PEMODELAN VARIABEL TERKOINTEGRASI DENGAN PENDEKATAN *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM)

(Studi Kasus: Kurs tiga mata uang asing pada Januari 2001–Desember 2018)

(Skripsi)

Oleh

LUVITA LOVES



JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2019

ABSTRACT

MODELING OF COINTEGRATION VARIABLES USING VECTOR ERROR CORRECTION MODEL (VECM)

(Study case : Exchange rates of three foreign currencies in January 2001 - December 2018)

By

Luvita Loves

Time series analysis is one method with the aim to find out events that will occur in the future based on data and past conditions. Time series are always used in the field of econometrics. The analytical tool commonly used to answer quantitative research problems is the Autoregressive Vector (VAR). The VAR model is used if the data is stationary at the level. When variables have cointegration and are stationary at the first difference value, the Vector Error Correction Model (VECM) is used. An exchange rate is the price of a currency of a country that is measured or expressed in another currency. In this study, it has been studied about modeling three foreign exchange rates against the rupiah from January 2001 to December 2018 using VECM. Then a model is VECM (2).

Keywords: Stationery, Cointegration, VAR, VECM

ABSTRAK

PEMODELAN VARIABEL TERKOINTEGRASI DENGAN PENDEKATAN *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM)

(Studi Kasus: Kurs tiga mata uang asing pada Januari 2001–Desember 2018)

Oleh

Luvita Loves

Analisis deret waktu *(time series*) merupakan salah satu metode dengan tujuan untuk mengetahui peristiwa yang akan terjadi di masa depan berdasarkan data dan keadaan masa lalu. *Time series* selalu digunakan dalam bidang ekonometrik. Alat analisis yang biasa digunakan untuk menjawab permasalahan penelitian secara kuantitatif adalah *Vektor Autoregressive* (VAR). Model VAR digunakan jika data stasioner pada level. Saat peubah memiliki kointegrasi dan stasioner pada nilai *first difference* maka digunakan *Vektor Error Correction Model* (VECM). Kurs (*exchange rate*) adalah harga sebuah mata uang dari suatu negara yang diukur atau dinyatakan dalam mata uang lainnya. Pada penelitian ini, telah dikaji tentang pemodelan tiga nilai tukar uang asing terhadap rupiah dari bulan januari 2001 hingga desember 2018 menggunakan VECM. Kemudian diperoleh model VECM(2).

Kata kunci: Stasioner, Kointegrasi, VAR, VECM

PEMODELAN VARIABEL TERKOINTEGRASI DENGAN PENDEKATAN *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM)

(Studi Kasus: Kurs tiga mata uang asing pada Januari 2001–Desember 2018)

Oleh

Luvita Loves

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019

Judul Skripsi	: **PEMODELAN VARIABEL TERKOINTEGRASI DENGAN PENDEKATAN *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM) (Studi Kasus: Kurs tiga mata uang asing pada Januari 2001 - Desember 2018)**
Nama Mahasiswa	: Luvita Loves
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1517031044
Program Studi	: Matematika
Fakultas	: Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Prof. Drs. Mustofa Usman, M.A., Ph.D.
NIP 19570101 198404 1 020

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

2. Ketua Jurusan Matematika

Prof. Dra. Wamiliana, M.A., Ph.D.
NIP 19631108 198902 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Prof. Drs. Mustofa Usman, M.A., Ph.D.** .....

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

Penguji
Bukan Pembimbing : **Drs. Eri Setiawan, M.Si.** .....

2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dr. Suratman, M.Sc.
NIP 19640604 199003 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **26 Juni 2019**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Mahasiswa : **Luvita Loves**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1517031044**

Judul : **PEMODELAN VARIABEL TERKOINTEGRASI DENGAN PENDEKATAN *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM) (Studi Kasus : Kurs tiga mata uang asing pada Januari 2001 – Desember 2018)**

Program Studi : **Matematika**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil kerjaan saya sendiri dan semua tulisan yang tertuang dalam skripsi ini telah mengikuti kaidah penulisan karya ilmiah Universitas Lampung.

