

**VEKTOR AUTOREGRESIF EKSOGEN (VARX) DALAM PERAMALAN
KASUS COVID-19 DI INDONESIA**

(Skripsi)

Oleh

ZAMHARA INDAH FAJRIAH



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2022

ABSTRACT

VECTOR AUTOREGRESSIVE EXOGENOUS (VARX) FOR FORECASTING COVID-19 CASES IN INDONESIA

By

ZAMHARA INDAH FAJRIAH

The government has made various efforts to reduce the number of Covid-19 cases, one of which is by holding vaccinations. The vaccination, which is divided into three stages based on the dose, is expected to have an effect on reducing Covid-19 cases. Therefore, this study discusses the relationship between the first dose of vaccination and the second dose of the number of active cases and the number of daily cases of Covid-19 as well as forecasting using the *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX) method. The VARX method is a multivariate time series method involving endogenous and exogenous variables in the model. The steps taken are testing the stationarity of the data to testing the relationship between variables using the Granger causality test. The results obtained that the number of active cases and the number of daily cases as endogenous variables have a two-way causality with exogenous variables, namely the number of vaccinations in the first dose and the number of vaccinations in the second dose. The best model produced in forecasting the Number of Active Cases and the Number of Daily Cases of Covid-19 is VARX(7,2).

Key Word: VARX, Granger causality, multivariate, exogenous, endogenous.

ABSTRAK

VEKTOR AUTOREGRESIF EKSOGEN (VARX) DALAM PERAMALAN KASUS COVID-19 DI INDONESIA

Oleh

ZAMHARA INDAH FAJRIAH

Pemerintah telah melakukan berbagai macam upaya untuk menurunkan angka kasus Covid-19 salah satunya dengan mengadakan vaksinasi. Vaksinasi yang terbagi menjadi tiga tahap berdasarkan dosisnya diharapkan mampu memberikan pengaruh penurunan kasus Covid-19. Oleh karena itu, penelitian ini membahas hubungan vaksinasi dosis pertama dan dosis kedua terhadap Jumlah Kasus Aktif dan Jumlah Kasus Harian Covid-19 serta melakukan peramalan menggunakan metode *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX). Metode VARX merupakan metode deret waktu multivariat yang melibatkan variabel endogen dan variabel eksogen dalam model. Tahapan yang dilakukan, yaitu pengujian stasioneritas data hingga pengujian hubungan variabel dengan menggunakan uji kausalitas Granger. Hasil yang diperoleh bahwa Jumlah Kasus Aktif dan Jumlah Kasus Harian sebagai variabel endogen memiliki kausalitas dua arah dengan variabel eksogennya, yaitu Jumlah Vaksinasi Dosis Pertama dan Jumlah Vaksinasi Dosis Kedua. Model terbaik yang dihasilkan dalam peramalan Jumlah Kasus Aktif dan Jumlah Kasus Harian Covid-19 adalah VARX(7,2).

Kata Kunci: VARX, kausalitas Granger, multivariat, eksogen, endogen.

**VEKTOR AUTOREGRESIF EKSOGEN (VARX) DALAM PERAMALAN
KASUS COVID-19 DI INDONESIA**

Oleh

ZAMHARA INDAH FAJRIAH

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA MATEMATIKA**

Pada

**Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

Judul Skripsi : **VEKTOR AUTOREGRESIF EKSOGEN
(VARX) DALAM PERAMALAN KASUS
COVID-19 DI INDONESIA**

Nama Mahasiswa : **Zamhara Indah Fajriah**

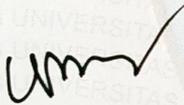
Nomor Pokok Mahasiswa : 1817031041

Jurusan : Matematika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

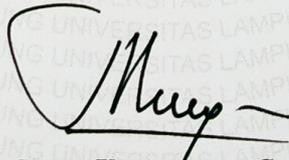


Ir. Warsono, M.S., Ph.D.
NIP 19630216 198703 1 003



Amanto, S.Si., M.Si.
NIP 19730314 200012 1 002

2. Ketua Jurusan Matematika



Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.
NIP 19740316 200501 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Ir. Warsono, M.S., Ph.D.**


.....

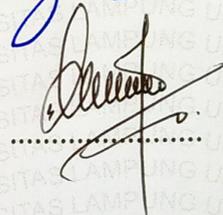
Sekretaris

: **Amanto, S.Si., M.Si.**


.....

Penguji

Bukan Pembimbing : **Dian Kurniasari, S.Si., M.Sc.**


.....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




Dr. Eng. Supto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.

NIP 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Juli 2022**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Zamhara Indah Fajriah

Nomor Pokok Mahasiswa : 1817031041

Jurusan : Matematika

Judul Skripsi : **VEKTOR AUTOREGRESIF EKSOGEN
(VARX) DALAM PERAMALAN
KASUS COVID-19 DI INDONESIA**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri, bukan hasil orang lain dan semua hasil tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung. Apabila kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 2 Agustus 2022

Penulis



Zamhara Indah Fajriah
NPM. 1817031041

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Zamhara Indah Fajriah lahir di Wonokarto pada Minggu, 31 Oktober 1999. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara pasangan Bapak Bambang Sutriyono dan Ibu Istiroh.

Penulis menempuh pendidikan awal di Taman Kanak-Kanak (TK) 'Aisyiyah pada tahun 2004-2005. Kemudian, melanjutkan pendidikan di Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Gadingrejo tahun 2005 hingga 2011. Jenjang pendidikan yang penulis tempuh selanjutnya di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Gadingrejo pada tahun 2011-2014. Penulis melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Gadingrejo pada tahun 2014-2017. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Studi S1 Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung (Unila) melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di organisasi dalam kampus antara lain menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Jurusan Matematika (HIMATIKA) periode 2019, anggota Unit Kegiatan Mahasiswa Fakultas (UKMF) Natural yang bergerak di bidang pers periode 2019, dan sekretaris bidang kaderisasi UKMF Natural periode 2020. Paruh pertama tahun 2021 bulan Februari-Maret penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di Koperasi Simpan Pinjam dan Pembiayaan Syari'ah (KSPPS) BMT Assyafi'iyah Berkah Nasional cabang Gadingrejo. Sebagai salah satu bentuk pengabdian kepada masyarakat pada bulan September-Oktober 2021 penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di desa Wonodadi Kecamatan Gadingrejo Kabupaten Pringsewu.

KATA INSPIRASI

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(Q.S. Al-Baqarah: 286)

"Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada

Tuhan lah engkau berharap."

(Q.S. Al-Insyirah:6-8)

"Jangan katakan kepada Allah bahwa aku punya masalah yang besar, tapi katakan pada masalah bahwa aku punya Allah Yang Maha Besar."

(Ali bin Abi Thalib Ra.)

