



**DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023**



ADELIA PUTRI PANGESTIKA

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



©Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Perbandingan Model GARCH Simetris dan Asimetris dalam Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan Tahun 2018-2023” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2023

Adelia Putri Pangestika
G14190001

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

ADELIA PUTRI PANGESTIKA. Perbandingan Model GARCH Simetris dan Asimetris dalam Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan Tahun 2018-2023. Dibimbing oleh YENNI ANGRAINI dan I MADE SUMERTAJAYA.

Metode peramalan deret waktu yang sering digunakan adalah metode ARIMA. Metode ARIMA yang menyertakan deret waktu lain sebagai peubah eksogen disebut metode ARIMAX. Metode ARIMAX mengasumsikan ragam sisiran homogen tetapi data dengan volatilitas yang tinggi dapat menyebabkan pelanggaran asumsi tersebut. Metode yang dapat digunakan adalah metode ARCH/GARCH tetapi metode ARCH/GARCH kurang baik dalam memodelkan volatilitas asimetris pada data. Metode lain yang dapat digunakan adalah metode GARCH asimetris seperti TGARCH. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan akurasi peramalan model simetris ARCH/GARCH dan asimetris TGARCH dalam peramalan data IHSG mingguan periode 1 Januari 2018 sampai 24 April 2023 dengan melibatkan pengaruh COVID-19 sebagai peubah kovariat serta menerapkan beberapa skenario validasi model pada data latih dan data uji. Berdasarkan model terbaik yang terpilih, dilakukan peramalan pada periode 1 Mei 2023 sampai 3 Juli 2023. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data pembukaan IHSG mingguan periode 1 Januari 2018 sampai 24 April 2023 dengan peubah kovariat berupa periode COVID-19. Model terbaik yang dihasilkan adalah model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) dengan pengaruh peubah COVID-19 yang signifikan dan rata rata nilai MAPE dari empat skenario data sebesar 3,158%. Peramalan dilakukan dengan hasil peramalan yang cenderung stabil dan selang kepercayaan yang cenderung melebar di setiap periode waktunya.

Kata kunci: ARCH, ARIMAX, GARCH, harga saham, TGARCH.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRACT

ADELIA PUTRI PANGESTIKA. Comparison of Symmetric and Asymmetric GARCH Models in Forecasting Jakarta Composite Index 2018-2023. Supervised by YENNI ANGRAINI and I MADE SUMERTAJAYA.

The time series forecasting method that often used is the ARIMA method. The ARIMA method which includes other time series as exogenous variables is called the ARIMAX method. The ARIMAX method assumes a homogeneous residual variance but data with high volatility can cause violations of this assumption. The method that can be used is the ARCH/GARCH method but the ARCH/GARCH method is not good at modeling asymmetric volatility in data. Another method that can be used is an asymmetric GARCH method such as TGARCH. The purpose of this study is to compare the accuracy of the symmetric ARCH/GARCH and asymmetric TGARCH models in forecasting weekly JCI data for the period January 1 2018 to April 24 2023 by involving the influence of COVID-19 as a covariate variable and applying several validation scenario models to training and testing data. Based on the best selected model, forecasting was carried out for the period May 1 2023 to July 3 2023. The data used in this study is weekly JCI opening data for the period January 1 2018 to April 24 2023 with the covariate variable being the COVID-19 period. The best model produced is the ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) model with a significant influence of COVID-19 variables and an average MAPE value of the four data scenarios of 3,158%. Forecasting is done with forecasting results that tend to be stable and confidence intervals that tend to widen in each time period.

Keywords: ARCH, ARIMAX, GARCH, stock prices, TGARCH.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2023¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



**DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023**

**PERBANDINGAN MODEL GARCH SIMETRIS DAN
ASIMETRIS DALAM PERAMALAN INDEKS HARGA
SAHAM GABUNGAN TAHUN 2018-2023**

ADELIA PUTRI PANGESTIKA

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Statistika dan Sains Data

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



IUP University

Tim Pengaji pada Ujian Skripsi:

Gerry Alfa Dito, S. Si., M. Si.

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Skripsi : Perbandingan Model GARCH Simetris dan Asimetris dalam Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan Tahun 2018-2023
Nama : Adelia Putri Pangestika
NIM : G14190001

Disetujui oleh



Pembimbing 1:

Dr. Yenni Angraini, S. Si., M. Si.



Pembimbing 2:

Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M. Si.

Diketahui oleh



Ketua Departemen Statistika:

Dr. Bagus Sartono, S. Si., M. Si.
NIP. 19780411 200501 1002

Tanggal Ujian:
4 Juli 2023

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



©Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2023 sampai bulan Juli 2023 ini ialah peramalan data deret waktu, dengan judul “Perbandingan Model GARCH Simetris dan Asimetris dalam Peramalan Indeks Harga Saham Gabungan Tahun 2018-2023”.

Terselesaikannya karya ilmiah ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Yenni Angraini, S.Si., M.Si. dan Bapak Dr. Ir. I Made Sumertajaya, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing, mendukung serta mengarahkan penulis selama penyusunan karya ilmiah ini;
2. Bapak Gerry Alfa Dito, S.Si., M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penulisan karya ilmiah ini;
3. dosen dan tenaga pendidik Departemen Statistika IPB yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat serta membantu kebutuhan administrasi penulis;
4. Ibu, Ayah dan Adik yang telah memberikan doa dan dukungannya kepada penulis;
5. sahabat-sahabat penulis yang telah memberikan motivasi dan semangat kepada penulis; dan
6. seluruh pihak terkait yang telah membantu penulis dalam menyusun karya ilmiah ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2023

Adelia Putri Pangestika



IPB University

@*Hak cipta milik IPB University*



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

x

DAFTAR GAMBAR

x

I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Tujuan	2
II	TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1	Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG)	3
2.2	Model Analisis Data Deret Waktu	3
2.3	Stasioneritas Data Deret Waktu	5
2.4	Diagnostik Model	6
2.5	Pengujian Efek Heteroskedastisitas	7
III	METODE	9
3.1	Data	9
3.2	Prosedur Analisis Data	9
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1	Eksplorasi Data	12
4.2	Model ARIMAX	12
4.3	Pengujian Efek Heteroskedastisitas	17
4.4	Model ARCH/GARCH	17
4.5	Model TGARCH	19
4.6	Validasi Model	21
4.7	Peramalan	22
V	SIMPULAN DAN SARAN	23
5.1	Simpulan	23
5.2	Saran	23
	DAFTAR PUSTAKA	24
	LAMPIRAN	28
	RIWAYAT HIDUP	30

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



1	Periode data latih dan data uji setiap skenario data	11
2	Estimasi parameter model ARIMA dan ARIMAX	15
	Hasil uji ARCH-LM	17
	Estimasi parameter model ARCH/GARCH	18
	Estimasi parameter model <i>overfitting</i> ARCH/GARCH	18
	Estimasi parameter model TGARCH	20
	Estimasi parameter model <i>overfitting</i>	21
	Nilai MAPE setiap skenario data	22

DAFTAR GAMBAR

1	Plot data deret waktu hasil imputasi	12
2	Plot deret waktu IHSG periode 1 Januari 2018 sampai 18 Juli 2022 (a) dan plot ACF (b) sebelum pembedaan	13
3	Plot deret waktu IHSG setelah pembedaan (a) dan plot ACF (b) setelah pembedaan	14
4	Plot PACF (a) dan EACF (b) data setelah pembedaan	14
5	Plot ACF sisaan ARIMAX(3,1,3)	16
6	Plot kuantil kuantil sisaan model ARIMAX(3,1,3)	16
7	Plot data deret waktu sisaan ARIMAX(3,1,3)	16
8	Nilai-p uji McLeod-Li	17
9	Histogram sisaan kuadrat	19
10	Hasil peramalan periode 1 Mei 2023 sampai 3 Juli 2023	22



1.1 Latar Belakang

Peramalan merupakan metode yang digunakan untuk memperkirakan nilai data di suatu periode berdasarkan nilai data di periode sebelumnya. Metode peramalan yang sering digunakan adalah metode *autoregressive integrated moving average* (ARIMA). Metode ARIMA yang menyertakan data deret waktu lain sebagai peubah eksogen disebut metode *autoregressive integrated moving average with exogenous variable* (ARIMAX). Sama halnya dengan metode peramalan deret waktu lainnya, metode ARIMAX mengasumsikan ragam sisaan yang homogen (homoskedastisitas). Namun demikian, data dengan volatilitas yang tinggi dapat menyebabkan keheterogenan ragam sisaan sehingga asumsi homoskedastisitas menjadi terlanggar (Hafizah *et al.* 2020). Untuk mengatasi hal tersebut dibutuhkan suatu metode yang dapat memodelkan keheterogenan ragam sisaan pada metode ARIMAX.

Metode *autoregressive conditional heteroskedasticity* (ARCH) yang diperkenalkan oleh Engle pada tahun 1982 memodelkan *conditional variance* sebagai fungsi dari *white noise* periode sebelumnya. Kelemahan dari metode ini adalah dibutuhkannya ordo yang besar untuk memperoleh model yang tepat. Pengembangan metode ARCH adalah metode *generalized autoregressive conditional heteroscedasticity* (GARCH) yang diperkenalkan oleh Bollerslev pada tahun 1986. Metode GARCH dapat mengatasi kelemahan metode ARCH dengan memodelkan *conditional variance* sebagai fungsi dari *white noise* periode sebelumnya dan *conditional variance* periode sebelumnya (Nugroho *et al.* 2019). Namun demikian, menurut Huang dan Petukhina (2022), metode GARCH standar tidak cukup baik dalam memodelkan kecenderungan volatilitas asimetris dimana gejolak positif (*good news*) berpengaruh berbeda dengan gejolak negatif (*bad news*). Metode lain yang dapat digunakan adalah metode GARCH asimetris seperti *threshold GARCH* (TGARCH).