Bandar Lampung, Juni 2019

Penulis



Luvita Loves

NPM. 1517031044

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Luvita Loves, dilahirkan pada tanggal 26 Februari 1997 di Bandar Lampung. Penulis merupakan putri sulung dari Bapak Very Paripurna dan Ibu Masnah Urifiani, dan kakak dari Rafka Kamajaya.

Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Susunan Baru pada tahun 2003 sampai 2007 dan SD Negeri 2 Rajabasa pada tahun 2007 sampai 2009. Kemudian melanjutkan ke sekolah menengah pertama (SMP) di SMP Negeri 22 Bandar Lampung pada tahun 2009 sampai 2012. Selanjutnya belajar pada jenjang Sekolah Menengah Pertama (SMA) di SMA Negeri 14 Bandar Lampung pada tahun 2012 sampai 2015.

Pada tahun 2015, melalui jalur SNMPTN Undangan, penulis diterima dan terdaftar sebagai mahasiswa S1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif di beberapa organisasi kampus seperti, Himpunan Mahasiswa Jurusan Matematika (HIMATIKA) FMIPA Unila 2016 sebagai Anggota Bidang Kaderisasi dan Kepemimpinan, BEM U KBM Universitas Lampung sebagai staf Kementerian Pendidikan dan Kepemudaan, HIMATIKA FMIPA Unila 2017 sebagai Sekretaris Bidang Kaderisasi dan Kepemimpinan, Komunitas Baca UPT Perpustakaan Universitas Lampung 2018/2019 sebagai Duta Baca.

Di awal tahun 2018 penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di Kantor Wilayah Direktorat Jenderal Pajak Bengkulu-Lampung. Di pertengahan tahun 2018, sebagai bentuk aplikasi bidang ilmu kepada masyarakat, penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Kebangsaan selama 30 hari di Desa Margasari, Kecamatan Labuhan Maringgai, Lampung Timur.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin,
Puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala karena atas berkah dan nikmat-Nya kepada kita, Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam yang telah memberikan kabar gembira kepada umat manusia.

Kupersembahkan karya sederhana ini untuk:

Bapak dan Mama

Tidak ada kata yang dapat aku sampaikan untuk kalian kecuali terimakasih atas semua yang telah kalian berikan untukku. Cinta, kasih sayang, waktu, dan pengorbanan yang belum bisa aku balas. Terimakasih karena selalu mendoakan dan mendukung setiap langkah yang aku pilih. Karena ridho Allah berawal dari ridho kalian. Kalian adalah motivasi terbaik dalam hidupku.

Adik

Terimakasih telah menginspirasi kakak tentang banyak hal, terutama arti seorang kakak. Doakan kakak agar bisa menjadi sosok kakak yang lebih baik lagi.

Almamater Universitas Lampung

KATA INSPIRASI

ALLAH tidak membebani seseorang melainkan dengan kesanggupannya.

(QS. Al-Baqarah : 286)

Tetapi hanya ALLAH-lah pelindungmu, dan Dia penolong yang terbaik.

(QS. Ali 'Imran : 150)

Dan Mintalah pertolongan dengan sabar dan shalat.

(QS. Al-Baqarah : 45)

Usaha dijalani, Takdir disudahi.

(Luvita Loves)

Dan tidak ada kesuksesan bagiku melainkan atas (pertolongan) ALLAH.

(QS. Huud : 88)

SANWACANA

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas limpahan karunia serta ridho-Nya sehingga skripsi dengan judul **"PEMODELAN VARIABEL TERKOINTEGRASI DENGAN PENDEKATAN *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM) (Studi Kasus: Kurs tiga mata uang asing pada Januari 2001 – Desember 2018)"** dapat terselesaikan. Shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada suri tauladan kita Nabi Muhammad SAW. Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis menyadari banyaknya bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Mustofa Usman, M.A., Ph.D, selaku pembimbing I yang senantiasa membimbing dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi.
2. Bapak Ir. Warsono, M.S., Ph.D, selaku pembimbing akademik dan pembimbing II yang selalu memberikan arahan kepada penulis.
3. Bapak Drs. Eri Setiawan, M.Si., selaku penguji yang telah memberikan saran dan semangat sehingga terselesainya skripsi.
4. Ibu Dr. Khoirin Nisa, M.Si., selaku pembimbing akademik yang telah membimbing dan memberikan saran selama perkuliahan.
5. Ibu Dra. Wamiliana, M.A, Ph.D., selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