"Skripsi yang baik adalah skripsi yang selesai."

(Cicin)

"Jangan menyerah sesulit apapun itu. Kamu masih harus lihat mentari terbit esok pagi di mata kedua orang tuamu."

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil 'alamiin segala puji dan syukur hanya milik Allah SWT yang telah memberikan petunjuk, kekuatan, dan kemudahan kepadaku dalam menuntaskan studi ini. Sholawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW.

Mengharap rahmat dan ridho Allah SWT, kupersembahkan karya ini untuk:

Mamak dan Bapak tersayang, terima kasih untuk setiap doa yang tiada henti, setiap dukungan, dan kasih sayang yang tak pernah pudar. Terima kasih untuk selalu ada di sisiku seberapa buruk hal yang terjadi kepadaku. Terima kasih untuk meyakinkan aku yang bahkan ragu akan diriku. Terima kasih telah menghapus semua air mata dan lara dengan senyum hangat.

Mas Gilang, Jihan, Bintang, dan seluruh keluarga besar terima kasih atas doa dan bantuannya untuk kesuksesan penulis.

Dosen pembimbing dan pembahas, terima kasih atas bimbingan, arahan, masukan, serta ilmu yang berharga.

Sahabat-sahabatku, terima kasih telah menemani langkahku, memotivasi, memberikan semangat, menghiburku, dan mengingatkanku bahwa belum saatnya untuk berhenti.

Almamater Tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Vektor Autoregresif Eksogen (VARX) dalam Peramalan Kasus Covid-19 di Indonesia**” yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika di Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak skripsi ini tidak dapat selesai.

Pada kesempatan kali ini teriring doa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Warsono, M.S., Ph.D., selaku Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi dalam penyusunan skripsi.
2. Bapak Amanto, S.Si., M.Si., selaku Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan saran dalam proses penyusunan skripsi.
3. Ibu Dian Kurniasari, S.Si., M.Sc., selaku Penguji yang memberikan kritik, saran, dan evaluasi agar skripsi ini dapat lebih baik.
4. Bapak Agus Sutrisno, S.Si., M.Si., selaku pembimbing akademik atas bimbingan dan arahannya selama masa perkuliahan.
5. Bapak Aang Nuryaman, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yono, S.Si., M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis.
8. Bapak, Mamak, Mas Gilang, Jihan, dan Bintang yang tiada henti mengirimkan doa, semangat, nasihat, dan selalu ada untuk penulis.

9. Nenek, Ibu Mar, Ayah May, Kak Isni, Iga, dan seluruh keluarga besar yang telah membantu dan memberikan banyak motivasi penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi.
10. Yulica, Sherli, Riskuy, Mupid, Pia, Ajeng, Nova, Novela, dan Joe manusia baik hati yang bersedia mendengar keluh kesahku, memberikan banyak tawa, selalu mengulurkan tangan kala aku kesulitan, serta memberikan banyak momen sekaligus pelajaran hidup.
11. Juliana, Andra, Anis, Caca, Sofa, Maydia, Virda, dan Risha yang tidak ada lelahnya memberikan dukungan, motivasi, dan semangat.
12. Reggy, Shella, dan Mbak Ami tetanggaku yang banyak membantu dan memberikan semangat.
13. Amel, Amelie, Vivo, Intan, Naufal, Nane, Humay, Ranti, Robby, Reajeng, Rafid dan Syahrul teman-teman seperbimbingan yang berjuang bersama, membantu, dan menyemangati satu sama lain.
14. Teman-teman Mahasiswa Jurusan Matematika FMIPA Unila Angkatan 2018 dan Natural 2020.
15. Serta seluruh pihak terkait yang telah banyak membantu namun tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat memperbaiki ketidak sempurnaan tersebut. Serta penulis juga berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk orang lain.

Bandar Lampung, 20 Juli 2022

Penulis,

Zamhara Indah Fajriah

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	XV
DAFTAR GAMBAR	XVI
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	4
1.3. Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Analisis Deret Waktu	5
2.2. Model VAR	6
2.3. Model VARX	7
2.4. Estimasi Parameter VARX	7
2.5. Stasioneritas Data	10
2.6. Kausalitas Granger	11
2.7. Penentuan Model VARX	12
2.8. Uji Signifikansi Parameter	12
2.9. Asumsi Residual	13
2.10. Transformasi Box-Cox	14
2.11. Akurasi Peramalan	15
2.12. Covid-19	15
III. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	17
3.2. Data Penelitian	17
3.3. Metode Penelitian	19
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1. Stasioneritas Data	21
4.2. Uji Kausalitas Granger	24
4.3. Penentuan Orde p	25
4.4. Estimasi Parameter VARX	26
4.5. Penentuan Model VARX	29
4.6. Uji Asumsi Residual	30

4.7. Prediksi	31
4.8. Peramalan	35
V. KESIMPULAN	38
DAFTAR PUSTAKA	39
LAMPIRAN	43

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Covid-19	18
2. <i>P-value</i> uji <i>Augmented Dickey-Fuller</i>	23
3. <i>P-value</i> uji Kausalitas Granger	24
4. Daftar perkiraan <i>lag</i> optimum dengan nilai AIC dan BIC	26
5. Estimasi parameter VARX data tanpa transformasi	27
6. Estimasi parameter VARX data dengan transformasi	28
7. Prediksi dari model VARX	31
8. Peramalan Kasus Covid-19	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pola Data	5
2. Diagram Alir Pemodelan VARX	20
3. Plot Jumlah Kasus Aktif	21
4. Plot Jumlah Kasus Harian	22
5. Plot Jumlah Vaksinasi Dosis Pertama.....	22
6. Plot Jumlah Vaksinasi Dosis Kedua	23
7. Grafik Prediksi Jumlah Kasus Aktif Tanpa Transformasi	33
8. Grafik Prediksi Jumlah Kasus Harian Tanpa Transformasi.....	34
9. Grafik Prediksi Jumlah Kasus Aktif dengan Transformasi	34
10. Grafik Prediksi Jumlah Kasus Harian dengan Transformasi	35
11. Grafik Peramalan Jumlah Kasus Aktif	36
12. Grafik Peramalan Jumlah Kasus Harian	37

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Peramalan merupakan suatu seni sekaligus ilmu pengetahuan yang digunakan dalam memprediksi peristiwa pada masa yang akan datang. Umumnya peramalan dilakukan menggunakan data dari masa lampau yang dianalisis dengan metode tertentu, dapat berupa semacam model matematika (Heizer dan Rander, 2011). Salah satu metode statistika yang penting sebelum melakukan peramalan adalah analisis deret waktu. Aswi dan Sukarna (2006) berpendapat bahwa, analisis deret waktu merupakan salah satu metode statistika yang menggunakan data pengamatan berurutan berdasarkan indeks waktu serta memiliki interval tetap, dengan meramalkan struktur probabilistik keadaan yang akan terjadi sehingga sangat membantu dalam pengambilan keputusan.

