Tourist Arrival*

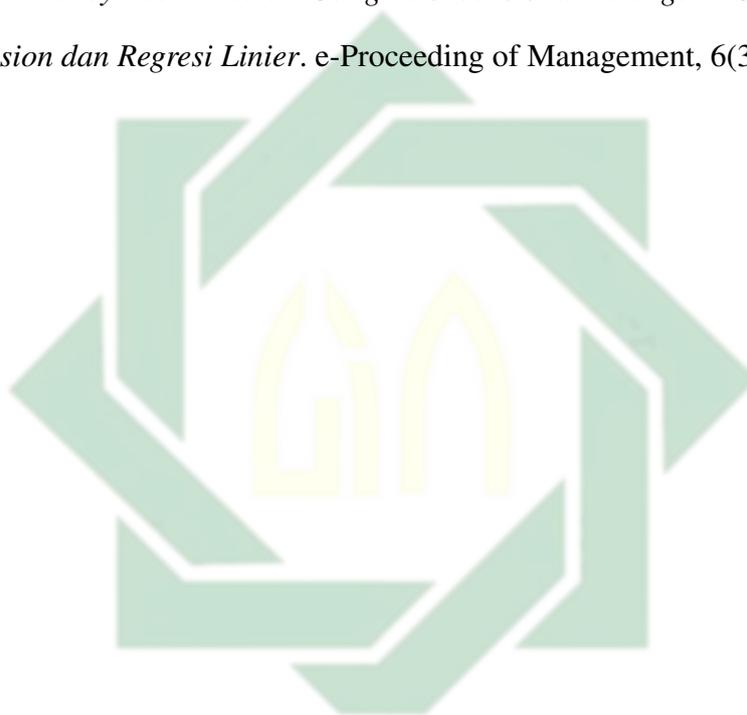
- Forecasting Using Percentile Error Bootstrap Based on VARIMA Model*. The second International Seminar on Science and Technology: 79-83.
- Kim, A., Trimborn, S., and Hardle, W. (2021). *VCRIX — A Volatility Index for Crypto-currencies*. *Journal International Review of Financial Analysis*, 78.
- Kristiawan, Y. (2020). *Peramalan Harga Saham Dengan Metode ARIMA untuk Membantu Swing Trader Dalam Mengambil Keputusan*. Skripsi. Program Studi Pendidikan Matematika Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Kurniawan, B. A. (2018). *Peramalan Harga Bitcoin Menggunakan Backpropagation Neural Network*. Skripsi. Program Studi Sistem Informasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Mallick, S. K. (2019). *Causal relationship between Crypto currencies: An Analytical Study between Bitcoin and Binance Coin*. *Journal of Contemporary Issues in Business and Government*, 26(2): 2171-2182.
- Marimuthu, S., Mani, T., Sudarsanam, T. D., George, S., and Jeyaseelan, L. (2022). *Preferring Box-Cox Transformation, Instead of Log Transformation to Convert Skewed Distribution of Outcomes to Normal in Medical Research*. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 15.
- Meimela, A., Lestari S., Mahdy, I. F., Toharudin, T., and Ruchajana, B. N. (2021). *Modeling of Covid-19 in Indonesia Using Vector Autoregressive Integrated Moving Average*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1722: 1-7.
- Musyafah, A. A. (2020). *Transaksi Bitcoin Dalam Perspektif Hukum Islam dan Hukum Positif Indonesia*. *Diponegoro Private Law Review*, 7(1): 60-72.