6. Bapak Drs. Suratman, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.
7. Seluruh Dosen, staf dan karyawan Jurusan Matematika FMIPA Universitas Lampung.
8. Bapak, Mama dan adik yang selalu mendoakan dan menyemangati penulis.
9. Kakek, Nenek, Om, Bibi, hingga sepupu yang menginspirasi penulis.
10. Rima, Sekar, Pipin, Rahma, Resti, Dinda, Tirania, Topan, Mira, Caroline, Almira yang menjadi teman baik penulis selama kuliah.
11. Teman-teman satu pembimbing skripsi yang saling mengingatkan, membantu dan menyemangati dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman-teman Matematika 2015 yang telah memberikan pengalaman luar biasa selama ini.
13. Keluarga besar HIMATIKA FMIPA UNILA.
14. Komunitas Ruang Sosial dan Kampung Dongeng.
15. Serta semua pihak yang terlibat dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 26 Juni 2019

Penulis

Luvita Loves

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI xiii

DAFTAR GAMBAR xv

DAFTAR TABEL xvi

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah 1
1.2 Tujuan Penelitian 3
1.3 Manfaat Penelitian 3

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Runtun Waktu 4
2.2 Stasioner 4
2.3 *Unit Root Test* 5
2.4 Panjang *Lag* Optimal 7
2.5 Kointegrasi 8
2.6 Model VAR(p) 10
2.6.1 Pendugaan Model VAR(*p*) 11
2.6.1.1 *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) 11
2.7 *Vector Error Correction Model* (VECM) 12
2.8 Uji Stabilitas 15
2.9 Kausalitas Granger 17
2.10 Analisis *Impulse Responses Function* 19

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 22
3.2 Data Penelitian 22
3.3 Metode Penelitian 22

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi 25
4.1.1 Uji Stasioneritas 25

4.1.2 Penentuan *Lag* Optimum 30
4.1.3 Uji Kointegrasi 31
4.2 Estimasi Model 32
4.2.1 Pendugaan Parameter VECM(2) 32
4.3 Uji Stabilitas Model 34
4.4 Analisis Granger Kausalitas 34
4.5 Analisis *Impulse Response Function* (IRF) 36

V. KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar Hal.

1. Plot deret waktu dan ACF variabel kurs USD 25
2. Plot deret waktu dan ACF variabel kurs GBP 26
3. Plot deret waktu dan ACF variabel kurs CHF 26
4. Plot deret waktu dan ACF variabel kurs USD pada *differencing* ke-1 28
5. Plot deret waktu dan ACF variabel kurs GBP pada *differencing* ke-1 28
6. Plot deret waktu dan ACF variabel kurs CHF pada *differencing* ke-1 28
7. *Impuls Response Function* untuk variabel kurs USD 37
8. *Impuls Response Function* untuk variabel kurs GBP..... 39
9. *Impuls Response Function* untuk variabel kurs CHF..... 41

DAFTAR TABEL

Tabel Hal.

1. Uji akar unit semua variabel pada tingkat level 27
2. Uji akar unit semua variabel pada tingkat *differencing* ke-1 29
3. Kriteria pemilihan *lag* model VAR untuk semua variabel endogen 30
4. *Output* uji kointegrasi menggunakan uji johansen 31
5. Hasil Estimasi dan Pemilihan VECM(p) terbaik 32
6. Pendugaan parameter Long-Run (β) 32
7. Pendugaan koefisien *adjustment* (α) 33
8. Pendugaan parameter Π 33
9. Pendugaan koefisien AR pada lag terdiferensi ($\Gamma \Delta Yt-1$) 33
10. Akar-akar karakteristik polinomial AR 34
11. Uji Granger Kausalitas 35

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Analisis deret waktu merupakan salah satu metode dengan tujuan untuk mengetahui peristiwa yang akan terjadi di masa depan berdasarkan data dan keadaan masa lalu. Dalam pengambilan keputusan meramalkan kejadian yang akan datang merupakan hal yang perlu dilakukan untuk mendukung diambilnya keputusan yang baik, dengan dasar dimana kejadian yang terjadi pada masa ini disebabkan oleh beberapa kejadian pada masa lalu, dengan kata lain analisis deret waktu dilakukan karena terdapat hubungan antara deret waktu pengamatan.