Salah satu data dengan kecenderungan volatilitas yang tinggi dijumpai pada data finansial seperti Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG). IHSG merupakan indeks penting yang mengukur kinerja gabungan seluruh saham yang tercatat di Bursa Efek Indonesia (BEI). IHSG sangat diperhatikan oleh para investor untuk menentukan transaksi jual beli investasi di pasar modal. Pergerakan IHSG menggambarkan pergerakan seluruh saham di BEI sehingga peningkatan IHSG akan menunjukkan peningkatan rata-rata saham yang ada di BEI (Sitohang 2021). Peningkatan IHSG akan dimanfaatkan oleh para investor untuk mendapatkan keuntungan dengan berinvestasi (Purnama *et al.* 2021). Untuk memaksimalkan investasi, para investor harus mampu menganalisis kondisi ekonomi yang sedang terjadi dan pengaruhnya terhadap saham yang diinvestasikan. Oleh karena itu, dibutuhkan metode peramalan yang tepat untuk membantu para investor dalam melakukan perencanaan, baik dalam jangka pendek, jangka menengah, maupun jangka panjang.

Kasuma dan Nugroho (2020) meramalkan data IHSG harian periode 2 Maret 2020 sampai dengan 5 Agustus 2020 menggunakan metode ARCH/GARCH. Model terbaik yang diperoleh adalah ARMA(1,1)-ARCH(1) dengan nilai MAPE (*mean absolute percentage error*) sebesar 19%. Di sisi lain, Saida *et al.* (2016)



meramalkan data *return* IHSG harian periode 2 Januari 2013 sampai 30 Oktober 2015 menggunakan metode TGARCH. Model terbaik yang diperoleh adalah ARMA(3,26)-TGARCH(1,1) dengan nilai MAPE sebesar 7,17%. Kedua penelitian tersebut memiliki akurasi peramalan yang baik dengan nilai MAPE yang kurang dari 20%, sehingga menarik untuk meneliti bagaimana perbandingan akurasi peramalan kedua model. Kedua model dalam penelitian tersebut juga menggunakan model rataan ARMA yang kurang baik dalam mempertimbangkan pengaruh COVID-19 terhadap pergerakan IHSG. Pada kenyataannya, menurut Haryanto (2020), COVID-19 memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pergerakan IHSG. Dengan demikian, peramalan data IHSG yang melibatkan periode COVID-19 seharusnya perlu mempertimbangkan pengaruh COVID-19 dalam pemodelannya.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan akurasi peramalan model simetris ARCH/GARCH dan asimetris TGARCH dalam peramalan data IHSG mingguan periode 1 Januari 2018 sampai 24 April 2023 dengan melibatkan pengaruh COVID-19 sebagai peubah kovariat ke dalam model rataan serta menerapkan beberapa skenario validasi model pada data latih dan data uji. Berdasarkan model terbaik antara ARCH/GARCH dan TGARCH, nantinya akan dilakukan peramalan data IHSG pada periode 1 Mei 2023 sampai 3 Juli 2023.



II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG)

IHSG merupakan suatu indikator yang dapat dijadikan sebagai gambaran perubahan harga saham pada kurun waktu tertentu (Hartantio dan Yusbardini 2020). IHSG memiliki dua fungsi utama bagi para investor yaitu sebagai representasi perkembangan harga saham secara umum dan sebagai acuan untuk portofolio. Pergerakan IHSG dipengaruhi oleh berbagai faktor, diantaranya faktor internal (lingkungan mikro) dan faktor eksternal (lingkungan makro). Menurut Devi (2021), faktor internal yang mempengaruhi pergerakan IHSG meliputi pengumuman pendanaan, penggantian direksi dan manajemen organisasi, pengambilalihan dan pengumuman investasi serta pengumuman laporan keuangan perusahaan. Sementara itu, faktor eksternal yang dapat mempengaruhi pergerakan IHSG meliputi inflasi, fluktuasi nilai tukar, gejolak politik dan pengumuman industri sekuritas.

Perhitungan IHSG melibatkan seluruh emiten di BEI sebagai komponen perhitungan indeks. Hari dasar yang disepakati dalam perhitungan indeks adalah tanggal 10 Agustus 1982 dengan nilai 100 (Dewi 2020). Jumlah emiten yang tercatat pada waktu tersebut adalah 13 emiten. Namun demikian, jumlah emiten dapat bertambah dan berkurang seiring berjalannya waktu. Dalam hal ini, BEI berhak memasukkan dan mengeluarkan emiten yang tercatat agar dapat menunjukkan keadaan pasar modal yang wajar (Sriwijaya 2019).

2.2 Model Analisis Data Deret Waktu

2.2.1 Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

Model ARIMA merupakan model yang dikembangkan oleh George Box dan Gwilym Jenkins pada tahun 1970. Model ini memodelkan data suatu periode sebagai fungsi dari data periode sebelumnya dan *white noise* periode sebelumnya (Yunita 2019). Model ARIMA menggabungkan komponen *autoregressive* (AR), *moving average* (MA) dan pembedaan untuk menghasilkan peramalan yang akurat. Meskipun demikian, menurut Susanti dan Adji (2020), model ini hanya efektif untuk melakukan peramalan jangka pendek. Tahapan pemodelan ARIMA secara umum terdiri atas tiga tahap yaitu identifikasi model, estimasi parameter dan pemeriksaan diagnostik sisaan Putri *et al.* (2021). Formulasi model ARIMA menurut Woodward *et al.* (2022) tertera pada persamaan (1).

$$\phi(B)(1 - B)^d Y_t = \theta(B)e_t \quad (1)$$

Keterangan:

- ϕ : parameter *autoregressive*
- B : operator *backshift*
- $(1 - B)^d$: proses pembedaan
- Y_t : data periode ke t
- θ : parameter *moving average*
- e_t : *white noise*



2.2.2 Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variable (ARIMAX)

Model ARIMAX merupakan model yang dikembangkan oleh Box dan Tiao pada tahun 1975. Model ini merupakan perluasan dari model ARIMA yang menambahkan peubah eksogen sebagai kovariat (Braz *et al.* 2023). Model ARIMAX tidak hanya mampu mempertimbangkan pengaruh nilai pengamatan pada periode tertentu tetapi juga mampu mempertimbangkan pengaruh peubah eksogen terhadap peubah yang diramalkan (Andreas *et al.* 2021). Peubah eksogen yang ditambahkan biasanya merupakan peubah *dummy* berupa variasi kalender. Peubah ini ditambahkan untuk meningkatkan akurasi pada peramalan data (Chen *et al.* 2022). Formulasi model ARIMAX disajikan pada persamaan (2).

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j e_{t-j} + \sum_{m=1}^n \beta_m X_{t-m} \quad (2)$$

Keterangan:

- ϕ : parameter *autoregressive*
- Y_{t-i} : data period ke $t - i$
- p : ordo *autoregressive*
- θ : parameter *moving average*
- e_{t-j} : *white noise* periode ke $t - j$
- q : ordo *moving average*
- β_m : parameter peubah eksogen ke m
- X_{t-m} : peubah eksogen ke $t - m$
- n : jumlah peubah eksogen

2.2.3 Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (ARCH)

Model ARCH merupakan model yang dikembangkan oleh Eagle pada tahun 1982. Model ini merupakan model yang dapat mengatasi pelanggaran asumsi homoskedastisitas pada model rataan. Model ARCH memodelkan *conditional variance* sebagai fungsi dari *white noise* kuadrat periode sebelumnya (Raheem *et al.* 2020). Formulasi model ARCH menurut Shumway dan Stoffer (2006) tercantum pada persamaan (3).

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i e_{t-i}^2 \quad (3)$$

Keterangan:

- σ_t^2 : *conditional variance* periode ke t
- ω : konstanta
- α : parameter ARCH
- e_{t-i} : *white noise* periode ke $t - i$
- p : ordo ARCH

2.2.4 Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (GARCH)

Model GARCH dikembangkan oleh Bollerslev pada tahun 1986. Model ini merupakan pengembangan dari model ARCH yang memodelkan *conditional variance* sebagai fungsi dari *white noise* kuadrat periode sebelumnya dan *conditional variance* periode sebelumnya (Haris dan Arum 2020). Model GARCH lebih efektif dalam mengatasi heteroskedastisitas jika *lag* yang terbentuk besar. Formulasi model GARCH menurut Shumway dan Stoffer (2006) tertera pada persamaan (4).

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i e_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (4)$$

Keterangan:

- ω : konstanta
- α : parameter ARCH
- e_{t-i} : *white noise* periode ke $t - i$
- β : parameter GARCH
- σ_{t-j}^2 : *conditional variance* periode ke $t - j$
- p, q : ordo TGARCH

2.2.5 Threshold Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (TGARCH)

Model TGARCH diperkenalkan oleh Glosten, Jagannathan, dan Runkle pada tahun 1993 serta Zakoian pada tahun 1994. Model TGARCH merupakan perluasan dari model GARCH yang menggunakan peubah *dummy* untuk memodelkan kemungkinan adanya efek asimetris pada data (Ridha dan Wibowo 2020). Formulasi model TGARCH menurut Huang dan Petukhina (2022) tertera pada persamaan (5).

