PEMODELAN *AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE* DENGAN VARIABEL EKSOGEN DAN *GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSCEDASTICITY*

SKRIPSI

RIRIN ARIANTI
H 121 16 506

PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
SEPTEMBER 2020

PEMODELAN *AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE* DENGAN VARIABEL EKSOGEN DAN *GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSCEDASTICITY*

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Statistika Departemen Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

RIRIN ARIANTI
H 121 16 506

PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
SEPTEMBER 2020

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang saya buat dengan judul:

Pemodelan *Autoregressive Integrated Moving Average* dengan Variabel Eksogen dan *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*

adalah benar hasil karya sendiri, bukan hasil plagiat dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun.

Makassar, 30 September 2020

METERAI TEMPEL
DDAC4AHF659756846
6000
ENAM RIBU RUPIAH

RIRIN ARIANTI
NIM. H 121 16 506

PEMODELAN *AUTOREGRESSIVE INTEGRATED MOVING AVERAGE* DENGAN VARIABEL EKSOGEN DAN *GENERALIZED AUTOREGRESSIVE CONDITIONAL HETEROSCEDASTICITY*

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama	**Pembimbing Pertama**
Sitti Sahriman, S.Si., M.Si.	**Dr. La Podje Talangko, M.Si.**
NIP. 19881018 201504 2 002	**NIP. 19551219 198701 1 001**

Pada Tanggal: 30 September 2020

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Ririn Arianti

NIM : H 121 16 506

Program Studi : Statistika

Judul Skripsi : Pemodelan *Autoregressive Integrated Moving Average* dengan Variabel Eksogen dan *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

Tanda Tangan

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI UNIVERSITAS HASANUDDIN DEPARTEMEN STATISTIKA FAKULTAS MIPA

1. Ketua : Sitti Sahriman, S.Si., M.Si. (..............................)
2. Sekretaris : Dr. La Podje Talangko, M.Si. (..............................)
3. Anggota : Dr. Erna Tri Herdiani, M.Si. (..............................)
4. Anggota : Dr. Nirwan, M.Si. (..............................)

Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 30 September 2020

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat **Allah *subhanahu wa ta'ala*** atas segala lindungan, rahmat, dan karunia-Nya serta shalawat dan salam kepada **Rasulullah *shallallahu alaihi wasallam*** yang telah membawa umatnya dari alam jahiliyah menuju alam yang berilmu seperti sekarang ini. *Alhamdulillaahi rabbil aalamiin*, kata paling indah yang dipanjatkan penulis atas kesehatan, kemudahan, dan kemampuan untuk menyelesaikan skripsi dengan judul **"Pemodelan *Autoregressive Integrated Moving Average* dengan Variabel Eksogen dan *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*"**.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari keterbatasan kemampuan dan pengetahuan serta hambatan lainnya yang dapat diselesaikan berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tak terhingga untuk orang tua penulis, Ayahanda **Mustari Musfa** dan Ibunda **Peronika K.** yang telah mendidik dan membesarkan penulis dengan penuh cinta, kasih, sayang, serta dengan ikhlas telah mengiringi setiap langkah penulis dengan doa dan restunya. Untuk kakak dan adik-adik tersayang, terima kasih atas segala bentuk bantuan, motivasi, dan semangat tiada henti yang diberikan kepada penulis, serta untuk semua keluarga besar penulis, terima kasih atas doa dan dukungannya selama ini.

Penghargaan dan ucapan terima kasih dengan penuh ketulusan juga penulis ucapkan kepada:

1. Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Palubuhu, MA,** selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta jajarannya.
2. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin,** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta jajarannya.
3. Ibu **Dr. Nurtiti Sunusi, S.Si., M.Si,** selaku Ketua Departemen Statistika serta dosen pengajar dan staf Departemen Statistika yang telah membekali ilmu dan memberi kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama njadi mahasiswa Departemen Statistika.

4. Ibu **Sitti Sahriman, S.Si., M.Si,** selaku penasehat akademik sekaligus dosen pembimbing utama dan Bapak **Dr. La Podje Talangko, M.Si,** selaku dosen pembimbing pertama. Terima kasih atas waktu yang telah diluangkan untuk memberikan nasehat, dukungan, kesabaran dalam membimbing dan memberi masukan serta motivasi dalam penulisan skripsi ini.
5. Ibu **Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si,** selaku ketua tim penguji dan Bapak **Dr. Nirwan. M.Si,** selaku sekretaris tim penguji. Terima kasih atas waktu yang telah diluangkan untuk memberikan saran dan kritik yang membangun dalam penyempurnaan penulisan skripsi ini.
6. Teman seperjuangan di **STATISTIKA 2016**, terima kasih atas kebersamaan, suka dan duka dalam berjuang menjalani pendidikan di Departemen Statistika. Terkhusus **Andis, Mila, Wiya, Tari, Nidar, Imma, Inci, Shasa, Dilla, Eja, Cimma,** dan **Aten,** terima kasih sudah menjadi saudari yang selalu menemani penulis di masa perkuliahan sehingga menjadi lebih berwarna dan bermakna.
7. Keluarga besar **ALGORITMA 2016**, **HIMATIKA FMIPA UNHAS**, **HIMASTAT FMIPA UNHAS**, **KM FMIPA UNHAS**, dan **KOPMA UNHAS**. Terima kasih atas ilmu yang mungkin tidak bisa didapatkan di proses perkuliahan. Penulis merasa bangga menjadi salah satu bagian dari keluarga ini.
8. Teman dari kecilku **Riska** dan **Niar**, tempat berbagi kisah, memberikan nasihat, dan selalu memotivasi penulis.
9. Kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih untuk segala dukungan dan partisipasi yang diberikan kepada penulis, semoga bernilai ibadah di sisi **Allah SWT**.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis memohon maaf. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pihak-pihak yang berkepentingan.