Analisis deret waktu terbagi menjadi dua didasarkan pada banyaknya variabel, yaitu model analisis deret waktu yang hanya melibatkan satu variabel, disebut deret waktu univariat, dan deret waktu yang tersusun atas lebih dari satu variabel, disebut deret waktu multivariat. Analisis deret waktu multivariat dapat dimanfaatkan untuk menerangkan pergerakan ataupun hubungan dari variabel-variabel tersebut (Wei, 2006). Makridakis, dkk. (1999) mengemukakan bahwa, deret waktu univariat biasanya menggunakan model peramalan ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*) dan untuk deret waktu multivariat umumnya menggunakan VAR (*Vector Autoregressive*). Model VAR memiliki bentuk yang sederhana karena seluruh variabel diasumsikan sebagai variabel yang ditentukan di dalam model atau variabel endogen dan metode kuadrat terkecil dapat digunakan untuk mengestimasi nilai parameternya. Namun, sering kali dalam praktiknya ditemukan adanya pengaruh dari variabel yang ditentukan di luar model atau biasa disebut variabel

eksogen terhadap variabel endogen. Penelitian yang telah dilakukan Cahyani dan Wachidah (2020) menjelaskan bahwa, penggunaan model VAR dengan banyak variabel endogen dapat menyebabkan derajat bebas semakin banyak hilang sebab akan menggunakan banyak peubah dalam prosesnya. Sehingga dilakukan pengembangan terhadap model VAR dengan cara menambah variabel eksogen dalam model tersebut yang kemudian dinamakan model *Vector Autoregressive Exogenous* (VARX).

Model VARX merupakan salah satu analisis statistik yang kerap digunakan dalam penelitian data deret waktu di lingkup keuangan, bisnis, dan ekonomi (Warsono, dkk., 2019). Kelebihan lain dari model VARX dapat menjelaskan hubungan antara variabel endogen dengan eksogen atau hanya antarvariabel endogen saja. Model VARX juga mampu mengatasi kekurangan yang terdapat dalam model VAR, yaitu mengurangi derajat bebas yang hilang dengan cara menambahkan variabel eksogen. Namun, model VARX masih memiliki kekurangan, yakni asumsi stasioneritas yang harus terpenuhi terlebih dahulu.

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan menggunakan model VARX. Penelitian Cahyani dan Wachidah (2020), memodelkan variabel impor dan ekspor secara bersamaan serta menggunakan peubah inflasi sebagai variabel eksogen untuk melakukan peramalan. Ketepatan peramalan impor dan ekspor di Indonesia diukur dengan melihat nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Adapun penelitian Prahutama, dkk. (2019), mengenai pemodelan menggunakan VARX untuk menganalisis nilai inflasi terhadap PDRB di Jawa Tengah. Peramalan indeks dan *return* saham dengan mempertimbangkan pengaruh pilpres 2019 di Indonesia sebagai variabel eksogen telah dilakukan dengan menggunakan metode tersebut oleh Ulyah (2019). VARX juga terdapat dalam penelitian yang dilakukan Warsono, dkk. (2019) dalam memodelkan sekaligus melakukan peramalan energi PRBA dan HRUM sebagai variabel endogen dan variabel eksogennya ialah nilai tukar. Analisis kausalitas IRF dan Granger juga dilakukan untuk melihat perilaku dinamis data.

Hingga saat ini Indonesia belum usai dalam menghadapi *Coronavirus Disease 2019* (Covid-19) sebab kasus baru terus terjadi setiap harinya. Covid-19 yang disebabkan oleh *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2* (SARS-CoV-2) dan telah ditetapkan *World Health Organization* (WHO) sejak 11 Maret 2020 sebagai pandemi (Kemenkes RI, 2020). Penelitian Tamara (2021) mengemukakan bahwa, sumber transmisi utama yang menjadi penyebab meningkatnya kasus ini adalah penyebaran dari manusia ke manusia sehingga diperlukan vaksinasi untuk memutus rantai penyebaran. Pemerintah Indonesia juga telah melakukan upaya vaksinasi terhitung sejak 13 Januari 2021 sampai saat ini. Diketahui bahwa Indonesia telah mencapai target vaksinasi sebesar 40% pada 22 Desember 2021 dan menargetkan 70% populasi tervaksinasi pada pertengahan 2022.

Perkembangan kasus pandemi Covid-19 dapat dilihat dengan memanfaatkan analisis deret waktu untuk peramalan seberapa banyak penduduk yang masih terinfeksi dan penduduk yang terpapar setiap harinya. Vaksinasi yang telah dilakukan juga dapat dilihat pengaruhnya terhadap perkembangan kasus sehingga diharapkan mampu menjadi pertimbangan pemerintah dalam menetapkan kebijakan kedepannya. Telah banyak penelitian yang dilakukan dalam mengamati perkembangan kasus Covid-19, salah satu metode yang marak digunakan adalah ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*). Zili, Kharis, dan Lestari (2021) telah menerapkan metode tersebut untuk menganalisis data deret waktu berupa variabel kematian akibat Covid-19 di Jakarta.

Penelitian ini akan menggunakan metode VARX dengan bantuan *RStudio* untuk peramalan variabel yang masih menarik untuk dikulik, yaitu Jumlah Kasus Aktif dan Jumlah Kasus Harian Covid-19 di Indonesia. Jumlah Kasus Aktif dan Jumlah Kasus Harian akan berperan sebagai variabel endogen, sedangkan Jumlah Vaksinasi Dosis Pertama dan Jumlah Vaksinasi Dosis Kedua menjadi variabel eksogennya. Kausalitas Granger juga akan digunakan untuk melihat pengaruh antara variabel satu dengan yang lainnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Berikut tujuan dari penelitian ini:

1. Mengetahui pengaruh variabel eksogen, yaitu Jumlah Vaksinasi Dosis Pertama dan Jumlah Vaksinasi Dosis Kedua terhadap variabel endogen, yaitu Jumlah Kasus Harian dan Jumlah Kasus Aktif dari data Covid-19 di Indonesia.
2. Mendapatkan model terbaik pada data Covid-19 dengan menggunakan model VARX.
3. Peramalan variabel Jumlah Kasus Harian dan Jumlah Kasus Aktif Covid-19 di Indonesia.