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i e_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \gamma_j e_{t-j}^2 I_{[e_{t-j} < 0]} + \sum_{k=1}^q \beta_k \sigma_{t-k}^2 \quad (5)$$

Keterangan:

- ω : konstanta
- α : parameter ARCH
- e_{t-i} : *white noise* periode ke $t - i$
- γ : parameter asimetris
- β : parameter GARCH
- σ_{t-k}^2 : *conditional variance* periode ke $t - k$
- p, q : ordo TGARCH
- $I_{[e_{t-j} < 0]}$: peubah *dummy* yang bernilai nol ketika $e_{t-j} \geq 0$ dan bernilai satu ketika $e_{t-j} \leq 0$

2.3 Stasioneritas Data Deret Waktu

Data deret waktu dikatakan stasioner apabila fluktuasi data berada pada suatu nilai rata-rata yang konstan (Deviana *et al.* 2021). Data yang stasioner lebih mudah



untuk diramalkan dibandingkan dengan data yang tidak stasioner. Pemeriksaan kestasioneran data dapat dilakukan baik secara eksploratif maupun dengan uji formal. Secara eksploratif pemeriksaan kestasioneran data dilakukan dengan melihat plot data deret waktu dan plot *autocorrelation function* (ACF). Data yang tidak stasioner akan menunjukkan adanya tren pada plot data deret waktu dan menunjukkan penurunan secara eksponensial pada plot ACF (Aktivani 2021). Pemeriksaan kestasioneran data dengan uji formal dapat dilakukan dengan uji *Augmented Dickey Fuller* (ADF). Uji ADF memiliki hipotesis nol berupa data tidak stasioner dan hipotesis tandingan berupa data stasioner. Statistik uji yang digunakan dalam uji ADF menurut Cryer dan Chan (2008) adalah uji *t* yang menguji signifikansi parameter α pada persamaan (6).

$$Y_t - Y_{t-1} = \alpha Y_{t-1} + \phi_1(Y_{t-1} - Y_{t-2}) + \cdots + \phi_k(Y_{t-k} - Y_{t-k-1}) + e_t \quad (6)$$

dimana Y_t merupakan data periode ke t , α dan ϕ merupakan koefisien parameter regresi dan e_t merupakan sisaan model regresi.

2.4 Diagnostik Model

Diagnostik model dilakukan pada sisaan model tentatif terbaik. Asumsi yang diuji meliputi kebebasan sisaan, keheterogenan ragam sisaan dan kenormalan sisaan. Diagnostik model dapat dilakukan baik secara eksploratif maupun dengan uji formal. Pemeriksaan asumsi kebebasan sisaan secara eksploratif dilakukan menggunakan plot ACF sisaan. Sisaan model dikatakan memenuhi asumsi kebebasan sisaan apabila tidak terdapat autokorelasi yang signifikan pada plot ACF (Moffat dan Akpan 2019). Pemeriksaan asumsi kebebasan sisaan dengan uji formal dilakukan menggunakan uji Ljung-Box dari sisaan. Hipotesis nol uji ini adalah sisaan saling bebas sementara hipotesis tandingannya adalah sisaan tidak saling bebas. Statistik uji yang digunakan menurut Mills (2019) tertera pada persamaan (7).

$$Q_H = T(T+2) \sum_{i=1}^K \frac{r_i^2}{(T-i)} \quad (7)$$

dimana T merupakan panjang sisaan, K merupakan *lag* maksimum dan r_i^2 merupakan autokorelasi sisaan ke i . Hipotesis nol akan ditolak pada taraf nyata α jika $Q_H > X_{\alpha, K}^2$.

Pemeriksaan asumsi kehomogenan ragam sisaan secara eksploratif dilakukan dengan melihat plot sisaan model. Sisaan model dikatakan memenuhi asumsi kehomogenan ragam sisaan jika lebar pita pada plot data deret waktu dari sisaan model sama untuk setiap periode waktunya. Pemeriksaan asumsi kehomogenan ragam dengan uji formal dilakukan menggunakan uji Ljung-Box dari sisaan kuadrat. Hipotesis nol dari uji ini adalah ragam sisaan homogen sementara hipotesis tandingannya adalah ragam sisaan tidak homogen.

Pemeriksaan asumsi kenormalan sisaan secara eksploratif dilakukan menggunakan plot kuantil kuantil. Sisaan model dikatakan menyebar normal apabila titik pada plot kuantil kuantil cenderung mengikuti garis kenormalan (Li *et al.* 2022). Sementara itu, pemeriksaan asumsi kenormalan sisaan menggunakan uji

formal dapat dilakukan dengan uji Shapiro wilk. Hipotesis nol uji ini adalah sisaan menyebar normal sedangkan hipotesis tandingannya adalah sisaan tidak menyebar normal. Statistik uji yang digunakan menurut Shapiro dan Wilk (1965) disajikan pada persamaan (8).

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n \alpha_i Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (8)$$

dimana:

$$\boldsymbol{\alpha}' = (\alpha_1, \dots, \alpha_n) = \frac{\mathbf{m}' \mathbf{V}^{-1}}{(\mathbf{m}' \mathbf{V}^{-1} \mathbf{V}^{-1} \mathbf{m})^{\frac{1}{2}}}$$

dalam hal ini, Y_i merupakan data urutan ke i , \bar{Y} merupakan nilai rata rata, \mathbf{m} merupakan vektor nilai harapan normal baku yang terurut dan \mathbf{V} merupakan matriks koragam

2.5 Pengujian Efek Heteroskedastisitas

2.5.1 Uji ARCH-Lagrange Multiplier (LM)

Uji ARCH-LM dilakukan untuk melihat apakah terdapat efek heteroskedastisitas pada model. Pada uji ini, *conditional variance* bukan hanya fungsi dari peubah independen tetapi juga bergantung pada *white noise* kuadrat dari periode sebelumnya (Dewi dan Sutarman 2022). Jika terdapat efek heteroskedastisitas pada data maka perlu dilakukan pemodelan pada *conditional variance*, sebaliknya jika tidak terdapat efek heteroskedastisitas pada data maka model rataan sudah cukup untuk melakukan perediksi. Hipotesis nol uji ini adalah sisaan model tidak mengandung efek ARCH, sedangkan hipotesis tandingannya adalah sisaan model mengandung efek ARCH. Statistik uji yang digunakan menurut Engle (1982) disajikan pada persamaan (9).

$$LM = TR^2 \quad (9)$$

dimana T merupakan panjang sisaan dan R^2 merupakan koefisien determinasi dari regresi antara sisaan kuadrat suatu periode dengan sisaan kuadrat periode sebelumnya. Hipotesis nol akan ditolak pada taraf nyata α jika $LM > X_{\alpha, K}^2$ dimana K merupakan lag maksimum.

2.5.2 Uji McLeod-Li

Uji McLeod-Li merupakan uji yang dikembangkan oleh McLeod dan Li pada tahun 1986. Uji ini juga menjadi uji yang dilakukan untuk melihat apakah terhadap efek heteroskedastisitas pada model (Yarovaya *et al.* 2021). Hipotesis nol uji ini adalah sisaan tidak memiliki efek heteroskedastisitas dan hipotesis tandingannya adalah sisaan memiliki efek heteroskedastisitas. Menurut McLeod dan Li (1983), statistik uji yang digunakan tertera pada persamaan (10).

$$Q_a = T(T + 2) \sum_{i=1}^K \frac{r_i^2}{(T - i)} \quad (10)$$



dimana T merupakan panjang sisaan, K merupakan *lag* maksimum dan r_i^2 merupakan autokorelasi sisaan kuadrat ke i . Hipotesis nol akan ditolak pada taraf nyata α jika $Q_\alpha > X_{\alpha,K}^2$.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



3.1 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data harga pembukaan (*opening price*) IHSG yang bersumber dari <https://finance.yahoo.com>. Data ini merupakan data mingguan periode 1 Januari 2018 sampai 24 April 2023. Penelitian ini juga menggunakan peubah kovariat berupa peubah *dummy* periode COVID-19 yang bernilai satu untuk masa COVID-19 dan bernilai nol untuk lainnya. Masa COVID-19 dalam penelitian ini diasumsikan berada pada rentang 1 Januari 2020 sampai 10 Oktober 2021.

3.2 Prosedur Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak R dengan tahapan sebagai berikut.

1. Melakukan imputasi data untuk mengisi data yang hilang pada periode waktu tertentu. Metode imputasi data yang digunakan adalah interpolasi linear. Interpolasi linear mengisi data hilang dengan membuat garis yang menghubungkan dua titik data yang tersedia (Lepot *et al.* 2017). Interpolasi linear menurut (Chapra 2012) dapat diinformulasikan dalam persamaan (11).

$$Y_t = \frac{Y_B - Y_A}{b - a} (t - a) + Y_A \quad (11)$$

Keterangan :

- Y_t : data hilang pada periode ke t yang akan diimputasi
- Y_A : nilai data satu periode sebelum data hilang
- Y_B : nilai data satu periode setelah data hilang
- a : periode waktu sebelum data hilang
- b : periode waktu setelah data hilang
- t : periode waktu dari data hilang

2. Melakukan eksplorasi data menggunakan plot data deret waktu untuk mengetahui pola dan karakteristik data.
3. Menggunakan data periode 1 Januari 2018 sampai 18 Juli 2022 sebagai data latih berdasarkan pola data.
4. Melakukan pemodelan ARIMAX:
 - a. Melakukan uji stasioneritas data baik secara eksploratif maupun dengan uji formal. Pengujian stasioneritas data secara eksploratif dilakukan menggunakan plot data deret waktu dan plot ACF. Pengujian stasioneritas data dengan uji formal dilakukan menggunakan uji ADF.
 - b. Melakukan pembedaan apabila data belum stasioner.
 - c. Melakukan identifikasi model ARIMA berdasarkan plot ACF, *partial autocorrelation function* (PACF) dan *extended autocorrelation function* (EACF).
 - d. Melakukan estimasi parameter model ARIMA menggunakan metode kemungkinan maksimum.