Makassar, 30 September 2020

Ririn Arianti

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ririn Arianti

NIM : H 121 16 506

Program Studi : Statistika

Departemen : Statistika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Prediktor Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

"Pemodelan *Autoregressive Integrated Moving Average* dengan Variabel Eksogen dan *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*"

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.
Dibuat di Makassar pada tanggal 30 September 2020

Yang menyatakan,

anti

ABSTRAK

Model *autoregressive integrated moving average* dengan variabel eksogen (ARIMAX) merupakan pengembangan model ARIMA dengan penambahan data deret waktu lainnya sebagai variabel eksogen yang mempengaruhi variabel dependen. Penambahan variabel eksogen ke dalam model dapat meningkatkan akurasi peramalan. Model ARIMAX digunakan untuk menganalisis dan meramalkan data nilai tukar rupiah terhadap dolar AS dengan inflasi sebagai variabel eksogen. Data nilai tukar rupiah terhadap dolar AS memiliki variansi *residual* yang tidak konstan sehingga digunakan model GARCH yang dapat mengatasi masalah heteroskedastisitas. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan estimasi parameter pada model ARIMAX-GARCH menggunakan metode *maximum likelihood* dan memperoleh hasil peramalan nilai tukar rupiah terhadap dolar AS dengan model ARIMAX-GARCH. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa peramalan nilai tukar rupiah terhadap dolar AS periode Januari 2010 – Desember 2019 dengan model ARIMAX(0,1,1)-GARCH(1,0) adalah model terbaik dengan nilai MAPE (1,1655) yang menunjukkan presentase rendah dibandingkan dengan model ARIMAX.

Kata Kunci : ARIMAX, Heteroskedastisitas, GARCH, Metode *Maximum Likelihood*.

ABSTRACT

Autoregressive integrated moving average with exegenous variable (ARIMAX) model is the development of ARIMA model with addition of other time series data as exogenous variable that affect the dependent variable. The addition of exogenous variables to the model can improve forecasting accuracy. ARIMAX model is used to analyze and predict data on the rupiah exchange rate against the US dollar with inflation as an exogenous variabel. The rupiah exchange rate against the US dollar has a residual variance that is not constant so that the GARCH model is used to overcome the problem of heteroscedasticity. This study aims to obtain parameter estimates of the ARIMAX-GARCH model using the maximum likelihood method and to obtain forecasting results of the rupiah exchange rate against the US dollar using the ARIMAX-GARCH model. The results of this research show that forecasting the rupiah exchange rate against the US dollar for the period January 2010 – December 2019 with the ARIMAX(0,1,1) – GARCH(1,0) model is the best model with a MAPE (1,1655) value which shows a low percentage compared to the ARIMAX model.

Keywords : ARIMAX, Heteroscedasticity, GARCH, Maximum Likelihood Method.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR LAMPIRAN

BAB 1
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aktivitas ekonomi yang berupa transaksi jual beli tidak terbatas hanya dilakukan antar penduduk, tetapi juga dapat dilakukan antar penduduk suatu negara dengan negara lain menggunakan mata uang yang telah disepakati. Tingkat harga yang disepakati kedua negara untuk nilai tukar uang tersebut dinamakan kurs atau *exchange rate*. Nilai tukar mata uang atau yang sering disebut dengan kurs adalah harga satu unit mata uang asing dalam mata uang domestik atau dapat juga dikatakan harga mata uang domestik terhadap mata uang asing (Simorangkir & Suseno, 2004).

Kurs dapat dijadikan sebagai alat untuk mengukur kondisi perekonomian. Apabila pertumbuhan nilai tukar mata uang dapat berjalan stabil berarti menunjukkan bahwa negara tersebut memiliki kondisi perekonomian yang relatif baik atau stabil. Nilai tukar tidak ditetapkan oleh bank sentral, melainkan pasar sehingga nilai tukar dapat berubah setiap saat sesuai mekanisme pasar. Oleh karena itu, prediksi nilai tukar mata uang yang akan datang sangat diperlukan untuk menentukan kebijakan perekonomian yang akan datang.

Peramalan nilai tukar berhubungan dengan peramalan data deret waktu atau *time series*. Model yang paling sering digunakan dalam peramalan data deret waktu univariat adalah model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Selain itu, salah satu model deret waktu yang dipandang sebagai perluasan model ARIMA adalah *Autoregressive Integrated Moving Average with Exogenous Variable* (ARIMAX), yakni model ARIMA dengan variabel eksogen. Dalam model ini faktor-faktor yang mempengaruhi variabel dependen Z pada waktu ke-t dipengaruhi tidak hanya oleh fungsi variabel Z dalam waktu, tetapi juga oleh variabel-variabel independen lain pada waktu ke-t (Suryani, 2018).