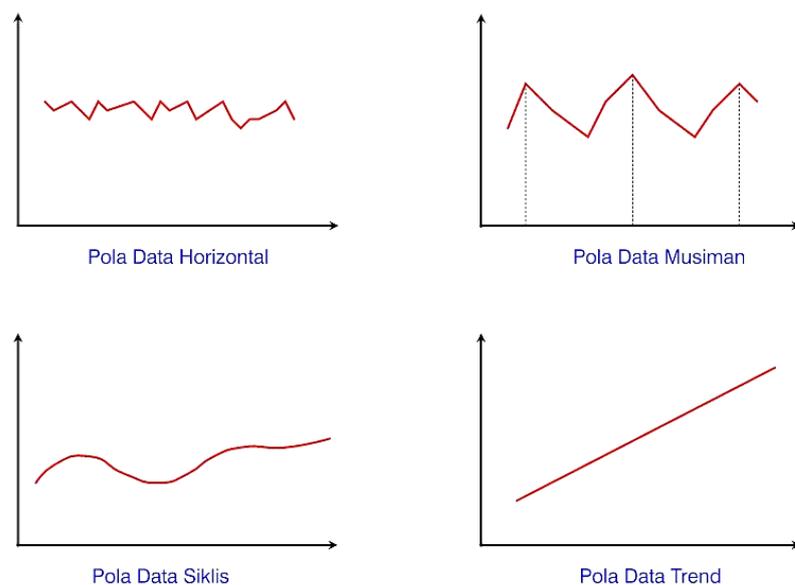
1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu menjadi salah satu sarana untuk mengembangkan wawasan maupun sebagai referensi dalam melakukan peramalan data deret waktu multivariat khususnya metode VARX. Dapat pula menjadi bahan pertimbangan pemerintah dalam menghadapi kasus Covid-19 di Indonesia.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Deret Waktu

Deret waktu merupakan serangkaian pengamatan yang ditulis berdasarkan urutan waktu pada interval tetap dan disusun menjadi data statistik (Makridakis, 1999). Analisis deret waktu merupakan salah satu prosedur statistika yang diterapkan untuk meramalkan struktur probabilistik yang akan terjadi di masa depan sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan pengambilan keputusan (Aswi dan Sukarna, 2006). Maulana (2018) mengatakan bahwa, data dikumpulkan dalam satuan waktu jam, minggu, bulan, kuartal, dan tahun secara periodik. Metode peramalan pada data deret waktu dapat ditentukan dengan melihat pola dari data tersebut sehingga analisis dapat dilakukan dengan sesuai. Pola data terbagi menjadi empat, yaitu musiman, siklis, tren dan horizontal.



Gambar 1. Pola Data.

2.2 Model VAR

VAR merupakan model hasil generalisasi dari model AR yang berbentuk univariat. Model ini biasanya digunakan untuk menjelaskan hubungan antara beberapa deret waktu (Ulyah, 2019). Orpia, dkk. (2014) menuturkan bahwa, salah satu model deret waktu multivariat, yaitu model VAR mampu memodelkan beberapa variabel data deret waktu. Pemodelan persamaan dilakukan secara simultan dengan setiap variabel memiliki ketergantungan. Semua variabel yang terkandung dalam model umum adalah variabel endogen.

Berikut definisi model umum VAR:

$$Y_t = \alpha + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.1)$$

dengan:

Y_t = vektor berukuran $n \times 1$ berisi n variabel endogen pada waktu t dan

$$t - i, i = 1, 2, \dots, p$$

α = vektor konstanta berukuran $n \times 1$

ϕ_i = matriks parameter variabel endogen berukuran $n \times n$

ε_t = vektor galat berukuran $n \times 1$

Model VAR yang dimisalkan terdiri dari 2 variabel dan 1 lag dapat ditulis:

$$\begin{aligned} Y_{1,t} &= \alpha_{10} + \phi_{11} Y_{1,t-1} + \phi_{12} Y_{2,t-1} + \varepsilon_{1,t} \\ Y_{2,t} &= \alpha_{20} + \phi_{21} Y_{1,t-1} + \phi_{22} Y_{2,t-1} + \varepsilon_{2,t} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Bentuk matriksnya adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_{10} \\ \alpha_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} \\ \phi_{21} & \phi_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{1,t-1} \\ Y_{2,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Model VAR memiliki beberapa asumsi yang harus dipenuhi diantaranya stasioner dan tidak mengandung autokorelasi.

2.3 Model VARX

Ocampo dan Rodriguez (2012) mengatakan bahwa, model VARX memiliki dua orde, yaitu p yang merupakan orde variabel endogen dan q merupakan orde variabel eksogen. Diasumsikan pula bahwa model memiliki n variabel endogen dan m variabel eksogen.

Berikut model umum VARX:

$$Y_t = \alpha + \phi_1 Y_{t-1} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \theta_1 X_{t-1} + \dots + \theta_q X_{t-q} + \varepsilon_t \quad (2.4)$$

dengan:

Y_t = vektor berukuran $n \times 1$ berisi n variabel endogen pada waktu t
dan $t - i, i = 1, 2, \dots, p$

α = vektor konstanta berukuran $n \times 1$

ϕ_i = matriks parameter variabel endogen berukuran $n \times n$

X_{t-j} = vektor variabel eksogen pada waktu $t - j, j = 1, 2, \dots, q$

θ_j = matriks parameter variabel eksogen berukuran $n \times q$

ε_t = vektor galat berukuran $n \times 1$

p = lag variabel endogen

q = lag variabel eksogen

2.4 Estimasi Parameter VARX

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Rosyidah, dkk. (2017), metode kuadrat terkecil dapat digunakan untuk memperoleh estimasi parameter model VARX, yakni berupa galat terkecil hasil dari mengkuadratkan galat.

$$\begin{aligned}
Y_1 &= \alpha + \phi_1 Y_{1-1} + \cdots + \phi_p Y_{1-p} + \theta_1 X_{1-1} + \cdots + \theta_q X_{1-q} + \varepsilon_1 \\
Y_2 &= \alpha + \phi_1 Y_{2-1} + \cdots + \phi_p Y_{2-p} + \theta_1 X_{2-1} + \cdots + \theta_q X_{2-q} + \varepsilon_2 \\
&\vdots \\
Y_n &= \alpha + \phi_1 Y_{n-1} + \cdots + \phi_p Y_{n-p} + \theta_1 X_{n-1} + \cdots + \theta_q X_{n-q} + \varepsilon_n
\end{aligned} \tag{2.5}$$

Berikut bentuk matriksnya:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Y_{1-1} & \cdots & Y_{1-p} & X_{1-1} & \cdots & X_{1-q} \\ 1 & Y_{2-1} & \cdots & Y_{2-p} & X_{2-1} & \cdots & X_{2-q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & Y_{n-1} & \cdots & Y_{n-p} & X_{n-1} & \cdots & X_{n-q} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \alpha \\ \phi_1 \\ \vdots \\ \phi_p \\ \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \tag{2.6}$$

