IMPLEMENTASI METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE WITH EXOGENOUS* (VARIMAX) DALAM MERAMALKAN HARGA EMAS DAN PERAK

Skripsi

Oleh

NAJIA CHOIRUNNISA

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE WITH EXOGENOUS (VARIMAX) METHOD IN FORECASTING GOLD AND SILVER PRICES.

By

Najia Choirunnisa

Vector Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous (VARIMAX) is a development of the Vector Autoregressive Integrated Moving Average (VARIMA) method by adding exogenous variables to the model. Based on previous research, VARIMAX is designed to model several endogenous variables by considering the influence of exogenous variables. In this study, the VARIMAX model is used to find the causal relationship between two endogenous variables; gold and silver prices; and one exogenous variable; the exchange rate of rupiah to the dollar. The parameter estimation is carried out using the Ordinary Least Square method. The results of this study indicate that the best model obtained is VARIMAX (1,1,1) with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) value of 1.15% or 0.0115, which is included in the category of excellent prediction and forecasting (good fit), which is below 10%.

Keywords : VARIMAX, Gold Price, Silver Price, Forecasting, Exogenous Variables.

ABSTRAK

IMPLEMENTASI METODE VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE WITH EXOGENOUS (VARIMAX) DALAM MERAMALKAN HARGA EMAS DAN PERAK.

Oleh

Najia Choirunnisa

Vector Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous (VARIMAX) merupakan pengembangan dari metode *Vector Autoregressive Integrated Moving Average* (VARIMA) dengan menambahkan variabel eksogen ke dalam model. Berdasarkan penelitian sebelumnya, VARIMAX dirancang untuk memodelkan beberapa variabel endogen dengan mempertimbangkan pengaruh variabel eksogen. Pada penelitian ini, model VARIMAX digunakan untuk mencari hubungan kausalitas antara dua variabel endogen yaitu harga emas dan perak dengan satu variabel eksogen yaitu nilai indeks dollar. Estimasi parameter dilakukan dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model terbaik yang diperoleh adalah VARIMAX (1,1,1) dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 1.15% atau 0.0115 yang termasuk dalam kategori prediksi dan peramalan yang sangat baik (*good fit*), yaitu di bawah 10%.

Kata Kunci : VARIMAX, Harga Emas, Harga Perak, Peramalan, Variabel Eksogen.

IMPLEMENTASI METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE WITH EXOGENOUS* (VARIMAX) DALAM MERAMALKAN HARGA EMAS DAN PERAK

Oleh

NAJIA CHOIRUNNISA

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA MATEMATIKA

Pada

Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG

2025

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE WITH EXOGENOUS* (VARIMAX) DALAM MERAMALKAN HARGA EMAS DAN PERAK**

Nama Mahasiswa : **Najia Choirunnisa**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2117031079**

Program Studi : **Matematika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Drs. Nusyirwan, M.Si.
NIP. 196610101992031028

Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si.
NIP. 199306012019032021

2. Ketua Jurusan Matematika

Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.
NIP. 197403162005011001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua	: **Drs. Nusyirwan, M.Si.**	....
Sekretaris	: **Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si.**	....
Penguji Bukan Pembimbing	: **Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si.**	....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 Mei 2025**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : **Najia Choirunnisa**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2117031079**

Jurusan : **Matematika**

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI METODE *VECTOR AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE WITH EXOGENOUS* (VARIMAX) DALAM MERAMALKAN HARGA EMAS DAN PERAK**

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini adalah hasil dari pekerjaan saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 26 Mei 2025

Yang Menyatakan

Najia Choirunnisa

NPM. 2117031079

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Najia Choirunnisa dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 21 November 2002. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara, pasangan Bapak Sophan Syaiful dan Ibu Chandra Utami Wirawati. Penulis mempunyai kakak dan adik bernama Iqbal Alfarabi dan Rafi Sophan Putra.

Penulis mengawali pendidikan taman kanak-kanak di TK Kartika II-26 Bandar Lampung pada tahun 2008 – 2009. Kemudian, menempuh pendidikan sekolah dasar di SD Ar-Raudah Bandar Lampung pada tahun 2009 – 2015. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan sekolah menengah pertama di SMPIT Fitrah Insani Bandar Lampung pada tahun 2015 – 2018. Penulis melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 9 Bandar Lampung jurusan MIPA pada tahun 2018 – 2021.

Pada tahun 2021, penulis melanjutkan pendidikan Sarjana (S1) di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Penulis aktif di beberapa organisasi yaitu menjadi Anggota Bidang Eksternal HIMATIKA FMIPA Unila Periode 2022 dan Staf Ahli Dinas Sains, Apreasiasi, dan Prestasi BEM FMIPA Unila Periode 2023.

Pada bulan Desember – Februari 2024 penulis telah melaksanakan Kerja Praktik (KP) di Badan Perencanaan Pembangunan, Penelitian dan Pengembangan Daerah (BAPPELITBANGDA) Kota Bekasi di Bidang Analisis pembangunan, Perencanaan Program, Pengendalian Evaluasi dan pelaporan. Di tahun yang sama, sebagai bentuk pengabdian kepada masyarakat, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Labuhan Ratu, Kecamatan Pasir Sakti, Kabupaten, Lampung Timur, Provinsi Lampung pada bulan Juni – Agustus 2024.

KATA INSPIRASI

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya…."
(QS. Al-Baqarah: 286)

"Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan."

(QS. Al-Insyirah: 5-6)

"….Berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu…."

(QS. Al-Qashash: 77)

"It will all pass. The good, the bad, the unknown. Everything. Whatever is happening in your life now. It will pass."

PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan Alhamdulillah, puji dan syukur kepada Allah SWT atas rahmat, berkat, dan karunia-Nya sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan tepat waktu. Oleh karena itu, dengan penuh ketulusan hati sebagai rasa cinta dan sayang, penulis persembahkan rasa terimakasih kepada :

Ibuku tercinta, Ibu Chandra Utami Wirawati

Terima kasih untuk selalu medoakan tanpa henti, memberi dukungan, pengorbanan, perhatian, cinta, dan kasih sayang yang diberikan untuk kelancaran setiap langkah yang aku pilih. Karena atas doa dan ridho Ibu, Allah juga memberikan kemudahan untuk setiap langkah yang saya lalui. Terima kasih telah menjadi orang tua yang sangat hebat untukku selama ini. Hiduplah lebih lama lagi, Ibu harus selalu tetap ada dalam setiap perjalanan dan pencapaian hidupku.

Mas Iqbal Alfarabi dan Adikku Rafi S. Putra

Terima kasih untuk selalu memberi semangat serta doa dan nasihat selama ini.

Sahabat-sahabatku

Terima kasih kalian juga selalu memberikan bantuan serta dukungan dan doa kepada penulis. Terimakasih juga selalu ada saat suka maupun duka.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Segala puji dan syukur dipanjatkan atas kehadirat Allah SWT., karena berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Implementasi Metode *Vector Autoregressive Integrated Moving Average With Exogenous* (VARIMAX) dalam Meramalkan Harga Emas dan Perak”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Matematika (S.Mat.) pada Fakultas Matematika dan Ilmu Penegathuan Alam Universitas Lampung.