Time series selalu digunakan dalam bidang ekonometrik. Awalnya, Jan Tinbergen (1939) membangun model ekonometrik pertama untuk Amerika Serikat dan kemudian memulai program penelitian ilmiah ekonometrik secara empiris (Kirchgassner and Wolters, 2007). Pada umumnya model ekonometrika *time series* merupakan model struktural karena didasarkan atas teori ekonomi yang telah ada. Pada tahun 1980 Christopher A.Sims memperkenalkan model VAR sebagai alternatif dalam analisis ekonomi makro.

Alat analisis yang biasa digunakan untuk menjawab permasalahan penelitian secara kuantitatif adalah *Vektor Autoregressive* (VAR). Model VAR digunakan untuk menjelaskan peubah simultan yang memiliki pengaruh satu sama lain. Model VAR digunakan jika data stasioner pada level. jika data tidak stasioner pada level melainkan stasioner pada nilai *first difference* kita akan menggunakan *Vektor Autoregressive in Difference* (VARD) jika seluruh peubah tidak memiliki kointegrasi. Saat peubah memiliki kointegrasi dan stasioner pada nilai *first difference* maka digunakan *Vektor Error Correction Model* (VECM).

Pada penelitian ini, akan dikaji tentang tiga nilai tukar uang asing terhadap rupiah yaitu *united states dollar* (USD) atau mata uang Amerika , *Great Britain Pound* (GBP) atau mata uang Inggris dan *Confoederatio Helvetica Franc* (CHF) atau mata uang Swiss. Kurs (*exchange rate*) adalah harga sebuah mata uang dari suatu negara yang diukur atau dinyatakan dalam mata uang lainnya. Kurs memainkan peranan penting dalam keputusan-keputusan pembelanjaan, karena kurs memungkinkan kita menerjemahkan harga-harga dari berbagai negara ke dalam satu bahasa yang sama. Kurs dapat pula disebut sebagai perbandingan nilai. Dalam pertukaran dua mata uang yang berbeda, maka akan terdapat perbandingan nilai/harga antara kedua mata uang tersebut. Perbandingan nilai inilah yang disebut dengan kurs.

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukannya analisis model VECM pada data nilai tukar tiga mata uang asing terhadap Rupiah (kurs) menurut bulan pada periode Januari 2001 sampai dengan Desember 2018.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Menganalisis variabel data yang berkointegrasi menggunakan VECM
2. Membuat model hubungan kausal Kurs Tiga mata uang asing pada bulan Januari 2001 sampai dengan Desember 2018 menggunakan VECM

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Mampu menganalisis variabel data yang berkointegrasi menggunakan VECM
2. Mampu menjelaskan model hubungan kausal Kurs Tiga mata uang asing pada bulan Januari 2001 sampai dengan Desember 2018 menggunakan VECM

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Runtun Waktu

Runtun waktu adalah himpunan barisan pengamatan yang terurut dalam waktu, dengan jarak interval waktu yang sama. Barisan pengamatan tersebut dinyatakan dengan $Y_{t_1}, Y_{t_2}, \dots, Y_{t_n}$. Jadi, Y_{t_i} menyatakan waktu pada t_i dengan Y adalah peubah acak (*random variable*). Proses stokastik merupakan bagian dari indeks waktu peubah-peubah acak $Y(\omega, t)$, dengan ω menyatakan ruang sampel dan t menyatakan himpunan indeks waktu (Box & Jenkins, 1970).