Misalkan,

$$Y = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & Y_{1-1} & \cdots & Y_{1-p} & X_{1-1} & \cdots & x_{1-q} \\ 1 & Y_{2-1} & \cdots & Y_{2-p} & x_{2-1} & \cdots & x_{2-q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & Y_{n-1} & \cdots & Y_{n-p} & x_{n-1} & \cdots & x_{n-q} \end{bmatrix}_{n \times (p+q+1)}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \alpha \\ \phi_1 \\ \vdots \\ \phi_p \\ \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_q \end{bmatrix}_{(p+q+1) \times 1} \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

Maka matriks pada (2.6) dapat ditulis menjadi persamaan di bawah ini:

$$\begin{aligned}
Y &= A\beta + \varepsilon \\
\varepsilon &= Y - A\beta
\end{aligned} \tag{2.7}$$

Pendugaan parameternya dimisalkan menjadi:

$$E = Y - A\hat{\beta} \tag{2.8}$$

E merupakan matriks berukuran $n \times 1$ sebagai berikut:

$$E = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

Misal, jumlah kuadrat dari galatnya:

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2 = E^t E$$

$$\begin{aligned} S &= E^t E \\ &= (Y - A\hat{\beta})^t (Y - A\hat{\beta}) \\ &= Y^t Y - Y^t A\hat{\beta} - (A\hat{\beta})^t Y + (A\hat{\beta})^t A\hat{\beta} \\ &= Y^t Y - (Y^t A\hat{\beta})^t - \hat{\beta}^t A^t Y + \hat{\beta}^t A^t A\hat{\beta} \\ &= Y^t Y - \hat{\beta}^t A^t Y - \hat{\beta}^t A^t Y + \hat{\beta}^t A^t A\hat{\beta} \\ &= Y^t Y - 2\hat{\beta}^t A^t Y + \hat{\beta}^t A^t A\hat{\beta} \end{aligned} \tag{2.9}$$

Memaksimumkan jumlah kuadrat galat pada (2.9) dengan menurunkan jumlah kuadrat galat terhadap penduga parameter, menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial \hat{\beta}} &= 0 \\ 0 &= \frac{\partial S}{\partial \hat{\beta}} \\ 0 &= \frac{\partial}{\partial \hat{\beta}} (Y^t Y - 2\hat{\beta}^t A^t Y + \hat{\beta}^t A^t A\hat{\beta}) \\ 0 &= 0 - 2A^t Y + 2A^t A\hat{\beta} \\ 2A^t A\hat{\beta} &= 2A^t Y \\ A^t A\hat{\beta} &= A^t Y \\ \hat{\beta} &= (A^t A)^{-1} A^t Y \end{aligned} \tag{2.10}$$

Sehingga parameter β memiliki estimasi nilai $\hat{\beta} = (A^t A)^{-1} A^t Y$.

2.5 Stasioneritas Data

Salah satu syarat yang harus terpenuhi dalam analisis deret waktu adalah stasioneritas data. Stasioner memiliki arti bahwa nilai rata-rata dan varian setiap *lag* konstan untuk setiap waktu dengan kata lain tidak terjadi pertumbuhan dan penurunan data (Cahyani dan Wachidah, 2010).

Stasioneritas data dapat diketahui dengan menggunakan uji *Augmented Dickey Fuller* (ADF). Apabila tidak terpenuhi kestasioneran data maka dapat dilakukan pembedaan (Wei, 2006). Proses pembedaan ialah proses pencarian terurut dari selisih data suatu periode dengan periode sebelumnya. Pembedaan dapat dilakukan beberapa kali hingga data stasioner. Berikut persamaan yang digunakan untuk pembedaan pertama:

$$\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1} = Y_t - Y_{t-1} = (1 - B)Y_t \quad (2.11)$$

dengan:

Y_t = data asli waktu ke- t

B = *backshift* operator

Penggunaan notasi B yang dipasangkan dengan Y berfungsi untuk menggeser data satu periode sebelumnya. Pembedaan yang dilakukan sebanyak d dapat ditulis persamaannya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta^d Y_t &= \Delta^{d-1} Y_t - \Delta^{d-1} Y_{t-1} \\ &= \Delta^{d-1} Y_t - \Delta^{d-1} B Y_t \\ &= \Delta^{d-1} Y_t (1 - B) \\ &= (1 - B)^{d-1} (1 - B) Y_t \\ &= (1 - B)^d Y_t \end{aligned} \quad (2.12)$$

Gujarati dan Porter (2009) menuturkan bahwa, stasioneritas terhadap rata-rata dapat dilakukan pengecekan menggunakan uji *Augmented Dickey Fuller* (ADF) yang merupakan salah satu uji akar unit. Adapun statistik uji ADF dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{\delta}{Se(\delta)} \quad (2.13)$$

dengan:

δ = nilai dugaan parameter autoregresif (AR)

Se = standar *error*

Hipotesis awal dari pengujian ini ketika $\delta = 0$ artinya data tidak stasioner. Sedangkan hipotesis alternatif dari uji ADF adalah $\delta \neq 0$ artinya data stasioner. Kriteria pengujian untuk menolak H_0 ketika $\tau > \tau_{tabel}$ atau $p - value < \alpha$ sehingga data stasioner dalam rata-rata.

2.6 Kausalitas Granger

Uji kausalitas sering menggunakan metode Granger untuk mengetahui hubungan antara variabel satu dengan variabel yang lain. Kausalitas Granger tidak melakukan estimasi terhadap model melainkan hanya menguji hubungan antarvariabel.

Hafidh (2011) menjelaskan bahwa, misal ada dua variabel, yaitu X dan Y akan memiliki empat kemungkinan yang akan dihasilkan, yaitu:

1. Kausalitas satu arah dari variabel Y ke X dapat diartikan bahwa Y penyebab granger X .
2. Kausalitas satu arah dari variabel X ke Y atau dengan kata lain X penyebab granger Y .
3. Tidak ada hubungan kausalitas antara variabel X dan Y .

4. Kausalitas dua arah antara variabel X dan Y yang artinya X penyebab granger Y dan Y penyebab granger X .

2.7 Penentuan Model VARX

Maulana (2018) berpendapat bahwa, *Akaike Information Criterion* (AIC) dan *Bayesian Information Criterion* (BIC) merupakan alat untuk melakukan uji kesesuaian model dari data deret waktu. Nilai AIC dan BIC yang semakin kecil menandakan semakin baik model yang diperoleh.

Nilai AIC dan BIC dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$AIC = \ln|\hat{\Sigma}_p| + (k + pk^2) \frac{2}{T} \quad (2.14)$$

$$BIC = \ln|\hat{\Sigma}_p| + (k + pk^2) \frac{2\ln(\ln(T))}{T} \quad (2.15)$$

Dimana $\hat{\Sigma}_p$ adalah matriks penduga residual model VAR, p adalah panjang *lag* model VAR, k adalah banyaknya variabel, dan T adalah banyaknya pengamatan (Kirchgassner dan Wolters, 2007).