Terselesaikannya skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bimbingan, saran, serta do’a dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih kepada :

1. Bapak Drs. Nusyirwan, M.Si. selaku Dosen Pembimbing I atas kesediannya meluangkan waktu untuk membimbing, memberikan kritik, saran, serta arahan selama proses penyelesaian skripsi ini.
2. Ibu Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si. selaku Dosen Pembimbing II dan Dosen Pembimbing Akademik atas kesediaannya meluangkan waktu juga untuk memberikan saran serta arahan selama proses penyelesaian skripsi ini.
3. Dr. Khoirin Nisa, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun dan sangat membantu dalam memperbaiki skripsi ini sehingga dapat terselesaikan.
4. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

6. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Semoga di kemudian hari dapat membahagiakan dan menjadi kebanggaan kalian.
7. Ibu Chandra Utami, Mas Iqbal Alfarabi, M. Rafi S. Putra dan seluruh keluarga besar yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang sangat saya cintai yang selalu mendoakan tanpa henti, memberi dukungan, pengorbanan, perhatian, cinta, dan kasih sayang demi kesuksesan penulis.
8. Sahabat-sahabat terbaik, Lulu Prisyifa, Ula Nadya, Klara Rahmita, Sari Indah, Yosalia Mahirah, Chiara Julia, Annisa Aurelia, dan Dhita Saskia, atas kesediaannya untuk selalu mendengarkan, menghibur, memberikan dukungan, dan tidak pernah meninggalkan dalam keadaan apapun hingga saat ini.
9. Teman-temanku Siska Azzira, Vara Rahayuningtyas, Arsie Latumanisa, Margeliza Safitri, M. Hidayat Ridho, Eri Yudistita, Zainal Arifin, Syahreza, Rani Tias, M. Ramadhan Kamal, Ika Mefida, dan Minanti Meyda yang selalu menemani, membantu, dan saling memberi dukungan satu sama lain selama proses penyelesaian skripsi ini.
10. Mas Adhiat Arrasyid, terimakasih telah menjadi bagian dalam proses perjalanan penulis menyusun skripsi. Berkontribusi baik tenaga, pikiran, dan waktu. Serta telah menjadi tempat berkeluh kesah dan tak henti-hentinya memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
11. Bidang Eksternal HIMATIKA FMIPA Unila Periode 2022 yang selalu menerima dan memberikan dukungan dalam segala kondisi, menemani sekaligus menghibur hingga membuat dunia perkuliahan menjadi sangat menyenangkan.
12. Teman-teman Matematika angkatan 2021 atas bantuan dan kebersamaan yang diberikan selama menempuh pendidikan di Universitas Lampung.
13. Seluruh pihak terkait yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu=
14. Terakhir dan paling utama, untuk diri sendiri, yang selalu mengusahakan semua hal dan mampu bertahan melewati lika-liku yang terjadi serta selalu bekerja keras sampai saat ini. Yang tidak pernah menyerah seberat apapun prosesnya dan selalu berusaha sebaik mungkin.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak.

Bandar Lampung, 26 Mei 2024
Penulis,

Najia Choirunnisa
NPM. 2117031079

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Emas dan perak adalah logam mulia yang sangat diminati sebagai komoditas untuk investasi. Dengan nilai yang tinggi, emas dan perak juga telah digunakan sebagai alat tukar sejak zaman dahulu. Emas dan perak tersedia dalam berbagai bentuk, termasuk batangan (*bullion*), koin (*dinar*), dan perhiasan yang sering kita lihat dalam kehidupan sehari-hari. Emas dan perak telah lama dianggap sebagai aset yang berharga dan stabil dalam investasi. Emas dan perak tidak hanya digunakan sebagai alat tukar, tetapi juga sebagai simbol kekayaan dan kekuasaan. Dalam konteks modern, harga emas dan perak sering kali dipandang sebagai indikator kesehatan ekonomi global (Baur & McDermott, 2010).

Pada hakikatnya emas dan perak sering dianggap sebagai aset "*safe haven*" atau perlindungan nilai dalam infestasi karena ketahanannya terhadap inflasi dan krisis keuangan menahan inflasi. Harga emas naik jauh di atas perubahan kumulatif inflasi dari tahun 1998 hingga 2010. Selama krisis ekonomi tahun 2008-2009 banyak harga komoditi turun kurang lebih 40%, namun harga emas global mengalami kenaikan sekitar 6% (Tripathy, 2017). Fluktuasi harga emas dan perak dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kebijakan moneter, inflasi, nilai tukar mata uang, indeks dolar, serta kondisi geopolitik (Gilbert, 2008). Dalam bidang ekonomi keuangan peramalan harga emas dan perak menjadi permasalahan yang sangat penting. Dengan kondisi yang tidak stabil diperlukan model yang bisa memprediksi harga emas dan perak dimasa depan, agar dapat menjadi acuan bagi masyarakat untuk berinvestasi. Untuk memprediksi harga emas dan perak dapat digunakan model peramalan secara statistika.

Peramalan deret waktu merupakan pengamatan data masa lalu dari suatu variabel yang kemudian akan dianalisis dan mendapatkan sebuah model yang akan dikembangkan sehingga dapat menggambarkan hubungan dari variabel yang dianalisis. Model tersebut lalu digunakan untuk memprediksi nilai suatu data deret waktu di masa depan (Zhang, 2003). Deret waktu merupakan serangkaian pengamatan terhadap suatu variabel yang diambil secara berurutan berdasarkan pada interval waktu yang tetap (Wei, 2006). Namun, tidak semua model terbaik dapat digunakan untuk semua variabel dalam analisis deret waktu. Perlu memilih dan mengumpulkan variabel yang tepat, kemudian menentukan model terbaik agar mendapatkan hasil yang akurat (Zahra & Lazaar, 2019).

Data deret waktu dapat dianalisis dengan beberapa variabel melalui metode deret waktu multivariat. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk meramalkan data multivariat adalah *Vector Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous* (VARIMAX). Data harga emas merupakan data multivariat yang dapat diprediksi menggunakan metode VARIMAX. Metode VARIMAX merupakan yang diadaptasi dari metode *Vector Autoregressive Integrated Moving Average* (VARIMA) (Pertiwi dkk., 2021). Metode VARIMA mengasumsikan bahwa semua variabel yang digunakan adalah variabel endogen. Dalam model VARIMAX, variabel tambahan yang digunakan mencakup variabel endogen dan eksogen. Sutthichaimethee (2017) menyatakan bahwa model VARIMAX dirancang untuk memodelkan beberapa variabel endogen dengan mempertimbangkan pengaruh dari variabel eksogen.