- e. Memilih kandidat model ARIMA terbaik dengan keseluruhan parameter yang signifikan dan nilai *Akaike's information criterion* (AIC) yang terkecil. Formulasi nilai AIC menurut Montgomery *et al.* (2015) disajikan pada persamaan (12).

$$AIC = \ln \left(\frac{\sum_{t=1}^T e_t^2}{T} \right) + \frac{2P}{T} \quad (12)$$

Keterangan :

$\sum_{t=1}^T e_t^2$: jumlah kuadrat sisaan
 T : banyak amatan
 P : banyaknya parameter

- f. Memasukkan peubah *dummy* periode COVID-19 sebagai peubah eksogen ke dalam model ARIMA.
- g. Melakukan uji diagnostik model.
- h. Melakukan *overfitting* pada kandidat model ARIMAX terbaik dengan keseluruhan parameter yang signifikan dan uji diagnostik model yang memenuhi asumsi. *Overfitting* adalah penambahan ordo terhadap model yang digunakan untuk melihat apakah terdapat model yang lebih baik (Moffat dan Akpan 2019).
- i. Memilih model ARIMAX terbaik dengan keseluruhan parameter yang signifikan, nilai AIC yang terkecil dan hasil uji diagnostik model yang memenuhi asumsi.
5. Melakukan pengujian efek heteroskedastisitas pada sisaan model ARIMAX menggunakan uji ARCH-Lagrange Multiplier (LM) dan uji McLeod-Li.
6. Melakukan pemodelan ARCH/GARCH dan TGARCH. Tahapan pemodelan ARCH/GARCH serta TGARCH adalah sebagai berikut.
- a. Melakukan identifikasi model.
 - b. Melakukan estimasi parameter model menggunakan metode kemungkinan maksimum dan memilih model terbaik dengan keseluruhan parameter yang signifikan, hasil uji ARCH-LM yang tidak signifikan dan nilai AIC yang terkecil.
 - c. Melakukan uji diagnostik model.
 - d. Melakukan *overfitting* pada kandidat model terbaik.
 - e. Memilih model terbaik dengan keseluruhan parameter yang signifikan, hasil uji ARCH-LM yang tidak signifikan, nilai AIC yang terkecil dan hasil uji diagnostik model yang memenuhi asumsi.
7. Melakukan validasi model ARCH/GARCH dan TGARCH terbaik menggunakan empat skenario data latih dan data uji. Periode data latih dan data uji setiap skenario data ditunjukkan pada Tabel 1. Akurasi peramalan model ARCH/GARCH dan TGARCH pada setiap skenario dihitung menggunakan nilai MAPE. Model terbaik adalah model dengan rata-rata nilai MAPE yang terkecil. Formulasi nilai MAPE menurut Montgomery *et al.* (2015) tertera pada persamaan (13).

$$MAPE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t} \times 100 \right) \quad (13)$$

dimana Y_t merupakan nilai actual, \hat{Y}_t merupakan nilai dugaan dan T merupakan banyaknya data.

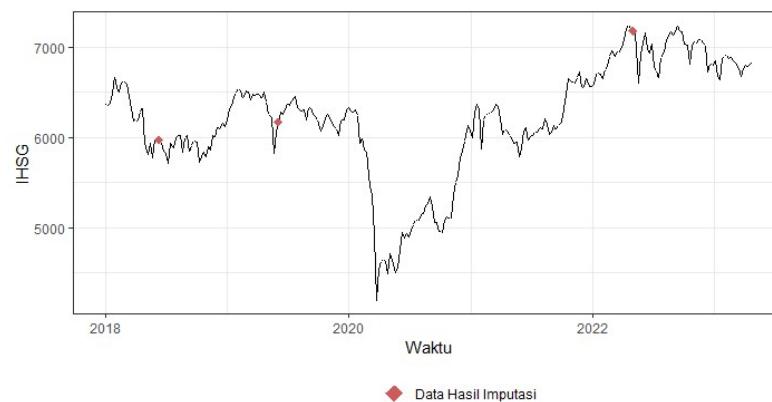
Tabel 1 Periode data latih dan data uji setiap skenario data

Skenario	Data latih	Data uji
1	1 Jan 2018-18 Jul 2022	25 Jul 2022-26 Sept 2022
2	1 Jan 2018-26 Sept 2022	3 Okt 2022-5 Des 2022
3	1 Jan 2018-5 Des 2022	12 Des 2022-13 Feb 2023
4	1 Jan 2018-13 Feb 2023	20 Feb 2023-24 Mar 2023

8. Melakukan peramalan pada rentang 1 Mei 2023 sampai 3 Juli 2023 menggunakan model terbaik yang didapatkan.

4.1 Eksplorasi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data IHSG mingguan periode 1 Januari 2018 sampai 24 April 2023. Meskipun data yang digunakan merupakan data mingguan, terdapat tiga data hilang pada periode ini yaitu pada tanggal 11 Juni 2018, 3 Juni 2019 dan 2 Mei 2022. Hal ini terjadi karena adanya periode libur panjang bertepatan dengan hari raya Idul Fitri. Data hilang ini selanjutnya ditangani dengan imputasi data menggunakan metode interpolasi linear. Hasil imputasi data terlihat pada Gambar 1 dengan ditandai simbol berwarna merah.



Gambar 1 Plot data deret waktu hasil imputasi

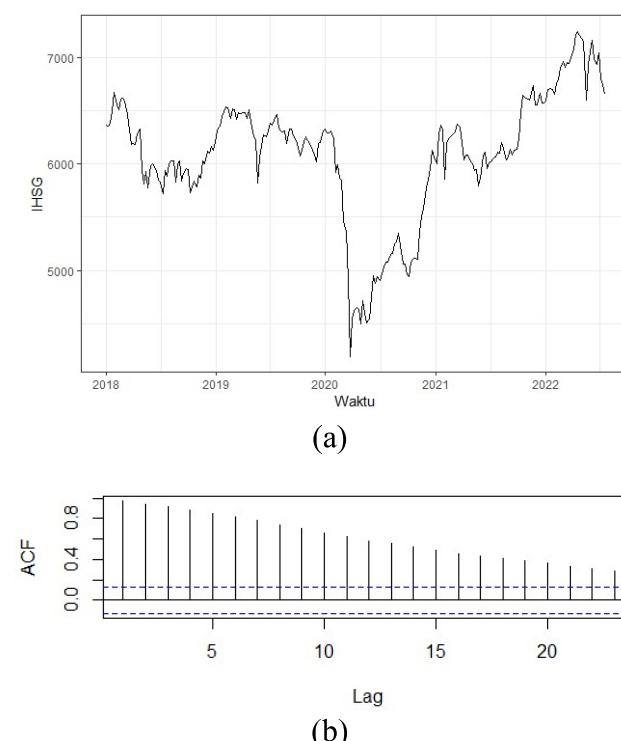
Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa IHSG cenderung berfluktuatif selama tahun 2018. Hal ini dipengaruhi oleh konflik dagang berkelanjutan antara Amerika Serikat dan Tiongkok (HSBC 2018). IHSG cenderung menurun pada kuartal pertama tahun 2018 lalu cenderung stabil pada kuartal kedua hingga menjelang akhir tahun 2018. Pada akhir tahun 2018, IHSG mulai mengalami kenaikan sejalan dengan hasil rapat Dewan Gubernur Bank Indonesia yang menaikkan BI 7-Day Reverse Repo Rate (Mahendra dan Rasmini 2019).

Selama tahun 2019, IHSG cenderung memiliki tren yang menurun yang tidak curam. IHSG lalu memiliki tren menurun yang curam pada awal tahun 2020 sebagai dampak adanya pandemi COVID-19. Meskipun demikian, IHSG mulai mengalami kenaikan pada triwulan kedua tahun 2020 sejalan dengan dilakukannya uji coba obat Remdesivir dan penelitian terkait vaksin COVID-19 yang memberikan rasa optimis bagi pelaku pasar bahwa kondisi ekonomi akan berangsur normal (Sitohang 2021). Kenaikan ini terus berlangsung hingga awal tahun 2021, namun kembali mengalami penurunan sejalan dengan kembali meningkatnya kasus COVID-19 di Indonesia (Riyanto *et al.* 2022). IHSG kemudian memiliki tren naik pada pertengahan hingga akhir tahun 2021 dan cenderung stabil di tahun 2022 hingga awal tahun 2023.

4.2 Model ARIMAX

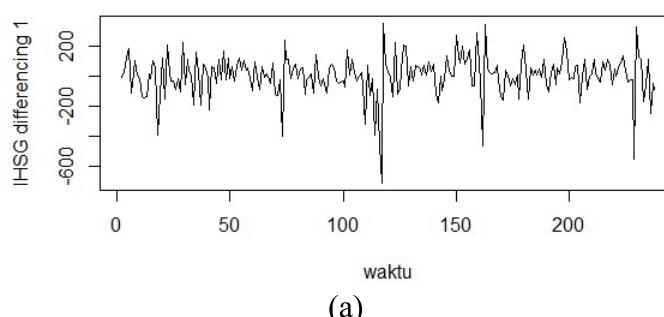
Pemodelan ARIMAX diawali dengan melakukan pemeriksaan kestasioneran data. Pemeriksaan kestasioneran data secara eksploratif dilakukan dengan melihat plot data deret waktu dan plot ACF. Berdasarkan plot data deret waktu pada Gambar

2(a), terlihat bahwa data tidak stasioner karena plot data deret waktu masih menunjukkan tren yang naik dan turun. Hal ini didukung oleh plot ACF pada Gambar 2(b) yang menurun secara eksponensial. Pengujian kestasioneran data menggunakan uji ADF juga memperkuat kesimpulan tersebut karena memiliki nilai-p sebesar 0,564 yang lebih besar dari taraf nyata 5%.