Penentuan orde p atau panjang *lag* milik variabel endogen dapat dilakukan dengan melihat *lag* yang memiliki nilai AIC dan BIC terkecil. Sama halnya dengan menentukan orde q , yakni panjang *lag* milik variabel eksogen ditentukan dengan melihat nilai AIC dan BIC terkecil. Sehingga dapat diperoleh model VARX(p, q) terbaik.

2.8 Uji Signifikansi Parameter

Montgomery, dkk. (2015) mengatakan bahwa, parameter yang berpengaruh signifikan pada model dapat diketahui dengan menggunakan uji signifikansi

parameter. Salah satunya menggunakan uji t yang memiliki formula sebagai berikut:

$$t_{hitung} = \frac{\hat{\varnothing}_i}{Se(\varnothing_i)} \quad (2.16)$$

dengan:

$\hat{\varnothing}_i$ = nilai dugaan parameter

Se = standar *error*

Hipotesis nolnya adalah parameter tidak berpengaruh signifikan terhadap model.

Hipotesis nol akan ditolak apabila $t_{hitung} > t_{tabel}$.

2.9 Asumsi Residual

Setelah dilakukan identifikasi model dan parameter kemudian dilanjutkan dengan pemeriksaan asumsi terhadap hasil residual dari model VARX yang diperoleh. Asumsi yang dimiliki diantaranya *white noise* dan berdistribusi normal multivariat (Wei, 2006). Armstrong (2007) berpendapat bahwa, kemampuan model dalam peramalan merupakan hal terpenting. Oleh karena itu, ketika peramalan dilakukan uji asumsi dapat diabaikan.

Distribusi normal univariat yang digeneralisasikan secara langsung dapat membentuk distribusi normal multivariat. Tidak setiap data dapat tepat mengikuti distribusi normal multivariat. Namun, setidaknya distribusi ini berfungsi untuk memperkirakan distribusi yang sebenarnya. Salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kenormalan data multivariat, yaitu uji Mardia. Berasal dari hasil studi yang telah dilakukan uji normalitas multivariat milik Mardia merupakan uji paling stabil untuk menaksir normalitas multivariat, didasarkan pada kemiringan dan keruncingan. Apabila hipotesis nol, yaitu data berdistribusi normal multivariat ditolak dapat mengubah ukuran data dan atau melakukan identifikasi terhadap pencilan multivariat (Sutrisno dan Wulandari, 2018).

Asumsi lain dalam melakukan peramalan menggunakan metode VARX adalah asumsi *white noise*, yakni untuk mendeteksi ada atau tidaknya korelasi residual antar *lag*. Tauryawati dan Irawan (2014) mengatakan bahwa, Uji *Ljung-Box* salah satu uji yang dapat digunakan untuk mengetahui apakah asumsi *white noise* terpenuhi atau tidak. Berikut statistik uji yang digunakan:

$$Q = n(n + 2) \sum_{j=1}^J \frac{\hat{\rho}_j^2}{n - j} \quad (2.17)$$

dengan:

- $\hat{\rho}$ = autokorelasi residual
- n = banyaknya pengamatan
- j = selisih *lag*
- J = banyaknya *lag* yang diuji

Hipotesis nol yang berbunyi residual memenuhi asumsi *white noise* ($\rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_j = 0$) akan ditolak ketika nilai dari $Q > X_{(\alpha; j-p)}^2$ dengan p adalah banyaknya parameter.

2.10 Transformasi Box-Cox

Wei (2006) mengatakan bahwa, transformasi Box-Cox dilakukan terhadap variabel Y yang kemudian dipangkatkan dengan λ . Parameter λ inilah yang digunakan untuk melakukan transformasi. Berikut bentuk umum dari transformasi Box-Cox:

$$T(Y_t) = Y_t^{(\lambda)} = \begin{cases} \frac{Y_t^{(\lambda)} - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0 \\ \ln Y_t, & \lambda = 0 \end{cases} \quad (2.18)$$

dengan:

- Y_t = data pada waktu ke- t
- λ = konstanta dalam melakukan transformasi data

2.11 Akurasi Peramalan

Makridakis, dkk. (1999) mengemukakan bahwa, perhitungan dari akurasi peramalan dapat menunjukkan seberapa baik kemampuan model dalam melakukan peramalan. MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi metode peramalan berupa persentase kesalahan peramalan.

Berasal dari penelitian Chang, dkk. (2007), berikut formula yang digunakan untuk mengukur kesalahan peramalan:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{Y}_i - Y_i|}{Y_i} \quad (2.19)$$

dengan:

- Y_i = nilai aktual periode i
- \hat{Y}_i = nilai peramalan periode i
- n = banyaknya data yang diamati

Nilai MAPE dapat dikelompokkan berdasarkan bagaimana kemampuan dari peramalan yang telah diperoleh sebagai berikut:

- < 10% = memiliki kemampuan peramalan yang sangat baik
- 10% – 20% = memiliki kemampuan peramalan yang baik
- 20%-50% = memiliki kemampuan peramalan yang cukup
- > 50% = memiliki kemampuan peramalan yang buruk

2.12 Covid-19

Coronavirus Disease 2019 (Covid-19) adalah penyakit yang menyerang sistem pernapasan jenis baru. Covid-19 ditularkan dari hewan ke manusia sehingga

termasuk kedalam kelompok zoonosis. Virus ini juga dapat menular dari manusia ke manusia melalui percikan batuk atau bersin. Orang yang melakukan kontak erat dengan pasien Covid-19 memiliki risiko tinggi untuk tertular (Kemenkes RI, 2020). Kasus aktif merupakan pasien yang telah dinyatakan positif Covid-19 dan tengah menjalani perawatan. Sedangkan, kasus harian adalah banyaknya orang yang dinyatakan positif Covid-19 setiap harinya. Salah satu penanggulangan dalam menghadapi pandemi Covid-19 adalah dengan melakukan vaksinasi. Target vaksinasi di Indonesia telah tercapai sebesar 40% dari total populasi pada 22 Desember 2021. Sejauh ini dosis vaksin yang telah diberikan dikelompokkan menjadi tiga, yaitu vaksinasi dosis pertama, vaksinasi dosis kedua, dan vaksinasi dosis ketiga.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun akademik 2021/2022, bertempat di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Data Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data sekunder yaitu data Covid-19 di Indonesia yang dicatat dalam sinta.ristekbrin.go.id/covid/datasets periode 1 Februari 2021 hingga 19 Desember 2021 terakhir diakses pada 3 Februari 2022. Variabel yang digunakan adalah Jumlah Kasus Aktif Covid-19, Jumlah Kasus Harian Covid-19, Jumlah Vaksinasi Dosis Pertama, dan Jumlah Vaksinasi Dosis Kedua. Berikut definisi dari variabel yang digunakan:

1. Jumlah Kasus Aktif adalah banyaknya pasien yang telah dinyatakan positif Covid-19 dan masih menjalani perawatan pada hari tersebut.
2. Jumlah Kasus Harian adalah banyaknya kasus baru atau orang yang dinyatakan positif Covid-19 pada hari tersebut.
3. Jumlah Vaksinasi Dosis Pertama adalah banyaknya penduduk yang melakukan vaksinasi dalam satu hari.
4. Jumlah Vaksinasi Dosis Kedua adalah banyaknya penduduk yang melakukan vaksinasi dalam satu hari.