Sutthichaimethee (2017) menggunakan metode VARIMAX untuk memprediksi $\mathrm{CO_2}$, populasi, dan PBD dalam jangka waktu 30 tahun berikutnya, dengan melihat variabel konsumsi energi diberbagai sektor. Penelitian ini menghasilkan nilai MAPE sebesar 1.16%. Selanjutnya, Djami & Latupeirissa (2020) dalam meramalkan harga emas dengan menggunakan metode *Autoregressive Integrated*

Moving Average Box-Jenkins (ARIMA *Box-Jenkins)* menghasilkan peramalan untuk 10 bulan kedepan dengan model ARIMA (1,1,1) . Pada penelitian Suwandi (2020) menggunakan metode *Single Moving Average* (SMA) dalam prediksi harga emas menghasilkan peramalan untuk 12 bulan mendatang dan menggunakan metode *moving average* 3 periode menghasilkan SMA sebesar 600.000 dan 593.333.

Sadorsky (2021) menggunakan metode *Tree-Based Classifiers* yaitu *bagging, stochastic gradient boosting*, dan *random forest* untuk memprediksi harga emas dan perak dalam jangka waktu peramalan 20 hari. Metode ini menunjukan akurasi yang tinggi jika dibandingkan dengan metode logit tradisional. Dalam penelitian Amini & Kalantari (2024) memperkirakan harga emas dalam 44 tahun kedepan dengan membandingkan beberapa metode menggunakan *Long Short Term Memory* (LSTM), *Convolutional Neural Network* (CNN), *Convolutional Neural Network - Long Short Term Memory* (CNN-LSTM), *Convolutional Long Short Term Memory* (ConvLSTM), dan *Convolutional Neural Network – Bidirectional Long Short Term Memory* (CNN-Bi-LSTM) menghasilkan koefisien determinasi, RMSE, dan RMAE masing-masing sebesar 0.95, 37.94, 5.27.

Berdasarkan penelitian terdahulu, penelitian tentang penerapan metode VARIMAX pada peramalan harga emas dan perak masih sedikit dilakukan. Sehingga hasil dari penelitian peramalan harga emas dan perak dapat digunakan sebagai acuan bagi calon investor maupun pemegang kebijakan dalam mengambil keputusan waktu yang tepat untuk melakukan investasi emas dan perak.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan model terbaik harga emas dan perak terbaik dengan menggunakan metode VARIMAX.
2. Mengetahui hasil peramalan harga emas dan perak untuk periode 2024-2034 kedepan dengan mengunakan metode VARIMAX.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menambah wawasan pembaca tentang pengaplikasian metode VARIMAX dalam peramalan dan dapat menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya.
2. Sebagai salah satu bahan pertimbangan pemerintah untuk membuat kebijakan ekonomi, moneter, dan fiskal yang lebih terinformasi. Serta membantu investor dalam perencanaan investasi dan pengelolaan risiko untuk membuat keputusan yang lebih strategis dalam investasi emas dan perak.

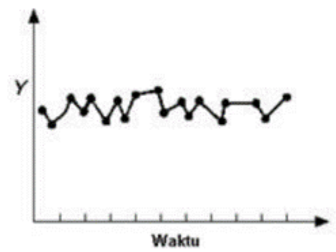
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Deret Waktu

Analisis deret waktu adalah analisis yang mempertimbangkan pengaruh waktu secara berurutan. Deret waktu adalah sekumpulan data suatu objek yang dikumpulkan secara terus menerus secara berurutan pada interval waktu tetap. Sedangkan data deret waktu adalah data yang dikumpulkan berdasarkan urutan dan interval dalam periode waktu tertentu, seperti hari, minggu, bulan, kuartal, atau tahun (Wei, 2006). Menurut Makridakis, dkk., (1999), terdapat 4 jenis pola data, yaitu:

1. Pola Horizontal

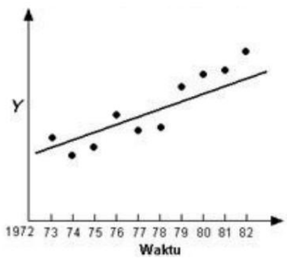
   Pola ini terjadi ketika nilai data berfluktuasi di sekitar rata-rata yang konstan. Pola data horizontal sering juga disebut dengan data konstan.



Gambar 1. Plot data horizontal.

2. Pola Data *Trend*

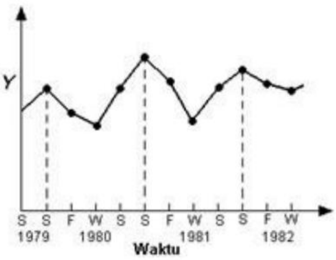
   Pola ini terjadi ketika data terdapat peningkatan atau penurunan jangka Panjang dalam data deret waktu untuk suatu periode tertentu.



Gambar 2. Plot data *trend.*

3. Pola Data Musiman

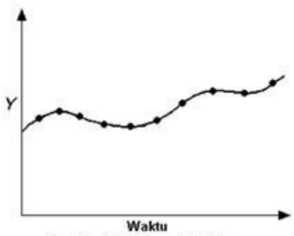
   Pola data ini terjadi bila sekumpulan data dipengaruhi oleh faktor musiman (harian, mingguan, bulanan, triwulan, dan sebagainya).



Gambar 3. Plot data musiman.

4. Pola Data Siklik

   Pola ini terjadi ketika data tidak naik dan turun dalam jangka waktu tertentu.



Gambar 4. Plot data siklik.

2.2 Peramalan

Peramalan merupakan prediksi nilai suatu variabel berdasarkan nilai masa lalu yang diketahui dari variabel tersebut atau variabel terkait lainnya. Peramalan juga dapat didasarkan pada penilaian ahli, menggunakan data-data historis dari suatu variabel yang nantinya akan digunakan dalam pengambilan keputusan (Makridakis dkk., 1999). Peramalan seringkali diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, seperti peramalan jangka pendek, jangka menengah, dan jangka panjang. Peramalan jangka pendek melibatkan prediksi peristiwa masa depan dalam beberapa periode waktu (hari, minggu, bulan). Peramalan jangka menengah diperpanjang satu hingga dua tahun kedepan, sedangkan prakiraan jangka panjang dapat diperpanjang beberapa tahun ke depan (Montgomery dkk., 2015).

Menurut Montgomery dkk. (2015), terdapat dua teknik peramalan, yaitu:

1. Peramalan Kualitatif

   Peramalan kualitatif merupakan peramalan yang memerlukan penilaian dari para ahli. Peramalan kualitatif sering digunakan jika terdapat sedikit atau tidak ada data historis yang digunakan sebagai dasar peramalan. Sebagai contoh yaitu pengenalan produk baru suatu perusahaan dimana masih belum memiliki riwayat penjualan yang relevan sehingga perusahaan mungkin menggunakan pendapat ahli dari tenaga penjualan dan pemasaran untuk memperkirakan secara subjektif penjualan produk selama pengenalan produk baru.
2. Peramalan Kuantitatif

   Peramalan kuantitatif didefinisikan sebagai peramalan yang didasarkan atas data kuantitatif pada masa lalu. Model peramalan digunakan untuk mengektrapolasikan perilaku/nilai masa lampau dan masa sekarang ke dalam masa depan. Hasil peramalan yang dibuat sangat tergantung pada metode yang dipergunakan dalam peramalan tersebut. Metode yang baik adalah metode yang memberikan nilainilai perbedaan atau penyimpangan yang paling kecil.