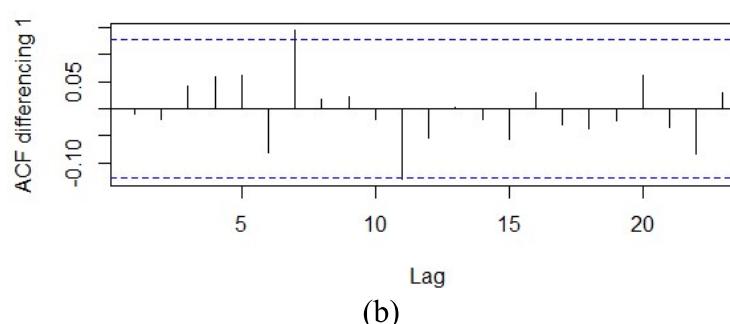


Gambar 2 Plot deret waktu IHSG periode 1 Januari 2018 sampai 18 Juli 2022 (a) dan plot ACF (b) sebelum pembedaan

Ketidakstasioneran data harus ditangani karena pemodelan ARIMAX mensyaratkan data yang stasioner (Kumari *et al.* 2019). Ketidakstasioneran data ditangani dengan melakukan pembedaan sebanyak satu kali ($d=1$). Setelah dilakukan pembedaan sebanyak satu kali, terlihat bahwa data IHSG sudah stasioner dalam rataan ditandai dengan plot data deret waktu pada Gambar 3(a) yang cenderung bergerak di suatu nilai tengah tertentu. Hasil ini didukung oleh plot ACF pada Gambar 3(b) yang terpotong setelah *lag* ke tujuh. Kestasioneran data juga diperkuat menggunakan uji ADF dengan kesimpulan yang sama yaitu data sudah stasioner dalam rataan karena memiliki nilai-p sebesar 0,01 yang kurang dari taraf nyata 5%.



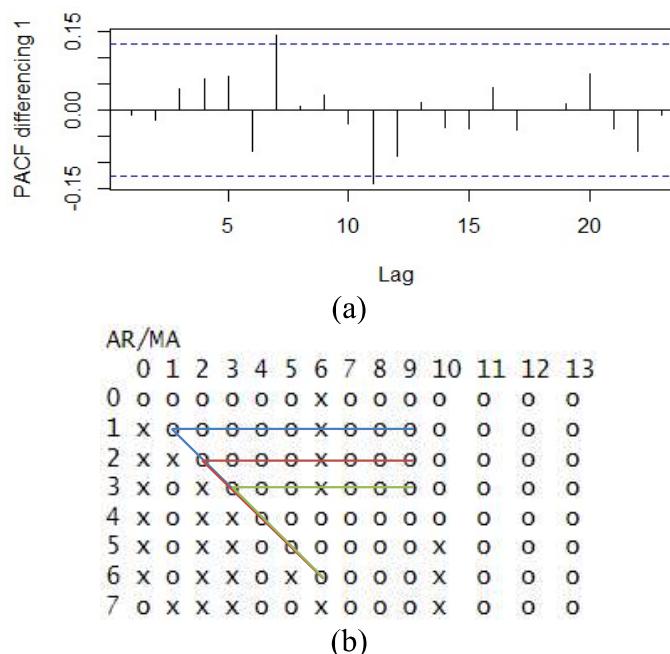
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



(b)

Gambar 3 Plot deret waktu IHSG setelah pembedaan (a) dan plot ACF
 (b) setelah pembedaan

Identifikasi model ARIMA pada data yang sudah stasioner dilakukan dengan melihat plot ACF, PACF dan EACF. Berdasarkan plot ACF pada Gambar 3(b) dan plot PACF pada Gambar 4(a), terlihat bahwa tidak terdapat *cuts off* maupun *tails off* pada kedua plot tersebut sehingga sulit untuk menentukan model tentatifnya. Identifikasi model ARIMA selanjutnya ditentukan berdasarkan plot EACF dengan melihat pola segitiga nol. Menurut Cryer dan Chan (2008), ujung segitiga lancip pada pola segitiga nol akan bersesuaian dengan ordo model tentatif ARIMA. Sebagai contoh, garis berwarna biru pada Gambar 4(b) terletak pada baris $p = 1$ dan $q = 1$ sehingga model tentatif yang terbentuk adalah ARIMA(1,1,1). Model tentatif lainnya yang terbentuk dari plot EACF adalah ARIMA(2,1,2) dan ARIMA(3,1,3).



Gambar 4 Plot PACF (a) dan EACF (b) data setelah pembedaan

Estimasi parameter model tentatif ARIMA terlihat pada Tabel 2. Model ARIMA(3,1,3) merupakan model dengan keseluruhan parameter yang signifikan dan nilai AIC yang terkecil. Model ini selanjutnya dipilih sebagai kandidat model ARIMA terbaik yang akan dilanjutkan ke pemodelan ARIMAX. Pemodelan

ARIMAX dilakukan dengan menambahkan peubah *dummy* periode COVID-19 sebagai peubah kovariat pada model ARIMA(3,1,3).

Tabel 2 Estimasi parameter model ARIMA dan ARIMAX

Model	Parameter	Koefisien	Nilai-p	AIC
ARIMA(1,1,1)	AR(1)	-0,004	0,999	2998,72
	MA(1)	-0,005	0,999	
ARIMA(2,1,2)	AR(1)	-0,010	0,363	2997,77
	AR(2)	-0,996	0,000*	
	MA(1)	0,026	0,142	
	MA(2)	0,999	0,000*	
ARIMA(3,1,3)	AR(1)	0,919	0,000*	2996,29
	AR(2)	0,866	0,000*	
	AR(3)	-0,930	0,000*	
	MA(1)	-0,896	0,000*	
	MA(2)	-0,913	0,000*	
	MA(3)	0,982	0,000*	
ARIMAX(3,1,3)	AR(1)	0,697	0,000*	2993,5
	AR(2)	0,731	0,000*	
	AR(3)	-0,856	0,000*	
	MA(1)	-0,755	0,000*	
	MA(2)	-0,755	0,000*	
	MA(3)	0,999	0,000*	
<i>dummy</i>		-122,846	0,133	

*parameter signifikan pada taraf nyata 5%

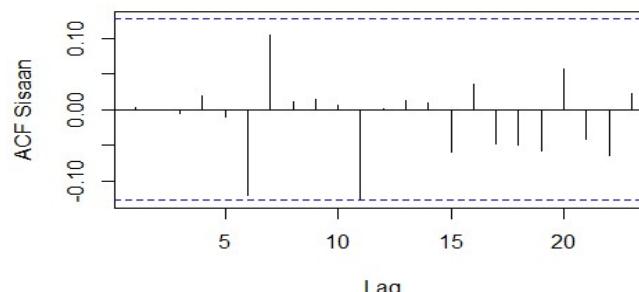
Estimasi model ARIMAX(3,1,3) pada Tabel 2 menunjukkan bahwa model ARIMAX(3,1,3) memiliki keseluruhan parameter yang signifikan kecuali pada peubah *dummy*. Hal ini serupa dengan penelitian Putera (2020) yang menggunakan peubah *dummy* berupa variasi kalender yang berkaitan dengan Idul Fitri. (Putera 2020) tetap memasukkan peubah *dummy* yang tidak signifikan ke dalam model untuk menambah akurasi peramalan. Hal tersebut sejalan dengan Vukovic dan Zinurova (2020) yang menyatakan bahwa meskipun tidak signifikan, penambahan peubah kovariat ke dalam model akan menambah ukuran kebaikan model. Penambahan peubah *dummy* membentuk model ARIMAX(3,1,3) terbukti menghasilkan nilai AIC yang lebih rendah dari model ARIMA(3,1,3) sehingga dalam penelitian ini peubah *dummy* yang tidak signifikan juga akan dimasukkan ke dalam model.

Uji diagnostik model dilakukan pada sisaan model ARIMAX(3,1,3), baik secara eksploratif maupun dengan uji formal. Secara eksploratif, plot ACF sisaan pada Gambar 5 menunjukkan tidak terdapat autokorelasi yang signifikan pada 20 *lag* pertama. Hal ini mengindikasikan terpenuhinya asumsi kebebasan sisaan pada model ARIMAX(3,1,3). Hasil ini juga didukung oleh pengujian secara formal menggunakan uji Ljung-Box dengan nilai-p sebesar 0,970 yang lebih besar dari taraf nyata 5%.



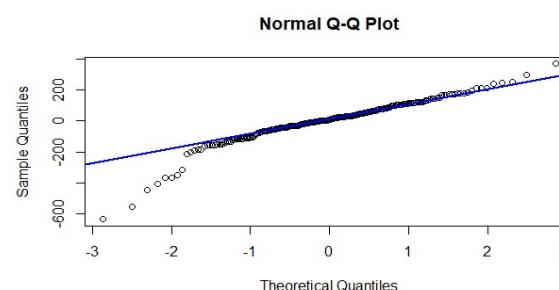
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.



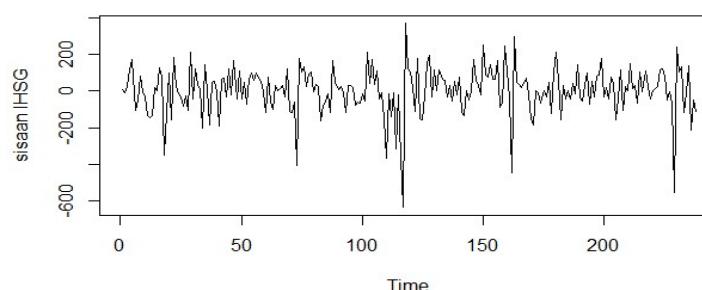
Gambar 5 Plot ACF sisaan ARIMAX(3,1,3)

Uji normalitas sisaan secara eksploratif dilakukan menggunakan plot kuartil kuartil. Berdasarkan plot kuartil kuartil pada Gambar 6, terlihat bahwa titik pada plot cenderung tidak mengikuti garis kenormalan. Hal ini mengindikasikan adanya pelanggaran asumsi normalitas sisaan pada model ARIMAX(3,1,3). Indikasi ini selanjutnya didukung oleh hasil pengujian secara formal menggunakan uji Shapiro Wilk dengan nilai-p sebesar 0,000 yang kurang dari taraf nyata 5%. Meskipun demikian, pelanggaran asumsi ini tidak menjadi masalah karena data yang digunakan cenderung besar (Schaffer *et al.* 2021).