Model ARIMA hanya berlaku untuk satu variabel dan itu tidak menggambarkan beberapa hal penting dalam data dan juga tidak dapat ...baikan dengan baik hubungan antar variabel dalam data. Model ...X pertama kali dibahas oleh Box dan Tiao pada tahun 1975, model ini ... kemampuan untuk mengidentifikasi pola yang mendasari data deret waktu dan untuk mengukur dampak dari pengaruh luar data (Victor-Edema & Isaac, 2016). Hasil penelitian Wijayanti dan Sudarmiani (2017) dengan menggunakan analisis regresi linier sederhana, menunjukkan bahwa tingkat inflasi berpengaruh positif secara signifikan pada nilai tukar rupiah terhadap dolar AS. Dengan demikian, variabel eksogen yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah tingkat inflasi.

Praktek pemodelan ARIMA atau ARIMAX pada suatu data ekonomi seringkali memberikan *residual* dengan variansi yang tidak konstan (heterogen). Engle (1982) memperkenalkan model *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (ARCH) untuk memodelkan inflasi di Inggris yang mengandung variansi yang tidak konstan. Kemudian model ARCH disempurnakan menjadi *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (GARCH) oleh Bolerslev (1986). Metode ini mampu mengatasi heteroskedastisitas dalam data deret waktu sehingga model yang akan diperoleh baik digunakan untuk melakukan peramalan (Rukini & Suhartono, 2013). Nilai tukar merupakan salah satu data finansial yang memiliki keragaman (*volatility*) yang tidak konstan di setiap titik waktu sehingga variansi dari *residual* akan selalu berubah setiap waktu. Hal ini disebut sebagai heteroskedastisitas pada data deret waktu sehingga diperlukan model GARCH untuk mengatasinya.

Beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan model ARIMAX di antaranya adalah peramalan jumlah penderita tuberkulosis kabupaten Malang dengan variabel suhu sebagai variabel independen oleh Pusparinda (2017) yang membuktikan bahwa model ARIMAX menghasilkan nilai MAPE yang lebih kecil daripada model ARIMA. Selain itu, Suryani (2018) menyatakan bahwa metode ARIMAX dapat digunakan untuk melakukan peramalan curah hujan dengan El-Nino sebagai variabel eksogen dengan nilai MAPE sebesar 1,045. Model GARCH telah berhasil diterapkan dalam perbandingan akurasi model ARCH dan GARCH pada peramalan harga saham berbantuan Matlab oleh Sunarti (2016) dengan GARCH(1,1) sebagai model terbaik. Sedangkan, penggunaan GARCH dalam
n data nilai tukar IDR terhadap USD oleh Anisa dan Himawan (2007)
leh GARCH (2,2) sebagai model terbaik dalam memodelkan data deret
rena memberikan nilai AIC terkecil. Adapun Rukini dan Suhartono

(2013) menggunakan model ARIMAX dan deteksi GARCH untuk peramalan inflasi kota Denpasar, hasil deteksi GARCH dengan uji *Lagrange Multiplier* tidak ditemukan adanya unsur heteroskedastisitas pada model ARIMAX.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dalam tugas akhir ini akan dikaji tentang pemodelan data nilai tukar rupiah terhadap dolar AS menggunakan model ARIMAX-GARCH yang dapat digunakan untuk peramalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan permasalahan yang dapat diselesaikan dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana mengestimasi parameter pada model ARIMAX-GARCH?
2. Bagaimana peramalan nilai tukar rupiah terhadap dolar AS menggunakan model ARIMAX-GARCH?

1.3 Batasan Masalah

Pembahasan dalam tugas akhir ini dibatasi pada estimasi parameter model menggunakan metode *maximum likelihood.* Selain itu, data yang digunakan yaitu data bulanan nilai tukar rupiah terhadap dolar AS (kurs jual) dan data inflasi sebagai variabel eksogen dari Januari 2010 sampai Desember 2019.

1.4 Tujuan Penulisan

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, tujuan penulisan tugas akhir ini antara lain:

1. Mendapatkan estimasi parameter pada model ARIMAX-GARCH.
2. Memperoleh hasil ramalan nilai tukar rupiah terhadap dolar AS menggunakan model ARIMAX-GARCH.

1.5 Manfaat Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dapat menambah wawasan mengenai model ARIMAX-GARCH dan dapat meramalkan nilai tukar rupiah terhadap dolar AS menggunakan model terbaik yang telah didapatkan. Selain itu, tugas akhir ini ...dikan sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peramalan

Peramalan merupakan suatu teknik untuk memperkirakan suatu nilai pada masa yang akan datang dengan memperhatikan data masa lalu maupun data saat ini. Metode peramalan dapat dibagi dalam dua kategori utama (Aswi, 2006):

a. Metode kualitatif merupakan metode yang menggabungkan beberapa faktor seperti pemikiran intuitif, perkiraan logis dan pengalaman pribadi.
b. Metode kuantitatif merupakan metode yang membutuhkan informasi masa lalu yang dikuantitatifkan dalam bentuk data numerik. Metode ini mendasarkan ramalannya pada metode statistika dan matematika. Terdapat dua jenis model peramalan kuantitatif, yaitu model deret waktu (*time series)* dan model regresi (*regression*). Model deret waktu berupaya untuk meramalkan kondisi masa yang akan datang dengan menggunakan data historis dan mengekstrapolasikan pola tersebut ke masa depan. Sedangkan model regresi memasukkan dan menguji variabel yang diduga mempengaruhi variabel terikat (*dependent variable*) dengan tujuan menemukan bentuk hubungan tersebut dan menggunakannya untuk menaksir nilai variabel terikat dari variabel bebas (*independent variable*).