2.3 Stasioneritas

Stasioner adalah proses dimana tidak terdapat perubahan kenaikan atau penurunan dalam data deret waktu. Fluktuasi data tersebut erada disekitarnilai rata-rata dan ragam secara konstan dan tidak bergantung pada interval waktu (Makridakis dkk., 1999). Suatu deret waktu dikatakan stasioner jika rata-rata dan ragam konstan, tidak mengandung tren dalam data, dan tidak terdapat komponen musiman. Untuk menghilangkan autokorelasi perlu dilakukan transformasi, untuk mengubah data yang tidak stasioner menjadi stasioner (Makridakis dkk., 1999). Metode yang dapat digunakan untuk menguji stasioneritas data dapat dilakukan dengan menggnakan uji akar unit. Uji yang biasa digunakan adalah uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Pengujian stasioneritas dengan menggunakan uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) yakni sebagai berikut:

1. Uji Hipotesis
   H_0 : data tidak stasioner
   H_1 : data stasioner
2. Taraf Signifikansi
   α = 5% atau 0,05
3. Daerah Kritis
   Jika nilai *p-value* < 0,05 maka tolak H_0, artinya data stasioner
   Jika nilai *p-value* > 0,05 maka tidak tolak H_0, artinya data tidak stasioner
4. Statistik Uji
   Statistik uji stasioneritas diformulasikan pada persamaan (2.1).

$$ADF_{hitung} = \frac{\delta}{Se(\delta)} \tag{2.1}$$

   dimana:
   δ : niai dugaan parameter *autoregressive*
   $Se(\delta)$: *standar error* dari δ

Data yang tidak stasioner dapat diubah menjadi data stasioner melalui proses *differencing* (Wei, 2006). Proses *differencing* adalah proses mengurangi nilai data pasa suatu periode dengan nilai data pada periode sebelumnya (Anbiya & Garini, 2022). Persamaan *differencing* orede pertama $(d = 1)$ dapat ditulis dengan persamaan (2.2) sebagai berikut (Makridakis dkk., 1999):

$$Y_t' = Y_t - Y_{t-1} \tag{2.2}$$

dengan:
Y_t' : *differencing* data
Y_t : data periode saat ini
Y_{t-1} : data periode sebelumnya

Jika setelah dilakukan *differencing* orde pertama data masih belum stasioner. Maka perlu dilakukan *differencing* orde kedua $(d = 2)$. Persamaan *differencing* orede kedua $(d = 2)$ dapat ditulis dengan persamaan (2.3) sebagai berikut (Makridakis dkk., 1999):

$$\begin{aligned} Y_t'' &= Y_t' - Y_{t-1}' \\ &= (Y_t - Y_{t-1}) - (Y_{t-1} - Y_{t-2}) \\ &= Y_t - 2Y_{t-1} + Y_{t-2} \end{aligned} \tag{2.3}$$

2.4 *Autocorrelation Function* (ACF)

Autokorelasi adalah hubungan yang terjadi antara satu atau lebih variabel (Hanke & Wincern, 2005). Menurut Box dkk (2015) ACF menggambarkan korelasi data dengan menghitung korelasi antara suatu variabel pada waktu y_t dan nilai pada waktu sebelumnya y_{t-i}. Koefisien korelasi antara y_t dan y_{t-k} disebut autokorelasi lag-*k* dari y_t dan dilambangkan dengan ρ_k. Didefinisikan dalam persamaan (2.4) sebagai berikut:

$$\rho_k = \frac{cov\,(y_t, y_{t-k})}{\sqrt{Var(y_t)Var(y_{t-k})}} = \frac{cov\,(y_t, y_{t-k})}{Var(y_t)} \tag{2.4}$$

dengan:

ρ_k : koefisien autokorelasi pada lag ke-*k*

y_t : nilai data pada waktu ke-*t*

y_{t-k} : nilai data pada waktu ke-(*t*-*k*)

2.5 *Partial Autocorrelation Function* (PACF)

PACF mengukur hubungan antara nilai suatu variabel pada suatu titik waktu tertentu dan nilai suatu varibael pada titik sebelumnya (*lagged values*), dengan menghilangkan pengaruh interval antara dua titik waktu tersebut (Box dkk., 2015). Fungsi ini dapat digambarkan sebagai korelasi antara y_t dan y_{t-k} setelah menghiangkan efek dari $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-k+1}$. Koefisien ini dikenal dengan autokorelasi parsia; pada lag-k dan didefinikan dalam persamaan (2.5) sebagai berikut:

$$\phi_{kk} = Corr(y_t, y_{t-k+1} | y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-k+1}) \quad (2.5)$$

dengan:

ϕ_{kk} : koefisien autokorelasi parsial pada lag ke-k

y_t : nilai data pada waktu ke-t

y_{t-k} : nilai data pada waktu ke-*(t-k)*

2.6 Model *Vector Autoregressive* (VAR)

Model VAR merupakan sebuah kombinasi dari beberapa model *autoregressive* (AR) dimana model ini terbentuk sebuah vektor yang terletak di antara variabel-variabel yang variabelnya mempengaruhi satu sama lain (Sims, 1980). Model VAR memodelkan variabel endogen secara simultan. Setiap variabel endogen dalam model ini dijelaskan oleh nilai-nilai masa lalu *(lagged*), serta nilai *lagged* untuk semua variabel endogen lainnya dalam model. Secara umum, model VAR (p) dapat ditulis dalam persamaan (2.6) sebagai berikut (Wei, 2006).

$$\boldsymbol{Z_t} = \boldsymbol{\phi_1 Z_{t-1}} + \boldsymbol{\phi_1 Z_{t-2}} + \cdots + \boldsymbol{\phi_p Z_{t-p}} + \boldsymbol{a_t} \quad (2.6)$$

dengan:

$\boldsymbol{Z_t}$: vektor pengamatan dengan $Z_t = [Z_{1,t}, Z_{2,t}, \dots, Z_{N,t}]^T$ vektor deret waktu stasioner ukuran $N \times 1$

$\boldsymbol{\phi_1}, \dots, \boldsymbol{\phi_t}$: matriks parameter *autoregressive* berukuran $N \times N$

$\boldsymbol{a_t}$: nilai residual pada waktu ke-t $[a_{1,t}, a_{2,t}, \dots, a_{N,t}]^T$ vektor *error* ukuran $N \times 1$

2.7 Model *Vector Moving Average* (VMA)

Model VMA adalah salah satu metode dalam analisis *time serie*s yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antara beberapa variabel waktu. Model ini merupakan komponen dari keluarga model VAR, yang berfokus pada hubungan dinamis dengan interval waktu estimasi yang disesuaikan didasarkan pada perubahan variabel dan variabel tambahan pada periode sebelumnya (Rusyana dkk., 2020). Secara umum, model VMA *(q)* dapat ditulis dalam persamaan (2.7) sebagai berikut (Wei, 2006):

$$\boldsymbol{Z_t} = \boldsymbol{a_t} - \boldsymbol{\theta_1 a_{t-1}} - \boldsymbol{\theta_2 a_{t-2}} - \cdots - \boldsymbol{\theta_t a_{t-q}} \tag{2.7}$$

dengan:

$\boldsymbol{Z_t}$: vektor pengamatan dengan $Z_t = [Z_{1,t}, Z_{2,t}, \ldots, Z_{N,t}]^T$ vektor deret waktu stasioner ukuran $N \times 1$

$\boldsymbol{\theta_1}, \ldots, \boldsymbol{\theta_t}$: matriks parameter autoregressive berukuran $N \times N$

$\boldsymbol{a_t}$: nilai residual pada waktu ke-*t* $[a_{1,t}, a_{2,t}, \ldots, a_{N,t}]^T$ vektor error ukuran $N \times 1$

2.8 Model *Vector Autoregressive Moving Average* (VARMA)

Model VARMA adalah salah satu model yang paling umum digunakan untuk permasalahan pada data deret waktu multivariat. Model ini digunakan pada deret waktu yang tidak memiliki pola musiman dan menganalisis lebih dari satu variabel endogen. Secara umum model VARMA dapat ditulis dalam persamaan (2.8) sebagai berikut (Wei, 2006):

$$\boldsymbol{Z_t} = \boldsymbol{\phi_1 Z_{t-1}} + \cdots + \boldsymbol{\phi_p Z_{t-p}} + \boldsymbol{a_t} - \boldsymbol{\theta_1 a_{t-1}} - \cdots - \boldsymbol{\theta_t a_{t-q}} \tag{2.8}$$

dengan:

$\boldsymbol{Z_t}$: vektor pengamatan dengan $Z_t = [Z_{1,t}, Z_{2,t}, \ldots, Z_{N,t}]^T$ vektor deret waktu stasioner ukuran $N \times 1$

$\boldsymbol{\theta_1}, \ldots, \boldsymbol{\theta_t}$: matriks parameter *autoregressive* berukuran $N \times N$

$\boldsymbol{\phi_1}, \ldots, \boldsymbol{\phi_t}$: matriks parameter *moving average* berukuran $N \times N$

$\boldsymbol{a_t}$: nilai residual pada waktu ke-*t* $[a_{1,t}, a_{2,t}, \ldots, a_{N,t}]^T$ vektor *error* ukuran $N \times 1$

2.9 Model *Vector Autoregressive Integrated Moving Average* (VARIMA)

Model VARIMA merupakan model VARMA yang mengalami proses *differencing* (Rusyana dkk., 2020). Model VARIMA terjadi ketika data yang digunakan tidak stasioner yang berarti bahwa diperlukan proses *differencing* agar data yang digunakan menjadi stasioner. Sehingga model VARMA yang tidak stasioner untuk Z_t ditulis dalam persamaan (2.9) sebagai berikut (Wei, 2006):

$$\boldsymbol{\Phi_p}\ (\boldsymbol{B})\boldsymbol{D}(\boldsymbol{B})\boldsymbol{Z_t} = \boldsymbol{\Theta_q}(\boldsymbol{B})\boldsymbol{a_t} \tag{2.9}$$

dengan:

$\boldsymbol{Z_t}$: vektor pengamatan dengan $Z_t = [Z_{1,t}, Z_{2,t}, \dots, Z_{N,t}]^T$ vektor deret waktu stasioner ukuran $N \times 1$

$\boldsymbol{D}(\boldsymbol{B})$: operator *differencing*

$\boldsymbol{\Phi_p}, \dots, \boldsymbol{\Phi_t}$: matriks parameter *autoregressive* berukuran $N \times N$

$\boldsymbol{\Theta_q}, \dots, \boldsymbol{\Theta_t}$: matriks parameter *moving averge* berukuran $N \times N$

$\boldsymbol{a_t}$: nilai residual pada waktu ke-*t* $[a_{1,t}, a_{2,t}, \dots, a_{N,t}]^T$ vektor *error* ukuran $N \times 1$

2.10 Model *Vector Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous* (VARIMAX)

Sutthichaimethee (2017) menyatakan bahwa model VARIMAX merupakan model yang menggabungkan tiga konsep dan pengetahuan yaitu model ARIMA yang dipadukan dengan model VAR dan variabel eksogen yang digunakan dalam model. Model VARIMAX adalah model VARIMA dengan penambahan variabel eksogen kedalam model. Variabel eksogen ditentukan diluar model dan dipengaruhi oleh variabel endogen. Model VARIMAX juga digunakan untuk menjelaskan bagaimana variabel endogen dan eksogen berinteraksi (Nurfadilah & Kasse, 2018). Bentuk umum model VARIMAX dapat ditulis pada persamaan (2.10) sebagai berikut (Wei, 2006):

$$\boldsymbol{\Phi_p}\ (\boldsymbol{B})\boldsymbol{Z_t} = \boldsymbol{\delta_r}(\boldsymbol{\beta})\boldsymbol{x_t} + \boldsymbol{\Theta_q}(\boldsymbol{B})\boldsymbol{a_t} \tag{2.10}$$

dengan:

$\boldsymbol{Z_t}$	: vektor pengamatan dengan $Z_t = [Z_{1,t}, Z_{2,t}, \dots, Z_{N,t}]^T$ vektor deret waktu stasioner ukuran $N \times 1$
$\boldsymbol{\Phi_p}, \dots, \boldsymbol{\Phi_t}$	: matriks parameter *autoregressive* berukuran $N \times N$
$\boldsymbol{\Theta_q}, \dots, \boldsymbol{\Theta_t}$	: matriks parameter *moving average* berukuran $N \times N$
$\boldsymbol{\delta_r}(\boldsymbol{\beta})$	: matriks parameter variabel eksogen berukuran $N \times S$
$\boldsymbol{x_t}$	: vektor variabel eksogen
$\boldsymbol{a_t}$	: nilai residual pada waktu ke-t $[a_{1,t}, a_{2,t}, \dots, a_{N,t}]^T$ vektor *error* ukuran $N \times 1$

Persamaan (2.10) juga bisa dituliskan dalam bentuk persamaan liner VARIMAX untuk data stasioner dalam persamaan (2.11) sebagai berikut:

$$\boldsymbol{Z_t} = \boldsymbol{\phi_0} + \boldsymbol{\phi_1 Z_{t-1}} + \dots + \boldsymbol{\phi_p Z_{t-p}} - \boldsymbol{\theta_1 a_{t-1}} - \dots - \boldsymbol{\theta_t a_{t-q}} + \boldsymbol{\beta_1 X_{t-1}} + \dots + \boldsymbol{\beta_k X_{t-k}} + \boldsymbol{a_t} \tag{2.11}$$

dengan:

$\boldsymbol{Z_t}$	: vektor pengamatan dengan $Z_t = [Z_{1,t}, Z_{2,t}, \dots, Z_{N,t}]^T$ vektor deret waktu stasioner ukuran $N \times 1$
$\boldsymbol{\phi_0}$	: vektor konstanta
$\boldsymbol{\phi_p}, \dots, \boldsymbol{\phi_t}$	: matriks parameter *autoregressive* berukuran $N \times N$
$\boldsymbol{\theta}_q, \dots, \boldsymbol{\theta_t}$	: matriks parameter *moving average* berukuran $N \times N$
$\boldsymbol{X_{k-1}}$	: vektor variabel eksogen
$\boldsymbol{a_t}$	: nilai residual pada waktu ke-t $[a_{1,t}, a_{2,t}, \dots, a_{N,t}]^T$ vektor *error* ukuran $N \times 1$