Gambar 6 Plot kuartil kuartil sisaan model ARIMAX(3,1,3)

Selanjutnya, uji keheterogenan ragam sisaan dilakukan secara eksploratif menggunakan plot sisaan ARIMAX(3,1,3). Berdasarkan plot sisaan yang tertera pada Gambar 7, terlihat bahwa sisaan ARIMAX(3,1,3) cenderung tidak homogen karena tidak memiliki lebar pita yang sama di beberapa periode waktu. Hasil ini didukung oleh pengujian secara formal menggunakan uji Ljung-Box dengan nilai-p sebesar 0,000 yang lebih besar dari taraf nyata 5%.



Gambar 7 Plot data deret waktu sisaan ARIMAX(3,1,3)

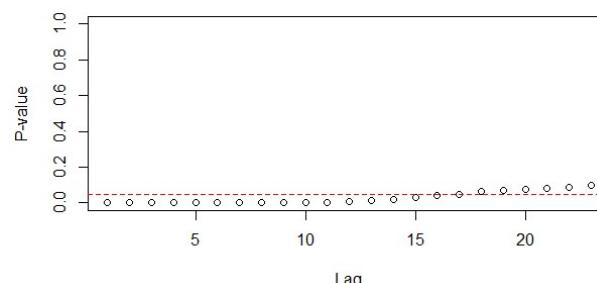
4.3 Pengujian Efek Heteroskedastisitas

Pengujian efek heteroskedastisitas dilakukan pada sisaan model ARIMAX(3,1,3) yang terindikasi melanggar asumsi homoskedastisitas. Pengujian ini dilakukan menggunakan uji ARCH-LM dan uji McLeod-Li. Berdasarkan uji ARCH-LM pada Tabel 3, terlihat bahwa nilai-p uji ARCH-LM signifikan hingga *lag* ke 14. Hal ini menunjukkan adanya efek heteroskedastisitas pada sisaan model ARIMAX(3,1,3). Hasil uji McLeod-Li pada Gambar 8 juga memperkuat kesimpulan tersebut karena memiliki nilai-p yang signifikan hingga *lag* ke 15. Efek heteroskedastisitas pada sisaan model ARIMAX(3,1,3) menunjukkan perlunya pemodelan ARCH/GARCH pada sisaan model tersebut (Hidayana *et al.* 2022).

Tabel 3 Hasil uji ARCH-LM

Lag	Nilai-p
4	0,000*
8	0,002*
12	0,020*
14	0,041*
16	0,061
20	0,143

*parameter signifikan pada taraf nyata 5%



Gambar 8 Nilai-p uji McLeod-Li

4.4 Model ARCH/GARCH

Pemodelan ARCH/GARCH dilakukan pada model rataan ARIMAX(3,1,3) yang mengandung efek heteroskedastisitas. Identifikasi model ARCH/GARCH dilakukan dengan *trial and error* untuk mendapatkan model terbaik. Model terbaik ARCH/GARCH dilihat berdasarkan signifikansi parameter, nilai AIC dan nilai-p uji ARCH-LM. Berdasarkan hasil *trial and error*, didapatkan bahwa model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2) merupakan kandidat model terbaik dengan keseluruhan parameter yang signifikan, nilai AIC yang terkecil dan nilai-p uji ARCH-LM yang tidak signifikan yaitu sebesar 0,325. Dalam hal ini model ARCH lebih baik dibandingkan dengan model GARCH karena *lag* yang signifikan pada uji ARCH-LM cenderung sedikit kurang dari 15 *lag* (Adenomon *et al.* 2022). Hasil estimasi parameter model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2) selanjutnya tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4 Estimasi parameter model ARCH/GARCH

Model	Parameter	Koefisien	Nilai-p	AIC
ARIMAX(3,1,3)- ARCH(2)	AR(1)	1,871	0,000*	12,561
	AR(2)	-1,757	0,000*	
	AR(3)	0,863	0,000*	
	MA(1)	-1,919	0,000*	
	MA(2)	1,860	0,000*	
	MA(3)	-0,947	0,000*	
	dummy	-8,062	0,019*	
	ω	12472,132	0,000*	
	α_1	0,168	0,000*	
	α_2	0,086	0,044*	

*parameter signifikan pada taraf nyata 5%

Uji diagnostik model selanjutnya dilakukan pada sisaan model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2). Pengujian kebebasan sisaan dilakukan menggunakan uji Ljung-Box. Berdasarkan uji Ljung-Box, diperoleh bahwa sisaan saling bebas karena memiliki nilai-p pada *lag* pertama sebesar 0,837 yang lebih besar dari taraf nyata 5%. Uji kenormalan sisaan selanjutnya dilakukan menggunakan uji Shapiro Wilk. Uji ini menghasilkan kesimpulan bahwa sisaan tidak mengikuti sebaran normal karena memiliki nilai-p sebesar 0,000 yang kurang dari taraf nyata 5%. Pengujian kehomogenan ragam dilakukan menggunakan uji Ljung-Box dari sisaan kuadrat. Uji ini menyimpulkan ragam sisaan telah homogen karena memiliki nilai-p pada *lag* pertama sebesar 0,654 yang lebih dari taraf nyata 5%. Dengan demikian, model ARCH/GARCH berhasil mengatasi pelanggaran asumsi kehomogenan ragam pada model ARIMAX.

Tabel 5 Estimasi parameter model *overfitting* ARCH/GARCH

Model	Parameter	Koefisien	Nilai-p	AIC
ARIMAX(3,1,3)- ARCH(3)	AR(1)	-0,341	0,000*	13,153
	AR(2)	-0,119	0,000*	
	AR(3)	-0,592	0,000*	
	MA(1)	0,127	0,000*	
	MA(2)	0,045	0,000*	
	MA(3)	0,915	0,000*	
	dummy	36,184	0,000*	
	ω	3,250	0,997	
	α_1	0,251	0,000*	
	α_2	0,293	0,000*	

*parameter signifikan pada taraf nyata 5%

Untuk melihat apakah terdapat model yang lebih baik, *Overfitting* dilakukan dengan menambahkan satu ordo ARCH pada model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2), sehingga kandidat model *overfitting* dalam hal ini adalah ARIMAX(3,1,3)-ARCH(3). Berdasarkan hasil estimasi parameter model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(3) yang tercantum pada Tabel 5, terlihat bahwa terdapat parameter model yang tidak

signifikan yaitu pada intersep model ragam. Terlihat pula nilai AIC model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(3) lebih besar dari nilai AIC model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2). Hal ini menjadikan model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2) sebagai model terbaik dalam pemodelan ARCH/GARCH. Model rataan yang terbentuk dari ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2) disajikan pada persamaan (14).

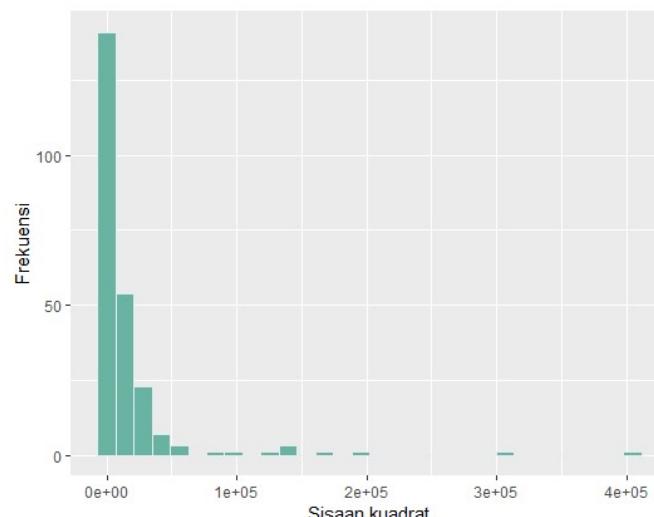
$$Y_t = 1,9Y_{t-1} - 1,8Y_{t-2} + 0,9Y_{t-3} + e_t - 1,9e_{t-1} + 1,9e_{t-2} - 0,9e_{t-3} - 8,1X_t \quad (14)$$

Adapun model ragam yang terbentuk dari ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2) disajikan pada persamaan (15).

$$\sigma_t^2 = 12472,132 + 0,168e_{t-1}^2 + 0,086e_{t-2}^2 \quad (15)$$

4.5 Model TGARCH

Menurut Dwiyanti (2023), data finansial seperti IHSG cenderung memiliki volatilitas yang asimetris. Hal ini terlihat dari histogram sisaan kuadrat model ARIMAX(3,1,3) pada Gambar 9 yang cenderung menjulur ke kanan. Adanya volatilitas asimetris pada data menunjukkan bahwa pemodelan TGARCH perlu dilakukan.



Gambar 9 Histogram sisaan kuadrat

Identifikasi model TGARCH dilakukan secara *trial and error* pada model rataan ARIMAX(3,1,3) dengan memperhatikan signifikansi parameter, nilai AIC dan nilai-p uji ARCH-LM. Berdasarkan *trial and error*, didapat bahwa model tentatif yang terpilih adalah model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) dengan keseluruhan parameter yang signifikan, nilai AIC yang terkecil dan nilai-p uji ARCH-LM yang tidak signifikan yaitu sebesar 0,893. Estimasi parameter model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) terlihat pada Tabel 6.

Uji diagnostik model selanjutnya dilakukan pada sisaan model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) menggunakan uji Ljung-Box dan uji Shapiro Wilk. Berdasarkan uji Ljung-Box, diperoleh nilai-p pada *lag* pertama sebesar 0,455 yang lebih besar dari taraf nyata 5%. Hal ini menunjukkan terpenuhinya asumsi



kebebasan sisaan pada model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2). Selanjutnya uji Shapiro Wilk menyimpulkan bahwa sisaan tidak mengikuti sebaran normal karena memiliki nilai-p sebesar 0,000 yang kurang dari taraf nyata 5%. Pengujian kehomogenan ragam dilakukan menggunakan uji Ljung-Box dari sisaan kuadrat. Uji ini menyimpulkan bahwa ragam sisaan telah homogen karena memiliki nilai-p pada *lag* pertama sebesar 0,520 yang lebih besar dari taraf nyata 5%. Dengan demikian, model TGARCH berhasil mengatasi pelanggaran asumsi kehomogenan ragam pada model ARIMAX.