Masing-masing variabel menggunakan data sebanyak 322. Berikut data yang digunakan:

Tabel 1. Data Covid-19

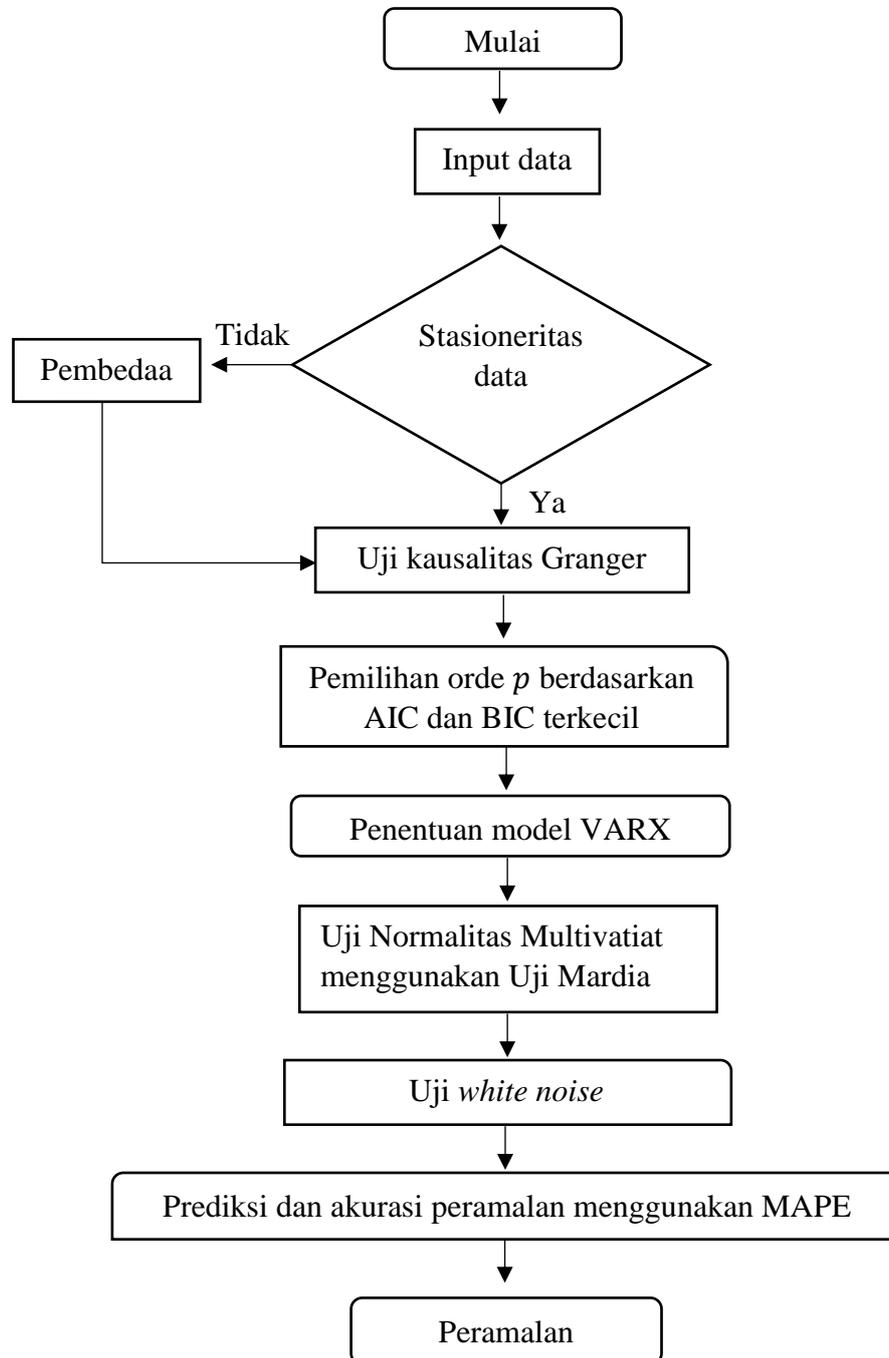
Tanggal	Kasus Harian	Kasus Aktif	Vaksin Dosis ke-1	Vaksin Dosis ke-2
01/02/2021	10.994	175.349	46.399	12.858
02/02/2021	10.379	172.576	56.728	16.593
03/02/2021	11.984	175.236	49.766	19.622
04/02/2021	11.434	174.798	54.240	24.932
05/02/2021	11.749	176.672	44.618	24.172
06/02/2021	12.156	176.433	32.212	16.482
07/02/2021	10.827	176.291	7.222	1.924
08/02/2021	8.242	171.288	30.267	32.139
09/02/2021	8.700	169.351	30.822	50.183
10/02/2021	8.776	168.416	124.139	57.798
11/02/2021	8.435	166.492	47.640	66.354
12/02/2021	9.869	165.086	21.570	34.941
13/02/2021	8.844	161.731	21.570	34.941
14/02/2021	6.765	159.012	8.421	10.092
15/02/2021	6.462	158.498	27.348	57.047
16/02/2021	10.029	160.689	24.868	54.522
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
04/12/2021	246	7.632	580.528	637.050
05/12/2021	196	7.526	186.560	106.923
06/12/2021	130	5.642	271.479	259.670
07/12/2021	261	5.466	630.678	718.200
08/12/2021	264	5.363	630.678	718.200
09/12/2021	220	5.278	630.678	718.200
10/12/2021	192	5.154	801.674	661.948
11/12/2021	228	5.186	801.674	661.948
12/12/2021	163	5.158	309.250	156.859
13/12/2021	106	5.064	463.626	218.011
14/12/2021	190	4.905	866.685	950.984
15/12/2021	205	4.864	630.998	706.790
16/12/2021	213	4.833	853.067	765.101
17/12/2021	291	4.912	944.979	781.321
18/12/2021	232	4.918	712.326	530.470
19/12/2021	164	4.923	568.683	223.406