Langkah penting dalam memilih suatu metode deret waktu yang tepat adalah mempertimbangkan jenis pola data. Pola data dapat dibedakan menjadi empat, yaitu:

1. Pola horizontal (H) terjadi apabila nilai data berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan.
2. Pola musiman (M) terjadi apabila suatu deret dipengaruhi oleh faktor musiman.
3. Pola siklis (S) terjadi apabila datanya dipengaruhi oleh fluktuasi ekonomi jangka panjang.
4. Pola kecenderungan (K) terjadi apabila terdapat kenaikan/penurunan sekuler jangka panjang dalam data.

2.2 Analisis Deret Waktu

Deret waktu (*time series*) merupakan serangkaian data pengamatan yang terjadi berdasarkan indeks waktu secara berurutan dengan interval waktu tetap. Analisis deret waktu adalah salah satu prosedur statistika yang diterapkan untuk meramalkan struktur probabilistik keadaan yang akan terjadi di masa yang akan datang dalam rangka pengambilan keputusan. Dalam analisis deret waktu ada beberapa konsep dasar yang harus dipenuhi, di antaranya sebagai berikut:

2.2.1 Stasioneritas

Ciri-ciri dalam pembentukan model analisis deret waktu adalah dengan mengasumsikan bahwa data dalam keadaan stasioner. Deret waktu dikatakan stasioner jika tidak ada perubahan kecenderungan dalam rata-rata dan perubahan variansi. Pendeteksian kestasioneran dalam variansi dapat dilakukan dengan melihat plot Box-Cox data. Jika koefisien λ yang dihasilkan adalah satu atau mendekati satu, maka data dapat dikatakan stasioner dalam variansi (Box & Cox, 1964). Sedangkan untuk memeriksa kestasioneran dalam rata-rata, dapat digunakan diagram deret waktu (*time series plot*) yaitu diagram pencar antara nilai variabel Z_t dengan waktu t. Jika diagram deret waktu berfluktuasi di sekitar garis yang sejajar sumbu waktu (t) maka dikatakan deret (*series*) stasioner dalam rata-rata (Aswi, 2006).

Selain cara tersebut, pendeteksian stasioner dalam rata-rata dapat dilakukan dengan uji *Augmented* Dickey Fuller (ADF). Uji ADF merupakan salah satu pengujian statistik yang digunakan untuk menguji kestasioneran data dalam rata-rata, yang mengakomodasi terjadinya korelasi pada *residual* dengan menambahkan *lag-lag* dari variabel dependen Z_t. Secara spesifik, uji ADF mengikuti estimasi regresi berikut (Gujarati, 2003):

$$\Delta Z_t = \beta_1 + \beta_2 t + \delta Z_{t-1} + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \Delta Z_{t-i} + e_t \qquad (2.1)$$

dengan: β_1 = konstanta

β_2 = koefisien pada tren waktu

δ = koefisien variabel pada periode t-1

α_i = koefisien dari *autoregressive*

e_t = *residual* yang bersifat acak.

Uji ADF memiliki hipotesis sebagai berikut:

- Hipotesis $H_0 : \delta = 0$ (data tidak stasioner)

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

- Statistik Uji $t_{hit} = \frac{\hat{\delta}}{\mathrm{SE}(\hat{\delta})}$

- Daerah Penolakan

  Tolak H_0 jika $|t_{hit}| > t_{tabel}$ atau $p_{value} < \alpha$, yang menunjukkan bahwa data telah stasioner dalam rata-rata.

Bila kondisi stasioner dalam rata-rata tidak terpenuhi diperlukan proses pembedaan (*differencing*) (Aswi, 2006). Proses *differencing* pada orde pertama merupakan selisih antara data ke-*t* dengan data ke *t*-1, yaitu:

$$\Delta Z_t = Z_t - Z_{t-1}$$

Adapun bentuk *differencing* untuk orde kedua adalah:

$$\Delta^2 Z_t = \Delta Z_t - \Delta Z_{t-1} = (Z_t - Z_{t-1}) - (Z_{t-1} - Z_{t-2}) = Z_t - 2Z_{t-1} + Z_{t-2}$$

Bila kondisi stasioner dalam variansi tidak terpenuhi, dilakukan transformasi pangkat yang dikenal dengan transformasi Box-Cox:

$$Z_t^{(\lambda)} = \frac{Z_t^{(\lambda)} - 1}{\lambda}$$

dengan λ disebut sebagai parameter transformasi. Beberapa penggunaan nilai λ serta kaitannya dengan transformasi ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai-Nilai $\boldsymbol{\lambda}$ dengan Transformasinya

Nilai λ (lambda)	Transformasi
-1.0	$\frac{1}{Z_t}$
-0.5	$\frac{1}{\sqrt{Z_t}}$
0.0	Ln Z_t
0.5	$\sqrt{Z_t}$
1.0	Z_t

Sumber: (Aswi, 2006).