2.11 Estimasi Parameter dengan *Ordinary Least Square* (OLS)

Metode OLS pertama kali diperkenalkan oleh Carl Friedrich Gauss, metode OLS adalah metode untuk mengestimasi suatu garis regresi dengan meminimalkan jumlah kuadrat *error* dari setiap pengamatan terhadap garis (Kuncoro, 2003). Estimator OLS harus memenuhi kriteria BLUE yakni *best*, *linear*, *unbiased*, dan *efficient estimator* (Gujarati, 1999). Fungsi tujuan dari metode OLS dapat dituliskan dalam persamaan (2.12) sebagai berikut (Montgomery & Peck, 1991):

$$min\ \sum_{i=1}^{n} e_i^2\ =\ min\ \sum_{i=1}^{n}\ (y_i - \hat{y}_i)^2 \tag{2.12}$$

Penduga untuk matriks dari model regresi linear dapat dituliskan dalam persamaan (2.13) sebagai berikut:

$$\boldsymbol{Z} = \boldsymbol{X\beta} + \boldsymbol{a} \tag{2.13}$$

dengan:

$\boldsymbol{Z}$: matriks dari variabel terikat

$\boldsymbol{X}$: matriks dari variabel bebas

$\boldsymbol{a}$: matriks dari nilai *error*

$\boldsymbol{\beta}$: parameter penduga

Prinsip metode OLS digunakan untuk estimasi parameter yakni dengan meminimumkan JKG.

$$\begin{aligned} JKG\ &=\ \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{a^2} \\ &=\ \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} (\boldsymbol{Z} - \boldsymbol{X\hat{\beta}})^{\boldsymbol{2}} \\ &=\ \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} (\boldsymbol{Z} - \boldsymbol{X\hat{\beta}})(\boldsymbol{Z} - \boldsymbol{X\hat{\beta}}) \\ &=\ \sum_{\boldsymbol{i=1}}^{\boldsymbol{n}} \left(\boldsymbol{Z} - \boldsymbol{X\hat{\beta}}\right)^{\boldsymbol{T}} (\boldsymbol{Z} - \boldsymbol{X\hat{\beta}}) \\ &= \boldsymbol{a^T a} \end{aligned} \tag{2.14}$$

JKG dapat dinyatakan dalam bentuk skalar sebagai $\boldsymbol{a^T a}$**,** sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{a^T a} &= \sum_{i=1}^{n} \boldsymbol{a^2} \\ &= \left(\boldsymbol{Z} - \boldsymbol{X\hat{\beta}}\right)^{\boldsymbol{T}} \left(\boldsymbol{Z} - \boldsymbol{X\hat{\beta}}\right) \\ &= (\boldsymbol{Z^T} - \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T})(\boldsymbol{Z} - \boldsymbol{X\hat{\beta}}) \\ &= \boldsymbol{Z^T Z} - \boldsymbol{Z^T X\hat{\beta}} - \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T Z} + \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T X\hat{\beta}} \\ &= \boldsymbol{Z^T Z} - (\boldsymbol{Z^T X\hat{\beta}})^{\boldsymbol{T}} - \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T Z} + \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T X\hat{\beta}} \\ &= \boldsymbol{Z^T Z} - \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T Z} - \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T Z} + \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T X\hat{\beta}} \\ &= \boldsymbol{Z^T Z} - \boldsymbol{2\hat{\beta}^T X^T Z} + \boldsymbol{\hat{\beta}^T X^T X\hat{\beta}} \end{aligned} \tag{2.15}$$

Untuk meminimalkan $\boldsymbol{a^T a}$ dilakukan proses turunan parsial terhadap $\boldsymbol{\hat{\beta}}$, sebagai berikut:

$$\frac{\boldsymbol{\partial \sum_{i=1}^{n} a_i^2}}{\boldsymbol{\partial \hat{\beta}}} = \boldsymbol{0}$$

$$\frac{\partial \sum_{i=1}^{n}(\boldsymbol{a}^T\boldsymbol{a})}{\partial\widehat{\boldsymbol{\beta}}} = \mathbf{0}$$

$$\frac{\partial(\boldsymbol{Z}^T\boldsymbol{Z} - 2\widehat{\boldsymbol{\beta}}^T\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z} + \widehat{\boldsymbol{\beta}}^T\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X}\widehat{\boldsymbol{\beta}})}{\partial\widehat{\boldsymbol{\beta}}} = \mathbf{0}$$

$$\frac{\partial(\boldsymbol{Z}^T\boldsymbol{Z})}{\partial\widehat{\boldsymbol{\beta}}} - \frac{\partial\left(2\widehat{\boldsymbol{\beta}}^T\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z}\right)}{\partial\widehat{\boldsymbol{\beta}}} + \frac{\partial(\widehat{\boldsymbol{\beta}}^T\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X}\widehat{\boldsymbol{\beta}})}{\partial\widehat{\boldsymbol{\beta}}} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{0} - 2\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z} + 2\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X}\widehat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{0}$$

$$-2\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z} + 2\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X}\widehat{\boldsymbol{\beta}} = \mathbf{0}$$

$$2\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X}\widehat{\boldsymbol{\beta}} = 2\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z}$$

$$\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X}\widehat{\boldsymbol{\beta}} = \boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z}$$

$$(\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X}\widehat{\boldsymbol{\beta}} = (\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z}$$

$$\boldsymbol{I}\widehat{\boldsymbol{\beta}} = (\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z}$$

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}} = (\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z} \tag{2.16}$$

Estimasi parameter OLS dapat ditulis dalam persamaan (2.17) sebagai berikut (Montgomery & Peck, 1991):

$$\widehat{\boldsymbol{\beta}}_{\boldsymbol{OLS}} = (\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^T\boldsymbol{Z} \tag{2.17}$$

2.12 Uji Asumsi Residual

Menurut Pertiwi dkk, (2021) uji asumsi residual digunakan untuk membuktikan bahwa model yang dihasilkan layak digunakan. Ada dua asumsi yang harus dipenuhi dalam model deret waktu, yakni residual bersifat *white noise* dan berdistribusi normal. Uji asumsi residual yang digunakan yaitu uji asumsi residual white noise. Pengujian asumsi residual *white noise* menggunakkan uji *Ljung-Box* sebagai berikut (Faradilla & Suharsono, 2023) :

1. Uji Hipotesis

   H_0 : residual memenuhi syarat *white noise*

   H_1 : residual tidak memenuhi syarat *white noise*

2. Taraf Signifikansi

   α = 5% atau 0.05

3. Daerah Kritis

   Jika nilai *p-value* $<\alpha$ maka tolak H_0, artinya residual tidak memenuhi syarat *white noise*

   Jika nilai *p-value* $>\alpha$ maka tidak tolak H_0, artinya residual memenuhi syarat *white noise*