3.3 Metode Penelitian

Berikut langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini:

1. Memasukkan data Covid-19 sebanyak 322 untuk masing-masing variabel. Variabel endogennya adalah Jumlah Kasus Aktif dan Jumlah Kasus Harian serta variabel eksogennya adalah Jumlah Vaksinasi Dosis Pertama dan Jumlah Vaksinasi Dosis Kedua.
2. Melakukan uji stasioneritas data yang dilakukan menggunakan uji ADF, jika kestasioneran data belum terpenuhi, maka dapat dilakukan pembedaan hingga data stasioner.
3. Uji kausalitas yang dilakukan menggunakan metode Granger untuk mengetahui hubungan variabel endogen (Jumlah Kasus Harian dan Jumlah Kasus Aktif) dengan variabel eksogen (Jumlah Vaksinasi Dosis Pertama dan Jumlah Vaksinasi Dosis Kedua).
4. Menentukan orde p dan q dengan melihat nilai AIC dan BIC terkecil untuk menghasilkan model VARX terbaik.
5. Melakukan uji normalitas multivariat terhadap residual dari model dengan menggunakan uji Mardia.
6. Melakukan uji *white noise* pada residual dari model VARX menggunakan uji *Ljung Box*.
7. Melakukan prediksi dan menghitung ketepatan peramalan data menggunakan MAPE.
8. Melakukan peramalan periode berikutnya menggunakan model VARX yang telah diperoleh.

Tahapan analisis data penelitian ini menggunakan bantuan *software Rstudio* sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Pemodelan VARX.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan uji Kausalitas Granger ada kausalitas dua arah antara X (Vaksinasi Dosis Pertama dan Vaksinasi Dosis Kedua) dan Y (Jumlah Kasus Harian dan Jumlah Kasus Aktif) yang artinya X penyebab granger Y dan Y penyebab granger X. Model VARX terbaik memiliki orde $p = 7$ dan orde $q = 2$ dapat pula ditulis VARX (7,2). Peramalan dilakukan untuk periode 20 Desember 2021 hingga 30 Juni 2022.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

- Armstrong, J.S. 2007. Significance Test Harm Progress in Forecasting. *International Journal of Forecasting*. **23**: 321-327.
- Aswi dan Sukarna. 2006. *Analisis Deret Waktu: Teori dan Aplikasi*. Andira Publisher, Makassar.
- Cahyani, E. dan Wachidah, L. 2020. Pemodelan Vector Autoregressive X (VARX) untuk Meramalkan Impor Ekspor Migas dan Non Migas Di Indonesia, hlm. 41-48. Prosiding Statistika.
- Chang, P., Wang, Y., dan Liu, C. 2007. The Development of a Weight Evolving Fuzzy Neural Network for PBC Sales Forecasting. *Expert System with Applications*. **32**: 89-96.
- Gujarati, D.N. dan Porter, D.C. 2009. *Dasar-Dasar Ekonometrika*. Terjemahan Mangunsong. Salemba Empat, Jakarta.
- Hafidh, A.A. 2011. Analisis Hubungan Pengeluaran Pendidikan dan Ekonomi dengan Menggunakan Pendekatan Kausalitas Granger. *Jurnal Ekonomi dan Pendidikan*. **8(2)**: 124-141.
- Heizer, J. dan Rander, B. 2011. *Operations Management*. Ed Ke-10. Prentice Hall, New Jersey.
- Kementerian Kesehatan RI. 2020. *Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Coronavirus Disease*. Direktorat Jenderal Pencegahan dan Pengendalian Penyakit, Jakarta.

- Kirchgassner, G. dan Wolters, J. 2007. *Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Springer, Berlin.
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C., McGee, V.E. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Ed. Ke-2. Terjemahan Andriyanto. Erlangga, Jakarta.
- Maulana, H.A. 2018. Pemodelan Deret Waktu dan Peramalan Curah Hujan pada Dua Belas Stasiun di Bogor. *Jurnal Matematika, Statistika, dan Komputasi*. **15**(1): 50-63.
- Montgomery, D.C., Jennings, C.L., dan Kulachi, M. 2015. *Introduction Time Series Analysis and Forecasting*. John Wiley & Sons, New Jersey.
- Ocampo, S. dan Rodriguez, N. 2012. An Introductory Review of a Structural VAR-X Estimation and Applications. *Revista Colombiana de Estadística*. **35**(3): 479-508.
- Orpia, C.B., Mapa, D.S., dan Orpia, J.C. 2014. Time Series Analysis Using Vector Autoregressive Model of Wind Speeds in Bangui Selected Weather Variables in Laoag City, Philippines. *Journal of Environmental Management and Tourism*. **5**(1): 54-65.
- Prahotama, A., Rusgiyono, A., dan Wahyu, T.U. 2019. Pemodelan Vector Autoregressive Exogenous (VARX) pada Nilai Inflasi Terhadap PDRB di Jawa Tengah. *Statistika*. **7**(2): 133-136.
- Rosyidah, H., Rahmawati, R., dan Prahotama, A. 2017. Pemodelan Vector Autoregressive X (VARX) untuk Meramalkan Jumlah Uang Beredar di Indonesia. *Jurnal Gaussian*. **6**(3): 333-343.
- Sutrisno dan Wulandari, D. 2018. Multivariate Analysis of Variance (MANOVA) untuk memperkaya Hasil Penelitian Pendidikan. *Aksioma*. **9**(1): 37-53.

- Tamara, T. 2021. Gambaran Vaksinasi Covid-19 di Indonesia pada Juli 2021. *Medula*. **11**(1): 180-183.
- Tauryawati, M.L., dan Irawan, M.I. 2014. Perbandingan Metode Fuzzy Time Series Cheng dan Metode Box-Jenkins untuk Memprediksi IHSG. *Jurnal Sains dan Seni Pomits*. **3**(2): 34-39.
- Ulyah, S.M. 2019. Forecasting Index and Stock Returns by Considering the Effect of Indonesia pre-Presidential Election 2019 using ARIMAX and VARX approaches. *Journal of Physics*. **1277**(1): 1-13.
- Wei, W.W.S. 2006. *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods*. Ed Ke-2. Addison Wesley Publishing Company, New York.
- Warsono, Russel, E., Wamilliana, Widiarti, dan Usman, M. 2019. Vector Autoregressive with Exogenous Variable Model and Its Application in Modeling and Forecasting Energy Data: Case Study of PTBA and HRUM Energy. *International Journal of Energy Economics and Policy*. **9**(2): 390-398.
- Zili, A.H.A., Kharis, S.A.A., dan Lestari, D. 2021. Peramalan Tingkat Kematian Indonesia Akibat Covid-19 Menggunakan Model ARIMA. *Journal Indonesia Sosial Sains*. **2**(1): 1-8.