2.2.2 Fungsi Autokorelasi

Pada fungsi autokorelasi (FAK), ρ_k merupakan ukuran korelasi antara dua nilai Z_t dan Z_{t+k} dengan jarak *k* bagian atau disebut koefisien korelasi pada *lag k*. Untuk Z_t yang stasioner terdapat nilai rata-rata $E(Z_t) = \mu$ dan ragam $Var(Z_t) = E(Z_t - \mu)^2 = \sigma^2$ adalah konstan. Autokovarian antara Z_t dan Z_{t+k} adalah sebagai berikut:

$$\gamma_k = cov(Z_t, Z_{t+k}) = E(Z_t - \mu)(Z_{t+k} - \mu)$$

dan korelasi antara Z_t dan Z_{t+k} adalah :

$$\rho_k = corr(Z_t, Z_{t+k}) = \frac{cov(Z_t, Z_{t+k})}{\sqrt{var(Z_t)var(Z_{t+k})}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0}$$

Pada analisis deret waktu, γ_k disebut sebagai fungsi autokovarian dan ρ_k disebut sebagai fungsi autokorelasi yang merupakan ukuran keeratan antara Z_t dan Z_{t+k} dari proses yang sama dan hanya dipisahkan oleh selang waktu ke-*k* (Wei, 2006).

Pada dasarnya fungsi autokorelasi tidak mungkin dihitung dari populasi sehingga fungsi autokorelasi dihitung dengan pengambilan data sampel dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k}(Z_t - \bar{Z})(Z_{t+k} - \bar{Z})}{\sum_{t=1}^{n}(Z_t - \bar{Z})^2}, k = 0,1,2, \ldots$$

Nilai ρ_k yang mendekati ± 1 mengindikasikan adanya korelasi tinggi, sedangkan ρ_k yang mendekati nol akan mengindikasikan adanya hubungan yang lemah. Diagram FAK dapat digunakan sebagai alat untuk mengidentifikasi kestasioneran data. Jika diagram FAK cenderung turun lambat atau turun secara linear, maka dapat disimpulkan data belum stasioner dalam rata-rata.

Menurut Wei (2006), fungsi autokovarian dan autokorelasi berada dalam kondisi stasioner dengan syarat:

a. $\gamma_0 = var(Z_t)$ dan $\rho_0 = 1$

b. $|\gamma_k| \leq \gamma_0$ dan $|\rho_k| \leq 1$

c. $\gamma_k = \gamma_{-k}$ dan $\rho_k = \rho_{-k}$

2.2.3 Fungsi Autokorelasi Parsial

ngsi autokorelasi parsial (FAKP) adalah suatu fungsi yang menunjukkan korelasi parsial antara pengamatan pada waktu *t* dengan pengamatan ktu-waktu sebelumnya. Autokorelasi parsial digunakan untuk mengukur tingkat keeratan antara Z_t dan Z_{t-k}, apabila pengaruh dari lag waktu (*time lag*) 1, 2, 3, ..., k-1 dianggap terpisah. Rumus autokorelasi parsial adalah:

$$\phi_{kk} = corr(Z_t, Z_{t-k} | Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-k+1})$$

Nilai ϕ_{kk} dapat ditentukan melalui persamaan Yule Walker sebagai berikut:

$$\rho_j = \phi_{k1}\rho_{j-1} + \dots + \phi_{kk}\rho_{j-k}, j = 1,2, \dots, k-1$$

Durbin pada tahun 1960 telah memperkenalkan metode yang lebih efisien untuk menyelesaikan persamaan Yule Walker (Aswi, 2006), yaitu:

$$\phi_{kk} = \frac{\rho_k - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j}\rho_{k-j}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j}\rho_j}$$

dengan $\phi_{kj} = \phi_{k-1,j} - \phi_{kk}\phi_{k-1,k-j}$, untuk $j = 1,2, \dots, k-1$.

2.3 *Autoregressive Integrated Moving Average*

Model *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA) merupakan hasil penggabungan antara model *autoregressive* AR(p), *moving average* MA(q) dengan proses *differencing*(d). Model *autoregressive* adalah suatu bentuk regresi, tetapi tidak menghubungkan variabel tak bebas melainkan menghubungkan nilai-nilai sebelumnya pada *time lag* (selang waktu) yang bermacam-macam. Jadi, suatu model *autoregressive* akan menyatakan suatu ramalan sebagai fungsi nilai-nilai sebelumnya dari deret waktu tertentu (Makridakis dkk., 1998). Sedangkan *moving average* merupakan model yang menggambarkan ketergantungan variabel terikat Z terhadap nilai-nilai *residual* pada waktu sebelumnya yang berurutan.

Secara umum, bentuk model ARIMA(p,d,q) sebagai berikut:

$$\phi_p(B)(1-B)^d Z_t = \theta_q(B)e_t \tag{2.2}$$

dengan p = orde AR

d = orde *differencing*

q = orde MA

$\phi_p(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_P B^P)$

$\theta_q(B) = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q)$

$\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_p$= koefisien orde p

$\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_q$= koefisien orde q

$(1-B)^d$ = orde *differencing* non-musiman

Z_t = besarnya pengamatan (kejadian) pada waktu ke-*t*

e_t = suatu proses *white noise* atau *residual* pada waktu ke-t yang diasumsikan mempunyai *mean* nol dan variansi konstan σ_e^2 (Aswi, 2006).

Tahapan dalam model ARIMA menurut Box-Jenkins ada empat yaitu identifikasi model, penaksiran parameter, pemeriksaan diagnostik, dan peramalan (Gujarati, 2003).