- Nugroho, A. and Krisnadi, I. (2018). *Regulasi Terkait Pembayaran Elektronik Di Indonesia*. Thesis. Magister Teknik Electro Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- Panggabean, G. (23 Agustus 2021). *Semua Tentang Binance Coin Lengkap Dengan Prediksi Harga*. Diakses pada 6 Juni 2022, dari <https://www.duniafintech.com/semua-tentang-binance-coin-lengkap-dengan-prediksi-harga>.
- Perdana, A. A. R. (2017). *Penerapan Metode ARIMA Untuk Peramalan Suplai Suku Cadang Kendaraan Bermotor*. Skripsi. Program Studi Matematika Universitas Sanata Dharma.
- Pradana, N.F.B, and Lestanti, S. (2020). *Aplikasi Prediksi Jangka Pendek Harga Bitcoin Menggunakan Metode ARIMA*. Jurnal Ilmiah Informatika Komputer, 25(3).
- Purnomo, H. (14 April 2021). *Pasar Saham Sepi Karena Bitcoin, Pedagang Kripto: Tak Benar!*. Diakses pada 15 Oktober 2021, dari <https://www.cnbcindonesia.com/tech/20210414120058-37-237767/pasar-saham-sepi-karena-bitcoin-pedagang-kripto-tak-benar>.
- Ramadhan, H., Aminah, and Suradi. (2016). *Perlindungan Hukum Terhadap Pengguna Uang Elektronik Dalam Melakukan Transaksi Ditinjau Dari Peraturan Bank Indonesia Nomor 16/8/PBI/2014 Tentang Uang Elektronik (E-Money)*. Diponegoro Law Journal, 5(2): 1-18.
- Rumapea, M. S., Ujung, E. M, Sibagariang, C., dan Turnip, L. Y. (2019). *Perlindungan Hukum Terhadap Penggelapan Uang Elektronik Dalam Transaksi Elektronik*. Jurnal Hukum Kaidah, 18(3): 27-39.

- Rusyana, A., Tatsara, N., Balqis, R., and Rahmi, S. (2020). *Application of Clustering and VARIMA for Rainfall Prediction*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (9thAIC-SE), 796.
- Safitri, W. R. (2016). *Analisis Korelasi Pearson Dalam Menentukan Hubungan Antara Kejadian Demam Berdarah Dengue Dengan Kepadatan Penduduk di Kota Surabaya pada Tahun 2012-2014*. Jurnal Ilmiah Keperawatan, 2(1): 21-29.
- Salwa, N., Tatsara, N., Amalia, R., and Zohra, A. F. (2018). *Peramalan Harga Bitcoin Menggunakan Metode ARIMA*. Journal of Data Analysis, p-ISSN 2623-0658 e-ISSN 2623-2286, 1(1).
- Sari, S. (2016). *Perkembangan dan Pemikiran Uang dari Masa Ke Masa*. An-Nisbah: Jurnal Ekonomi Syariah, 3(1), 39-59.
- Siswanto, E., Yasin, H., and Sudarno, S. (2019). *Pemodelan Generalized Space Time Autoregressive (GSTAR) Seasonal Pada Data Curah Hujan Empat Kabupaten Di Provinsi Jawa Tengah*. Jurnal Gaussian, 8(4): 418-427.
- Sonya, G., Khairinda, N. A., and Salam, N. (2020). *Pengujian Distribusi Multivariat Normal dan Vektor Rataan Pada Jumlah Penduduk Menurut Jenis Kelamin, Tingkat Pendidikan dan Kemiskinan di Provinsi Kalimantan Selatan dan Kalimantan Barat*. 13(11): 1813-1818.
- Taniady, V., Permatasari, S. P., and Nugraha, R. W. (2021). *Crypto Asset-Trade Resilience During The Covid-19 Pandemic In Indonesia*. Jurnal Jurisprudence, 11(1): 31-43.
- Tazkiyyaturrohmah, R. (2018). *Eksistensi Uang Elektronik Sebagai Alat Transaksi Keuangan Modern*. Muslim Heritage, 3(1), 21-39.

Ulya, A. (2019). *Peramalan Harga Saham Penutupan Menggunakan Metode Vector Autoregressive Moving Average (VARMA)*. Skripsi. Program Studi Matematika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Wibowo, R. (2019). *Peramalan Dengan Volatilitas Frekuensi Tinggi Untuk Cryptocurrency dan Mata Uang Konvensional Dengan Support Vector Regression dan Regresi Linier*. *e-Proceeding of Management*, 6(3): 5647.



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A