4. Statistik Uji

   Statistik uji asumsi residual *white noise* menggunakan *Ljung-Box* diformulasikan pada persamaan (2.18).

$$Q = n(n+2)\sum_{i=1}^{m}\frac{\rho_i^2}{(n-i)} \tag{2.18}$$

   dimana:

   n : banyaknya data pengamatan

   ρ_i : autokorelasi lag ke-i

   m : jumlah lag

2.13 Evaluasi Model

Evaluasi model dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat model tersebut dalam memprediksi data yang diketahui (Makridakis dkk., 1999). Semakin kecil derajat kesalahan yang dihasilkan maka semakin akurat prediksi dari sebuah metode. Beberapa evaluasi model yang dapat digunakan, sebagai berikut:

1. *Akaike Information Criterion Corrected* (AICc)

   AICc merupakan perkembangan dari *Akaike Information Criterion* (AIC). Perhitungan AIC dituliskan dalam persamaan 2.19 sebagai berikut:

$$AIC = 2k - 2\ln L \tag{2.19}$$

   Sehingga persamaan AICc dapat dituliskan dalam persamaan 2.20

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \tag{2.20}$$

   keterangan:

   n : jumlah pengamatan

   k : jumlah parameter bebas yang perlu diestimasi

   L : nilai Likelihood

2. *Bayesian Information Criterion* (BIC)

   BIC adalah suatu kriteria informasi yang didasarkan pada asumsi distribusi data bersifat eksponensial (Kasali & Adeyemi, 2022). Rumus BIC dapat ditulis dengan persamaaan (2.19) sebagai berikut:

   $$BIC = k \cdot \ln(n) + 2 \cdot \ln(L) \qquad (2.21)$$

   keterangan:

   n : jumlah pengamatan

   k : jumlah parameter bebas yang perlu diestimasi

   L : nilai Likelihood

3. *Root Mean Square Error* (RMSE)

   Nilai RMSE merupakan akar kuadrat dari selisih antara nilai prediksi dan nilai aktual, yang hasil akhirnya menggambarkan seberapa besar deviasi akar kuadrat antara nilai aktual dan prediksi model (Ivan & Purnomo, 2022). Persamaan RMSE dapat dinyatakan dengan rumus pada persamaan (2.22)

   $$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} (\widehat{Y_t} - Y_t)^2} \qquad (2.22)$$

   dengan:

   n : jumlah periode prediksi

   t : waktu

   $\widehat{Y_t}$: nilai prediksi pada periode ke-*t*

   Y_t : nilai aktual pada periode ke-*t*

4. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

   MAPE adalah nilai absolute rata-rata dari selisih antara nilai prediksi dan nilai aktual sehingga menghasilkan persentase kesalahan model (Ivan & Purnomo, 2022) Persamaan MAPE dapat dinyatakan dengan rumus pada persamaan (2.23).

   $$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n} \left| \frac{\widehat{Y_t} - Y_t}{Y_t} \right| x\ 100\% \qquad (2.23)$$

   dengan:

   n : jumlah periode prediksi

   t : waktu

   $\widehat{Y_t}$: nilai prediksi pada periode ke-*t*

   Y_t : nilai aktual pada periode ke-*t*

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada semester ganjil tahun akademik 2024/2025 bertempat di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan adalah data harian harga emas berjangka (Y_1), data harian perak berjangka (Y_2) sebagai variabel endogen, dan data harian Indeks Dolar (X_1) sebagai variabel eksogen. Rentang periode data yang digunakan adalah 2 Januari 2015 sampai 30 Desember 2024 yang diperoleh dari laman https://id.investing.com/.

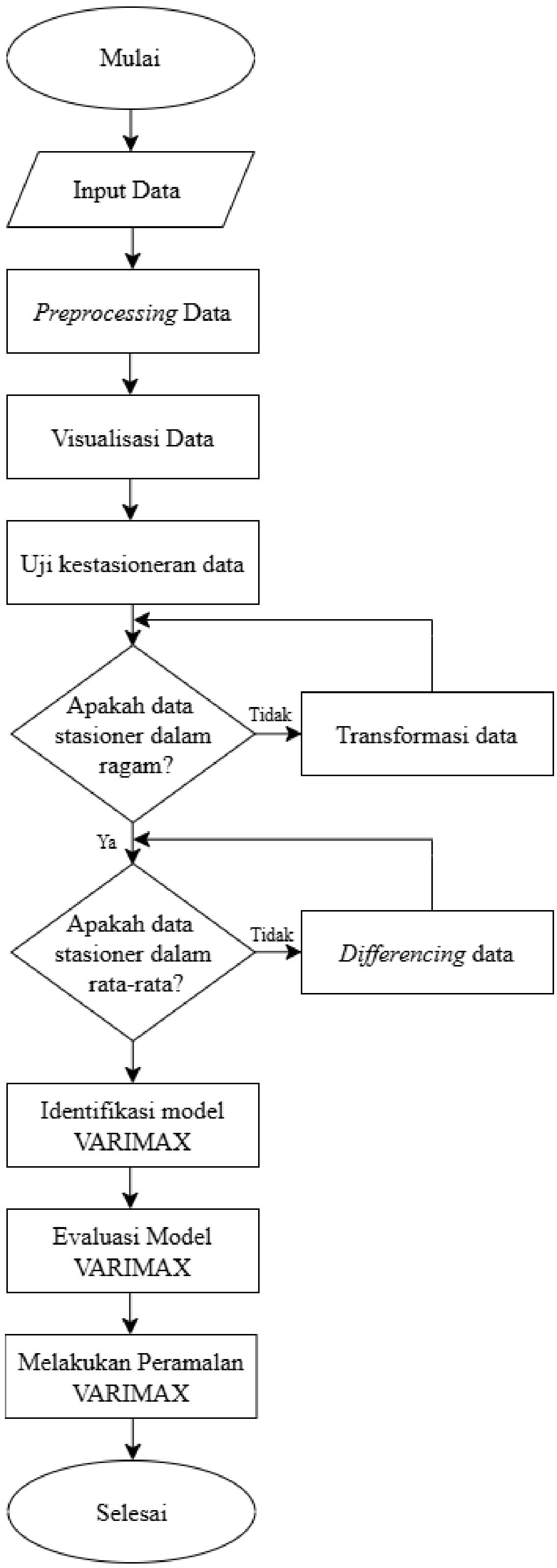
3.3 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan peramalan menggunakan metode VARIMAX adalah sebagai berikut:

1. Mencari dan mengumpulkan data historis harian harga emas serta mencari data historis variabel eksogen.
2. Menginput data penelitian ke dalam perangkat lunak *Python*.
3. Melakukan visualisasi data dengan melihat tren dan pola dalam data.