2.3.1 Identifikasi Model

Tahap awal untuk melakukan identifikasi model sementara adalah menentukan apakah data deret waktu yang akan digunakan untuk peramalan sudah stasioner atau tidak, baik dalam rata-rata maupun dalam variansi. Langkah selanjutnya adalah identifikasi diagram FAK dan FAKP-nya untuk membantu menetapkan model ARIMA yang paling tepat untuk peramalan. Kriteria FAK dan FAKP pada model ARIMA ditampilkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kriteria FAK dan FAKP pada Model ARIMA

Model ARIMA	FAK	FAKP
AR(p)	Turun secara eksponensial (sinusoida) menuju 0 dengan bertambahnya k (*dies down*)	Terpotong setelah *lag* p (*lag* 1,2,...,p yang signifikan berbeda dengan 0) (*cut off after lag* p)
MA(q)	*Cut off after lag* q	*Dies down*
ARMA(p,q)	*Dies down*	*Dies down*

Sumber: (Aswi, 2006).

2.3.2 Penaksiran Parameter

Setelah diperoleh taksiran model awal ARIMA (p,d,q), selanjutnya parameter dari model tersebut ditaksir sehingga didapatkan koefisien model. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menaksir parameter model ARIMA adalah metode *maximum likelihood*. Metode *maximum likelihood* merupakan salah satu cara untuk melakukan penaksiran parameter yang tidak diketahui. ... penaksiran *maximum likelihood* menguji apakah penaksiran maksimum ...ak diketahui dari fungsi *likelihood* suatu sampel nilainya sudah ...mumkan fungsi *likelihood*.

Misalkan x adalah variabel acak yang diketahui fungsi probabilitasnya $f(x;\theta)$, dengan θ adalah parameter yang tidak diketahui. Misalkan $x_1, x_2, \dots, x_n$ adalah sampel acak dari n pengamatan, maka fungsi *likelihood* sampel tersebut adalah (Montgomery, 2001):

$$L(\theta) = L(\theta; x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^{n} f(x_i;\theta)$$

Kemudian, persamaan $L(\theta)$ tersebut diturunkan terhadap θ untuk memperoleh penaksiran yang maksimum. Dalam banyak kasus, penggunaan turunan akan lebih mudah bekerja pada logaritma natural dari $L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta)$, yaitu:

$$\frac{\partial \ln L(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta)}{\partial \theta} = 0$$

2.3.3 Pemeriksaan Diagnostik

Pemeriksaan diagnostik dapat dibagi dalam dua bagian, yaitu uji signifikansi parameter dan uji kesesuaian model (uji asumsi *white noise* dan distribusi normal). Pengujian signifikansi parameter dengan uji *t*, pengujian *white noise* dengan uji *Ljung-Box*, sedangkan pengujian asumsi distribusi normal dengan uji *Jarque-Berra*.

1. Uji Signifikansi Parameter

Model ARIMA yang baik adalah model yang menunjukkan bahwa penaksiran parameternya signifikan berbeda dengan nol. Misalkan θ adalah suatu parameter pada model ARIMA dan $\hat{\theta}$ adalah nilai taksiran dari parameter tersebut, serta SE($\hat{\theta}$) adalah *standar error* dari nilai taksiran $\hat{\theta}$, maka uji signifikansi parameter dapat dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- Hipotesis $\quad H_0 : \hat{\theta} = 0$ (parameter tidak signifikan)

  $H_1 : \hat{\theta} \neq 0$ (parameter signifikan)
- Statistik Uji $\quad t_{hit} = \frac{\hat{\theta}}{\mathrm{SE}(\hat{\theta})}$ (2.3)
- Daerah Penolakan

  Tolak H_0 jika $|t_{hit}| > t_{\alpha/2}; df = n - n_p, n_p =$ banyaknya parameter atau lak H_0 jika $p_{value} < \alpha$.

2. Uji Kesesuaian Model

a. Uji Asumsi *White Noise*

- Hipotesis H$_0$: $\rho_1 = \rho_2 = \cdots = \rho_K = 0$ (sisa memenuhi syarat WN)

  H$_1$: Minimal ada satu $\rho_j \neq 0$, j = 1,2,...,K (sisa tidak WN)

- Statistik Uji : uji *Ljung-Box* atau *Box-Pierce Modified*:

$$Q = n(n+2)\sum_{k=1}^{K}\frac{\hat{\rho}_k^2}{(n-k)} \tag{2.4}$$

  dengan $\hat{\rho}_k^2$ diperoleh dari $\hat{\rho}_k^2 = \frac{\sum_{t=1}^{n-k}(\hat{a}_t - \hat{a})}{\sum_{t=1}^{n}(\hat{a}-\hat{a})^2}$

- Daerah Penolakan

  Tolak H$_0$ jika $Q > \chi^2_{\alpha;df=K-m}$. K berarti pada *lag* K dan m adalah jumlah parameter yang ditaksir dalam model.

b. Uji Asumsi Distribusi Normal

Salah satu cara untuk melakukan uji asumsi distribusi normal adalah uji *Jarque –Berra* (JB). Uji ini berfungsi untuk menguji kenormalan distribusi data yang mengukur perbedaan antara *skewness* (kemenjuluran) dan *kurtosis* (keruncingan) dari distribusi data. Uji JB memiliki hipotesis sebagai berikut:

- Hipotesis H$_0$: *residual* data berdistribusi normal

  H$_1$: *residual* data berdistribusi tidak normal

- Statistik Uji $JB = n\left[\frac{S^2}{6} + \frac{(K-3)^2}{24}\right]$

  dengan n = banyaknya pengamatan, S = koefisien kemenjuluran, K = koefisien keruncingan.