Tabel 6 Estimasi parameter model TGARCH

Model	Parameter	Koefisien	Nilai-p	AIC
ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2)	AR(1)	2,172	0,000*	12,477
	AR(2)	-1,480	0,000*	
	AR(3)	0,256	0,000*	
	MA(1)	-2,240	0,000*	
	MA(2)	1,620	0,000*	
	MA(3)	-0,325	0,000*	
	<i>dummy</i>	25,100	0,011*	
	ω	41,956	0,000*	
	α_1	0,207	0,000*	
	β_1	0,331	0,025*	
	β_2	0,169	0,035*	
	γ_1	1,000	0,000*	

*parameter signifikan pada taraf nyata 5%

Overfitting dilakukan dengan menambahkan satu ordo ARCH dan satu ordo GARCH pada model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) sehingga kandidat model *overfitting* dalam hal ini adalah ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,3) dan ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(2,2). Berdasarkan hasil estimasi parameter pada Tabel 7, terlihat bahwa terdapat parameter yang tidak signifikan baik pada model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,3) maupun pada model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(2,2). Hal ini menunjukkan bahwa model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) merupakan model terbaik dalam pemodelan TGARCH. Model rataan yang terbentuk dari model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) disajikan pada persamaan (16).

$$Y_t = 2,172Y_{t-1} - 1,480Y_{t-2} + 0,256Y_{t-3} + e_t - 2,240e_{t-1} + 1,620e_{t-2} - 0,325e_{t-3} + 25,10X_t \quad (16)$$

Adapun model ragam yang terbentuk disajikan pada persamaan (17).

$$\sigma_t^2 = 41,956 + 0,207e_{t-1}^2 + 0,331\sigma_{t-1}^2 + 0,169\sigma_{t-2}^2 + e_{t-1}^2 I_{[e_{t-1}<0]} \quad (17)$$

Tabel 7 Estimasi parameter model *overfitting*

Model	Parameter	Koefisien	Nilai-p	AIC
ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,3)	AR(1)	1,139	0,000*	12,497
	AR(2)	-1,219	0,000*	
	AR(3)	0,913	0,000*	
	MA(1)	-1,084	0,000*	
	MA(2)	1,226	0,000*	
	MA(3)	-0,853	0,000*	
	<i>dummy</i>	19,393	0,283*	
	ω	48,856	0,000*	
	α_1	0,262	0,000*	
	β_1	0,029	0,793	
ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(2,2)	β_2	0,000	1,000	12,476
	β_3	0,390	0,003*	
	γ_1	1,000	0,000*	
	AR(1)	0,932	0,000*	
	AR(2)	0,882	0,000*	
	AR(3)	-0,959	0,000*	
	MA(1)	-0,914	0,000*	
	MA(2)	-0,922	0,000*	
	MA(3)	1,001	0,000*	
	<i>dummy</i>	25,501	0,036*	
	ω	38,427	0,000*	
	α_1	0,224	0,000*	
	α_2	0,000	0,999	
	β_1	0,208	0,115	
	β_2	0,306	0,028*	
	γ_1	1,000	0,000*	
	γ_2	0,083	0,988	

*parameter signifikan pada taraf nyata 5%

4.6 Validasi Model

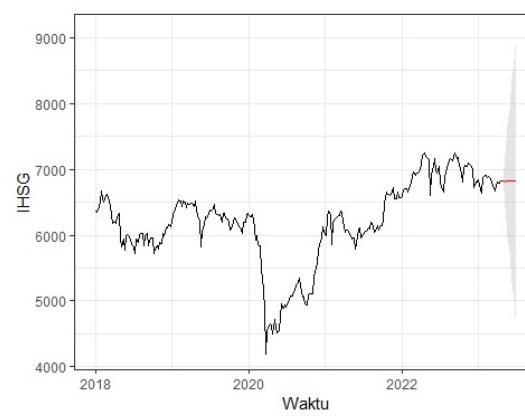
Validasi model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2) dan model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) dilakukan dengan melihat rata rata nilai MAPE dari keempat skenario data seperti yang diuraikan pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 8, terlihat bahwa pada skenario data kedua dan ketiga, model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2) memiliki nilai MAPE yang lebih kecil dibandingkan model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2). Model ini juga menjadi model dengan hasil peramalan yang baik karena memiliki nilai MAPE yang kurang dari 10%. Penggunaan model ARIMAX dalam pemodelan ini menghasilkan peramalan yang lebih baik dibandingkan hanya menggunakan model ARMA seperti yang dilakukan Kasuma dan Nugroho (2020). Meskipun model ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2) lebih baik pada skenario data kedua dan ketiga, model terbaik yang akan digunakan dalam peramalan adalah model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) karena memiliki rata rata nilai MAPE dari keseluruhan skenario data yang lebih kecil.

Tabel 8 Nilai MAPE setiap skenario data

Skenario	Nilai MAPE	
	ARIMAX(3,1,3)-ARCH(2)	ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2)
1	6,830%	5,994%
2	2,159%	2,193%
3	3,203%	3,245%
4	1,906%	1,199%
Rata-rata	3,525%	3,158%

4.7 Peramalan

Peramalan menggunakan model ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2) dilakukan untuk 10 periode ke depan. Periode tersebut berada pada rentang 1 Mei 2023 sampai 3 Juli 2023. Berdasarkan Gambar 10, diperoleh hasil peramalan yang cenderung stabil dengan selang kepercayaan yang cenderung melebar di setiap periode waktunya.



Gambar 10 Hasil peramalan periode 1 Mei 2023 sampai 3 Juli 2023



V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Model terbaik untuk meramalkan data IHSG mingguan periode 1 januari 2018 sampai 24 April 2023 adalah model GARCH asimetris yaitu ARIMAX(3,1,3)-TGARCH(1,2). Penambahan peubah kovariat periode COVID-19 kedalam model ini memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pergerakan IHSG meskipun sebelumnya parameter peubah kovariat pada model rataan ARIMAX(3,1,3) tidak signifikan. Model ini menghasilkan akurasi peramalan yang sangat baik karena memiliki rata rata nilai MAPE dari keempat skenario data yang kurang dari 10%. Peramalan data IHSG periode 1 Mei 2023 sampai 3 Juli 2023 menggunakan model ini menghasilkan peramalan yang cenderung stabil dengan selang kepercayaan yang cenderung melebar di setiap periode waktunya.

5.2 Saran

Meskipun peramalan yang dihasilkan sudah sangat baik, penelitian selanjutnya dapat menggunakan model rataan lain seperti ARIMA intervensi (Box dan Tiao 1975) dan model ragam lain seperti *exponential* GARCH (Nelson 1991) serta *integrated* GARCH (Engle dan Bollerslev 1986). Hasil peramalan dalam penelitian ini juga terbatas pada periode waktu yang singkat, sehingga dengan ketersediaan data yang cukup, penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode *machine learning* seperti *recurrent neural network* (RNN) (Rumelhart *et al.* 1986) dan *long short term memory* (LSTM) (Hochreiter dan Schmidhuber 1997) untuk memperoleh hasil peramalan jangka panjang yang lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Adenomon MO, Maijamaa B, John DO. 2022. The Effects of COVID-19 outbreak on the Nigerian Stock Exchange performance: Evidence from GARCH Models. *Journal of Statistical Modelling and Analytics.* 4(2):25–38. doi:10.22452/josma.vol4no1.3.
- Aktivani S. 2021. Uji stasioneritas data inflasi Kota Padang periode 2014-2019. *Jurnal statistika Industri dan Kompetasi.* 6(1):26–33.
- Andreas C, Sediono S, Ana E, Suliyanto, Mardianto MFF. 2021. Penerapan model ARIMAX-GARCH dalam pemodelan dan peramalan volume transaksi uang elektronik di Indonesia. *MUST: Journal of Mathematics Education, Science and Technology.* 6(2):241–256. doi:10.30651/must.v6i2.11214.
- Box G, Tiao G. 1975. Intervention analysis with applications to economic and environmental problems. *Journal of the American Statistical Association.* 70(349):70–79. doi:10.1080/01621459.1975.10480264.
- Braz MS, Sáfadi T, Ferreira RA, Morais MHF, Silva Z, Rocha CMBM da. 2023. Temporal relationship between human and canine visceral leishmaniasis in an urban area in southeastern Brazil: An application of the ARIMAX model. *Preventive Veterinary Medicine.* 215(105921):1–7. doi:10.1016/j.prevetmed.2023.105921.
- Chapra SCC. 2012. *Applied Numerical Methods with Matlab for Engineers and Scientists.* New York (NY): McGraw-Hill.
- Chen YP, Liu LF, Che Y, Huang J, Li GX, Sang GX, Xuan ZQ, He TF. 2022. Modeling and predicting pulmonary tuberculosis incidence and its association with air pollution and meteorological factor using an ARIMAX model: an ecological study in Ningbo of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 19(5385):1–11. doi:10.3390/ijerph19095385.
- Cryer JD, Chan K-S. 2008. *Time Series Analysis With Applications in R Second Edition.* New York (NY): Springer.
- Devi SS. 2021. Pengaruh inflasi dan nilai tukar/kurs terhadap Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) yang terdaftar di Bursa Efek Indonesia (BEI) pada masa pandemi covid-19 bulan Januari-Desember tahun 2020. *JIMEN Jurnal Inovatif Mahasiswa Manajemen.* 1(2):139–149.
- Deviana S, Nusyirwan, Azis D, Ferdias P. 2021. Analisis model Autoregressive Integrated Moving Average data deret waktu dengan metode momen sebagai estimasi parameter. *Jurnal Siger Matematika.* 2(2):57–67. <https://jurnal.fmpipa.unila.ac.id/JSM/article/view/2812>.
- Dewi IP. 2020. Pengaruh inflasi, kurs dan harga minyak dunia terhadap Indeks Harga Saham Gabungan di Bursa Efek Indonesia. *Jurnal Ilmu Manajemen.* 17(1):10–19. doi:<https://doi.org/10.21831/jim.v17i1.34772>.
- Dewi MS, Sutarmam. 2022. Estimasi parameter model Autoregressive Conditional Heteroscedasticity menggunakan metode Bayes. *Journal of Fundamental Mathematics and Applications.* 5(2):67–80.
- Dwiyanti H. 2023. Perbandingan Model Exponential GARCH, GJR_HARCH dan Quadratic GARCH pada Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG). Universitas Negeri Jakarta.
- Engle RF. 1982. Autoregressive Conditional Heteroscedacity with estimates of

- variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*. 50(4):987–1008.
- Engle RF, Bollerslev T. 1986. Modelling the persistence of conditional variances. *Econometric Reviews*. 5(1):1–50. doi:10.1080/07474938608800095.
- Hafizah ZS, Kusnandar D, Martha S. 2020. Model generalized autoregressive conditional heteroscedasticity in mean untuk meramalkan volatilitas return saham. *Bimaster : Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*. 9(1):39–46. doi:10.26418/bbimst.v9i1.38030.
- Haris M Al, Arum PR. 2020. Peramalan harga emas dengan model Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (Garch). *Jurnal Saintika Unpam : Jurnal Sains dan Matematika Unpam*. 3(1):19–30. doi:10.32493/jsmu.v3i1.5263.
- Hartantio V, Yusbardini. 2020. Pengaruh berbagai indeks saham Asia terhadap Indeks Harga Saham Gabungan tahun 2015-2019. *Jurnal Manajerial dan Kewirausahaan*. 2(4):1096–1105. <https://doi.org/10.24912/jmk.v2i4.9895>.
- Haryanto. 2020. Dampak Covid-19 terhadap pergerakan nilai tukar rupiah dan Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG). *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*. 4(2):151–165. doi:10.36574/jpp.v4i2.114.
- Hidayana RA, Napitupulu H, Sukono. 2022. An investment decision-making model to predict the risk and return in stock market: An Application of ARIMA-GJR-GARCH. *Decision Science Letters*. 11(3):235–246. doi:10.5267/dsl.2022.3.003.
- Hochreiter S, Schmidhuber J. 1997. Long short term memory. *Neural Computation*. 9:1735–1780. doi:10.17582/journal.pjz/2018.50.6.2199.2207.
- HSBC. 2018. Laporan Tahunan 2018. Jakarta.
- Huang C, Petukhina A. 2022. *Statistics and Computing Applied Time Series Analysis and Forecasting with Python*. Cham: Springer.
- Kasuma KAP, Nugroho YD. 2020. Tinjauan kasus terkonfirmasi positif covid-19 terhadap iklim investasi di Indonesia: peramalan dan korelasi. Di dalam: Pasaribu E, Kurniawan R, Sari LK, Nooraeni R, editor. *Seminar Nasional Official Statistics*. Jakarta, Indonesia: Politeknik Statistika STIS. hlm 190–195.
- Kumari RV, Ramakrishna G, Panasa V, Sreenivas A. 2019. An application of ARIMAX model for forecasting of castor production in India. *Journal of Oilseeds Research*. 36(4):244–249.
- Lepot M, Aubin JB, Clemens FHLR. 2017. Interpolation in time series: An introductory overview of existing methods, their performance criteria and uncertainty assessment. *Water (Switzerland)*. 9(10):1–20. doi:10.3390/w9100796.
- Li X, Ozturk I, Syed QR, Hafeez M, Sohail S. 2022. Does green environmental policy promote renewable energy consumption in BRICST? Fresh insights from panel quantile regression. *Economic Research-Ekonomska Istrazivanja*. 35(1):5807–5823. doi:10.1080/1331677X.2022.2038228.
- Mahendra IKR, Rasmini NK. 2019. Reaksi pasar terhadap kenaikan Bank Indonesia 7-Day Reverse Repo Rate tanggal 15 Agustus 2018. *E-Jurnal Akuntansi Universitas Udayana*. 27(3):2066–2099. doi:10.24843/eja.2019.v27.i03.p16.
- McLeod A., Li W. 1983. Diagnostic checking ARMA time series models using squared-residual autocorrelations. *Journal of Time Series Analysis*. 4(4):269–273.





- Mills TC. 2019. *Applied Time Series Analysis: A Practical Guide to Modeling and Forecasting*. Loughborough: Elsevier.
- Moffat IU, Akpan EA. 2019. White noise analysis: a measure of time series model adequacy. *Journal of Hydrology*. 10:989–1003. doi:10.4236/am.2019.1011069.
- Montgomery DC, Jennings CL, Kulahci M. 2015. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. New Jersey (NJ): John Wiley&Sons.
- Nelson DB. 1991. Conditional heteroscedasticity in asset returns: a new approach. *Econometrica*. 59(2):347–370.
- Nugroho D, Kurniawati D, Panjaitan L, Kholil Z, Susanto B, Sasongko L. 2019. Empirical performance of GARCH, GARCH-M, GJR-GARCH and log-GARCH models for returns volatility. Di dalam: *Journal of Physics: Conference Series*. Salatiga, Indonesia: Universitas Kristen Satya Wacana. hlm 1–7.
- Purnama M, Hanitha V, Purnama O. 2021. Pengaruh harga emas, harga minyak, kurs tengah bank Indonesia, dan suku bunga acuan Bank Indonesia terhadap Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) di Bursa Efek Indonesia pada periode Juli 2020 - Desember 2020. *eCo-Buss*. 3(3):81–94. doi:10.32877/eb.v3i3.198.
- Putera MLS. 2020. Non-cash payment transaction projection using ARIMAX : efect of calendar. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*. 16(3):296–310. doi:10.20956/jmsk.v16i3.8546.
- Putri FTA, Zukhronah E, Pratiwi H. 2021. Model ARIMA-GARCH pada peramalan harga saham PT. Jasa Marga (Persero). *Business Innovation and Entrepreneurship Journal*. 3(3):164–170. doi:10.35899/biej.v3i3.308.
- Raheem SH, Alhusseini FHH, Alshaybawee T. 2020. Modelling volatility in financial time series using ARCH models. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*. 12(7):248–261.
- Ridha MR, Wibowo A. 2020. Analisis volatilitas return saham sektor barang konsumsi di Indonesia: aplikasi metode threshold garch (TGARCH). *VARIANCE: Journal of Statistics and Its Applications*. 2(1):35–43. doi:10.30598/variancevol2iss1page35–43.
- Riyanto AF, Safitri AA, Nugroho BV, Prandita D, Lisdiyowati R. 2022. Pengaruh naik turunnya Indeks Harga Saham Gabungan (IHSG) terhadap tingginya lonjakan kasus Virus Covid-19 Varian Delta pada PT HM Sampoerna Tbk. Di dalam: *Prosiding Seminar Nasional Hasil Riset dan Pengabdian*. Surabaya, Indonesia: Universitas PGRI Adi Buana. hlm 580–590.
- Rumelhart DE, Hinton GE, Williams RJ. 1986. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*. 323:533–536. doi:10.1038/323533a0.
- Saida MDN, Sudarno, Hoyyi A. 2016. Pemodelan return Indeks Harga Saham Gabungan menggunakan Threshold Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (TGARCH). *Jurnal Gaussian*. 5(3):465–474. doi:<https://doi.org/10.14710/j.gauss.5.3.465-474>.
- Schaffer AL, Dobbins TA, Pearson SA. 2021. Interrupted time series analysis using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models: a guide for evaluating large-scale health interventions. *BMC Medical Research Methodology*. 21(58):1–12. doi:10.1186/s12874-021-01235-8.
- Shapiro S, Wilk M. 1965. An analysis of variance test for normality (Complete samples). *Biometrika*. 52(3–4):591–611.

- Shumway RH, Stoffer DS. 2006. *Time Series Analysis and Its Applications*. New York (NY): Springer.
- Sitohang S. 2021. Gambaran pergerakan indeks sektoral dan IHSG di Bursa Efek Indonesia pada masa pandemi covid-19. *JAKPI - Jurnal Akuntansi, Keuangan & Perpajakan Indonesia*. 9(1):115–126. doi:10.24114/jakpi.v9i1.25712.
- Sriwijji R. 2019. Studi empiris pada pemodelan dan prediksi harga bitcoin berdasarkan informasi blockchain menggunakan bayesian regularization neural network. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Susanti R, Adji AR. 2020. Analisis peramalan IHSG dengan time series modeling ARIMA. *Jurnal Manajemen Kewirausahaan*. 17(1):97–106. doi:10.33370/jmk.v17i1.393.
- Vukovic B., Zinurova R. 2020. Competitive advantages and sustainable development of russian agrarian sector. Di dalam: *Economy and Ecology: Contemporary trends and contradictions*. Moscow, Russia: Russian State Social University. hlm 203–207.
- Woodward WA, Sadler BP, Robertson SD. 2023. *Time Series for Data Science Analysis and Forecasting*. Florida (FL): CRC Press. <https://www.routledge.com/Chapman--HallCRC-Texts->.
- Yarovaya L, Elsayed AH, Shawkat H. 2021. Determinant of spillovers between Islamic and conventional financial markets: exploring the safe haven assets during the Covid-10 pandemic. *Finance Research Letters*. 43(101979):1–19. <http://dx.doi.org/10.1037/xge0000076>.
- Yunita T. 2019. Peramalan jumlah penggunaan kuota internet menggunakan metode Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA). *JOMTA Journal of Mathematics: Theory and Applications*. 1(2):16–22. doi:<https://doi.org/10.31605/jomta.v2i1.777>.