4. Melakukan *preprocessing data*, data hilang dan yakni menangani data hilang (*Missing Value*).
5. Melakukan uji stasioneritas dengan menggunakan uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Jika data tidak stasioner maka akan dilakukan proses *differencing*.
6. Setelah data stasioner, kemudian menentukan model VARIMAX yang memiliki orde *p, d, q* yang dapat dilihat pada plot ACF, PACF, dan proses *differencing* serta memasukan variabel eksogen kedalam model VARIMAX.
7. Menentukan model VARIMAX terbaik berdasarkan nilai BIC dan AICc terkecil.
8. Evaluasi model VARIMAX dengan melihat nilai RMSE dan MAPE pada model yang telah dipilih.
9. Melakukan uji residual *white noise* dengan uji *Ljung-Box* dalam model VARIMAX untuk mengetahui apakah model sudah cukup baik untuk digunakan dalam peramalan.
10. Melakukan peramalan pada model VARIMAX.

Berikut merupakan gambar *flowchart* peramalan metode VARIMAX:



Gambar 5. *Flowchart* peramalan metode VARIMAX.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang sudah diperoleh didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter terbaik yang digunakan untuk meramalkan data dengan metode VARIMAX adalah model VARIMAX (1,1,1). Dengan MAPE sebesar 1,15% dan RMSE sebesar 28,36 dapat disimpulkan bahwa model VARIMAX (1,1,1) dapat memeberikan nilai *error* atau kesalahan yang kecil sehingga dapat diartikan bahwa tingkat akurasi model VARIMAX dapat digunakan untuk meramalkan harga logam mulia yang lain.
2. Diperoleh peramalan harga emas berjangka dalam periode 1 Januari 2025-30 Januari 2025 secara berturut-turut adalah 2616.31, 2.671.011, 2671.17, 2746.96, 2747.4, 2735.4, 2700.8, 2635, 2648.6, 2782.3, 2712.8, 2692.83, 2703.72, 2733.32, 2775.12, 2737.02, 2767.02, 2748.34, 2710.81, 2747.81, 2752.73, 2769.91, 2779.51, 2770.11, 2750.9, 2748.7, 2750.21, 2751.03, 2741.17, 2893.97 dan hasil peramalan harga perak berjangka periode 1 Januari 2025-30 Januari 2025 secara berturut-turut adalah 29.9, 30.31, 30, 29.62, 30.81, 30.89, 30.72, 30.71, 31.07, 31.3, 30.2, 30.16, 31.58, 30.53, 31.58, 31.72, 31.67, 32.07, 31.43, 31.32, 31.19, 30.33, 30.75, 30.04, 31.51, 31.2, 31.38, 31.75, 31.46, 32.41.

DAFTAR PUSTAKA

Amini, A. & Kalantari, R. 2024. Gold Price Prediction by a CNN-Bi-LSTM Model Along With Automatic Parameter Tuning. *Journal of Computational Finance and Economics*. **19**(3): 1-17.

Anbiya, W. & Garini, F.C. 2022. Application of GARCH Forecasting Method in Predicting The Number of Rail Passengers (Thousands of People) in Jabodetabek Region. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*. **18**(2): 198-223.

Baur, D.G., & McDermott, J.B. 2010. Is Gold a Safe Haven International Evidence. *Journal of Banking & Finance*. **34**(8): 1886-1898.

Box, G.E.P., Jenkins, G.M., & Reinsel, G.C. 2015. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. John Wiley & Sons. New Jersey.

Djami, R. J., & Latupeirissa, S. J. 2020. Peramalan Harga Emas di Indonesia Tahun 2014-2019 dengan Metode ARIMA Box-Jenkins. *Journal of Statistic and Its Application*. **2**(2): 53-62.

Faradilla, S. dan Suharsono, A. 2023. Peramalan Penjualan Produk Baja dan Besi di PT MSU dengan Pendekatan Metode ARIMA dan Single Moving Average. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. **12**(1), 88–95.

Gilbert, C. L. 2008. *How to Understand the Volatility of Gold Prices.* World Gold Council. London.

Gujarati, D. 1999 *Ekonometrika Dasar*. Terjemahan Dr. Sumarno, Z. Erlangga. Jakarta.

Hanke, J.E., & Wincern, D.W. 2005. *Business Forecasting Eight Edition*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.

Ivan, E. & Purnomo, H.D. 2022. Forecasting Prices of Fertilizer Raw Materials Using Long Short Term Memory. *Jurnal Teknik Informatika (Jutif).* **3**(6): 1663–1673.

Kasali, J., Adeyemi, A.A. 2022. Model-Data Fit Using Akaike Information Criterion (AIC), Bayesian Information Criterion (BIC), and The Sample-Size-Adjusted BIC. *Journal of Mathematics and Mathematics Education*. **4**(1): 43-51.

Kuncoro, M. 2003. *Metode Riset untuk Bisnis dan Ekonomi.* Erlangga. Jakarta.

Makridakis, S., Wheelwright, S.C. & McGee, V.E. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan Edisi Ke-2*. Terjemahan Suminto, Binarupa Aksara. Jakarta.

Montgomery, D.C. & Peck. 1991. *Introduction to Linear Regression Analysis*. John Wiley & Sons. New York.

Montgomery, D.C., Jennings, C.L, & Kulahci, M. 2015. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting 2nd Edition*. John Wiley & Sons. New York.

Nurfadilah, K., & Kasse, I. 2018. Peramalan Tingkat Suku Bunga Pasar Uang Antar Bank (PUAB) Dengan Vector Autoregressive Exogenous (VARX). *Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya.* **6**(1): 51-60.

Pertiwi, A., Dewi, L.F., Toharudin, T., & Ruchjana, B.N. 2021. Penerapan Model Vector Autoregressive Integrated Moving Average (VARIMA) untuk Prakiraan Indeks Harga Saham Gabungan dan Kurs Rupiah Terhadap USD, *Pattimura Proceeding: Conference of Science and Technology.* 431- 442.

Rusyana, A., Tatsara, N., Balqis, R., & Rahmi, S. 2020. Aplication of Clustering and VARIMA for Rainfall Prediction. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 796.

Sadorsky, P. 2021. Predicting Gold and Silver Price Direction Using Tree-Based Classifiers. *Journal of Risk and Financial Management*. **14**(198):1-21.

Sims, C. A. 1980. Macroeconomics and Reality. *Econometrica.* **48**(1), 1-48.

Sutthichaimethee, P. 2017. VARIMAX Model to Forecast the Emission of Carbon Dioxide from Energy Consumption in Rubber and Petroleum Industries Sectors in Thailand. *Journal of Ecological Engineering*. **18**(3): 112–17.

Suwandi, A. 2020. Prediksi Harga Emas Menggunakan Metode Single Moving Average. *Jurnal Ilmiah Teknoloi Harapan* (*JiTEKH*). **8**(1):1-5.

Tripathy, N. 2017. Forecasting Gold Price with Auto Regressive Integrated Moving Average Model. *International Journal of Economics and Financial Issue.* **7**(4):324-329.

Wei, W.W.S. 2006. *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods Second Edition*. Pearson Education. Boston.

Zahra, B., & Lazaar, M. 2019. Integration of Principal Component Analysis and Recurrent Neural Network to Forecast the Stock Price of Casablanca Stock Exchange. *Procedia Computer Science.* **148**: 55–61.

Zhang, G.P. 2003. Time Series Forecasting Using a Hybrid ARIMA and Neural Network Model. *Neurocomputing.* **50**: 159–175.