- Daerah Penolakan

  Tolak H$_0$ jika $p_{value} > \alpha$. Data yang berdistribusi normal memiliki nilai S = 0 dan K = 3 serta nilai JB mendekati 0 (Gujarati, 2003).

2.3.4 Peramalan

Tujuan utama dalam pembangunan model adalah dapat meramalkan nilai-nilai deret waktu yang akan datang dan juga menaksir ketepatan hasil peramalan. ...ruh parameter model signifikan dan seluruh asumsinya terpenuhi, ...n dapat dilakukan.

2.4 *Autoregressive Integrated Moving Average* dengan Variabel Eksogen

Model deret waktu univariat hanya menggunakan nilai lampau dari variabel yang digunakan, untuk meramalkan nilai masa depan. Variabel penjelas dapat dimasukkan ke dalam model univariat tersebut, yang menghasilkan model deret waktu ARIMAX yang disebut *autoregressive integrated moving average* dengan variabel eksogen untuk mendapatkan peramalan yang lebih baik. Selain meningkatkan akurasi peramalan, pemodelan deret waktu tersebut dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang hubungan dinamis antar variabel. Model ARIMAX dikembangkan berdasarkan metode yang diusulkan oleh Tiao dan Box, yang mirip dengan metode Box dan Jenkins untuk model univariat, kecuali korelasi silang antara model (Bolanle & Oluwadare, 2017). Pemodelan ARIMAX mengikuti langkah prosedur Box dan Jenkins yaitu identifikasi, estimasi, diagnostik dan peramalan. Bentuk umum model ARIMAX(p,d,q):

$$\phi_p(B)(1-B)^d Z_t = \theta_q(B)e_t + a_1X_{1,t} + a_2X_{2,t} + \cdots + a_lX_{l,t} + \cdots + a_nX_{n,t} \quad (2.5)$$

dengan $X_{l,t}$ adalah variabel penjelas atau variabel eksogen ke-l pada saat t dengan l = 1, 2, 3, ..., n dan a adalah koefisien dari variabel eksogen (Hamjah & Chowdhury, 2014).

2.5 Heteroskedastisitas

Suatu keadaan dikatakan heteroskedastisitas apabila suatu data memiliki variansi *residual* yang tidak konstan untuk setiap observasi atau dengan kata lain melanggar asumsi $Var\ (e_t) = \sigma_t^2$. Heteroskedastisitas disebabkan oleh volatilitas data yang tinggi, dimana adanya fluktuasi yang cukup tajam pada data di periode waktu tertentu namun stabil pada periode waktu yang lain.

Uji *Lagrange-Multiplier* (LM) merupakan pengujian untuk mengetahui masalah heteroskedastisitas dalam deret waktu yang dikembangkan oleh Engle. Misalkan $e_t = r_t - \mu_t$ adalah *residual* dari persamaan rata-rata. Deret *residual* kuadrat e_t^2 digunakan untuk mengecek heteroskedastisitas bersyarat, yang juga ... ebagai efek ARCH. Untuk mengecek ada tidaknya efek ARCH, dapat ... n menggunakan statistik uji *Lagrange-Multiplier* (LM) yang ... lkan oleh Engle (Tsay, 2010).

- Hipotesis

  H_0 : $\alpha_1 = \alpha_2 = \cdots = \alpha_k = 0$ (tidak ada efek ARCH/GARCH dalam *residual* sampai *lag* ke-*k*)

  H_1 : $\exists \alpha_i \neq 0, i = 1,2, \ldots, k$ (ada efek ARCH/GARCH dalam *residual* sampai *lag* ke-*k*)
- Taraf Signifikansi : α
- Statistik Uji

$$F = \frac{(SSR_0 - SSR_1)/m}{SSR_1/(N - 2m - 1)} \tag{2.6}$$

  dengan *m* = derajat bebas, $SSR_0 = \sum_{m+1}^{N}(\varepsilon_t^2 - \varpi)$, $SSR_1 = \sum_{m+1}^{N}(\hat{e}_t^2)$, ϖ = rata-rata sampel dari e_t^2, $\hat{e}_t^2$ = *residual* kuadrat terkecil dan *N* = ukuran sampel.
- Kriteria Uji : Tolak H_0 jika $p_{value} < \frac{\alpha}{2}$.

2.6 *Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*

Model yang dapat digunakan untuk mengatasi variansi *residual* yang tidak konstan dalam data deret waktu finansial adalah model *Autoregressive Conditional Heteroscedasticity* (ARCH) yang diperkenalkan pertama kali oleh Engle pada tahun 1982. Pada model ARCH variansi *residual* (σ_t^2) dipengaruhi oleh *residual* di periode sebelumnya e_{t-1}^2 (Wei, 2006).

Model GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity*) dikemukakan oleh Bollerslev pada tahun 1986 yang merupakan generalisasi dari model ARCH dimana variansi *residual* tidak hanya bergantung dari *residual* periode sebelumnya, tetapi juga bergantung pada variansi *residual* periode sebelumnya. GARCH dianggap memberikan hasil yang lebih sederhana karena menggunakan lebih sedikit parameter sehingga mengurangi tingkat kesalahan dalam perhitungan. Model GARCH digunakan untuk mengatasi orde yang terlalu besar pada model ARCH. Bentuk umum model GARCH (r,s) (Tsay, 2010):

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum\nolimits_{i=1}^{r} \alpha_i e_{t-i}^2 + \sum\nolimits_{j=1}^{s} \beta_j \sigma_{t-j}^2 \tag{2.7}$$

σ_t^2 : variansi dari *residual* pada waktu *t*

α_0 : komponen konstanta

α_i : parameter dari ARCH

e_{t-i}^2: kuadrat dari *residual* pada waktu *t-i*

β_j : parameter dari GARCH

σ_{t-j}^2: variansi dari *residual* pada saat *t-j*

$$e_t = \sigma_t h_t$$

dengan $h_t \sim i.i.d$ (*independent and identically distributed*) $N(0,1)$; $\alpha_0 > 0$; $\alpha_i \geq 0$ untuk $i = 1,2,\dots,p$; $\beta_j \geq 0$ untuk $j = 1,2,\dots,q$; $\sum_{i=1}^{p}\sum_{j=1}^{q}(\alpha_i + \beta_j) < 1$. Persamaan variansi yang memenuhi persamaan GARCH (p,q) menghubungkan antara variansi *residual* pada waktu ke-*t* dengan variansi *residual* pada waktu sebelumnya.

2.7 Pemilihan Model Terbaik

Setelah model memenuhi asumsi pada uji diagnostik, maka ada kemungkinan terdapat beberapa model yang sesuai. Dengan demikian, model yang terbaik dapat dipilih untuk digunakan dalam peramalan. Untuk menentukan model terbaik dapat dihitung nilai *Akaike's Information Criterion* (AIC):

$$AIC = n \times ln\left(\frac{SSE}{n}\right) + 2f + n + n \times \ln(2\pi) \quad (2.8)$$

dengan SSE : *Sum Square Error* (Jumlah *Residual* Kuadrat)

f : banyaknya parameter dalam model

n : banyaknya pengamatan

Semakin kecil nilai AIC yang diperoleh berarti semakin baik model yang digunakan (Aswi, 2006).

2.8 Ukuran Ketepatan Metode Peramalan

Ukuran ketepatan metode peramalan dilakukan untuk mengukur ketepatan suatu metode peramalan berdasarkan kesalahan dari peramalan tersebut. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) digunakan untuk memilih metode terbaik dan mengetahui ketepatan dalam melakukan peramalan. Nilai MAPE dapat diperoleh menggunakan rumus pada Persamaan (2.9):

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\left(\frac{Z_t - \hat{Z}_t}{Z_t}\right) \times 100\%\right| \quad (2.9)$$

dengan n : banyaknya periode

X_t : observasi pada periode ke *t*

F_t : ramalan pada periode ke *t*

Semakin kecil nilai MAPE maka nilai ramalan semakin mendekati dengan nilai yang sebenarnya atau dengan kata lain metode yang dipilih merupakan metode yang terbaik. Sebuah metode mempunyai kinerja sangat bagus apabila nilai MAPE berada di bawah 10% dan mempunyai kinerja bagus jika nilai berada di antara 10% dan 20% (Pusparinda, 2017).

Selain itu, *Root Mean Square Error* (RMSE) adalah suatu indikator yang juga dapat digunakan untuk mengukur tingkat akurasi dari nilai ramalan suatu model. Nilai RMSE dapat diperoleh menggunakan rumus pada Persamaan (2.10):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(Z_t - \hat{Z}_t)^2} \tag{2.10}$$

Model terbaik adalah model yang memiliki nilai RMSE terkecil (Aswathi & Duraisamy, 2018).

2.9 Nilai Tukar

Nilai tukar atau kurs mata uang asing menunjukkan harga atau nilai mata uang sesuatu negara dinyatakan dalam nilai mata uang negara lain. Kurs valuta asing dapat juga didefinisikan sebagai jumlah uang domestik yang dibutuhkan, yaitu banyaknya rupiah yang dibutuhkan untuk memperoleh satu unit mata uang asing (Sukirno, 2006). Nilai tukar (kurs) umumnya terbagi menjadi tiga, yaitu:

a. Kurs beli

Kurs beli adalah harga beli mata uang yang dipakai oleh bank dalam penukaran uang asing (*money changer*) dan para pedagang valuta asing untuk membeli valuta asing.

b. Kurs jual

Kurs jual adalah harga jual mata uang yang dipakai oleh bank yang digunakan dalam penukaran mata uang asing dan yang digunakan oleh para pedagang valuta uk menjual valuta asing.

c. Kurs tengah

Kurs tengah adalah penggabungan antara kurs jual dan kurs beli. Hal ini dilakukan dengan cara mencari rata-ratanya.

2.10 Inflasi

Inflasi atau kenaikan harga umum sangat besar pengaruhnya kepada kurs pertukaran valuta asing. Inflasi yang berlaku pada umumnya cenderung untuk menurunkan nilai sesuatu valuta asing. Kecenderungan seperti ini wujud disebabkan efek inflasi yang berikut:

(i) Inflasi menyebabkan harga-harga di dalam negeri lebih mahal dari harga-harga di luar negeri oleh sebab itu inflasi berkecenderungan menambah impor

(ii) Inflasi menyebabkan harga-harga barang ekspor menjadi lebih mahal, oleh karena itu inflasi berkecenderungan mengurangi ekspor.

Keadaan (i) menyebabkan permintaan ke atas valuta asing bertambah dan keadaan (ii) menyebabkan penawaran ke atas valuta asing berkurang, maka harga valuta asing akan bertambah (berarti harga mata uang negara yang mengalami inflasi merosot) (Sukirno, 2006).