2.2 Stasioner

Suatu proses stokastik dikatakan stasioner jika rataan dan variansnya konstan sepanjang waktu, serta nilai kovarians antara dua periode waktu hanya bergantung pada jarak (*lag*) antara kedua periode waktu itu (Y_t , Y_{t+k}) . Variabel runtun waktu dikatakan stasioner jika memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut :

1. Rata-rata : $E(Y_t) = \mu$ (2.1)

2. Varians : $Var(Y_t) = E(Y_t - \mu)^2 = \sigma^2$ (2.2)

3. Kovarians : $\gamma_k = E[(Y_t - \mu)(Y_{t+k} - \mu)]$ (2.3)

(Enders, 2015)

Terdapat dua perilaku stasioneritas data, yaitu stasioneritas data dalam nilai tengah (rata-rata) dan stasioneritas data dalam ragam (varians). Pada umumnya data deret waktu tidak stasioner hal ini dikarenakan adanya perilaku data antar waktu yang menimbulkan kedinamisan.

Time series dikatakan stasioner apabila tidak ada unsur *trend* dalam data dan tidak ada unsur musiman atau rata-rata dan variannya tetap. Selain dari plot *time series*, stasioner dapat dilihat dari plot *Autocorrelation Function (ACF)* data tersebut. Apabila plot data *Autocorrelation Function* (*ACF*) turun mendekati nol secara cepat, pada umumnya setelah *lag* kedua atau ketiga maka dapat dikatakan stasioner (Hanke & Winchern, 2005).

Data nonstasioner apabila terdapat unsur *trend* dalam data, yaitu mengalami kenaikan dan penurunan seiring bertambahnya periode waktu. Pada data nonstasioner yang memiliki *trend* akan memiliki nilai *Autocorrelation Function* (*ACF*) yang signifikan pada *lag-lag* awal kemudian mengecil secara bertahap (Hanke & Winchern, 2005)

2.3 *Unit Root Test*

Untuk menguji kestasioneran data, dapat dilakukan dengan beberapa metode pengujian akar unit (*unit root test*). Pengujian *unit root* yang dimaksudkan adalah untuk menguji apakah koefisien tertentu dari model *autoregressive* yang ditaksir memiliki nilai satu atau tidak. Metode pengujian yang digunakan adalah *Dickey-*

Fuller (DF), ataupun *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Konsep uji DF adalah menguji apakah suatu runtun waktu merupakan proses *random walk* atau bukan. *Random walk* merupakan proses stokastik yang tidak stasioner. Misalkan $Y_t$mengikuti model AR(1) berikut:

$$Y_t = \mu + \varphi_1 Y_{t-1} + v_t \tag{2.4}$$

dengan μ merupakan parameter *drift,* v_t adalah residual yang bersifat acak atau stokastik dengan rataan nol, varians konstan $v_t$yang bersifat acak dapat dikatakan sebagai *white noise*. Jika φ_1 maka variabel Y_t acak mempunyai *unit root*. Jika data runtun waktu mempunyai *unit root* maka dikatakan data tersebut bergerak secara acak (*random walk*) dan data *random walk* bersifat tidak stasioner. Jika pada persamaan (2.4) kedua ruas dikurangi dengan Y_{t-1} maka diperoleh

$$Y_t - Y_{t-1} = \mu + (\varphi_1 - 1)Y_{t-1} + v_t$$

$$\Delta Y_t = \mu + \rho Y_{t-1} + v_t \tag{2.5}$$

Dengan $\rho = (\varphi_1 - 1)$ dan $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$

Teknik pengujian *unit root* dilakukan dengan membentuk regresi antara ΔY_t dan Y_{t-1} . Dickey dan Fuller menetapkan tiga bentuk model regresi berikut (Gujarati, 2004) :

$$\Delta Y_t = \rho Y_{t-1} + v_t \tag{2.6}$$

$$\Delta Y_t = \mu + \rho Y_{t-1} + v_t \tag{2.7}$$

$$\Delta Y_t = \mu + \beta_t + \rho Y_{t-1} + v_t \tag{2.8}$$

Model (2.6) tidak mengandung komponen deterministik, model (2.7) mengandung konstanta, dan model (2.8) mengandung konstanta dan tren waktu. Pada semua

bentuk model di atas, jika parameter $\rho = 0$ maka runtun Y_t mengandung *unit root*. Kekurangan dari *Dickey-Fuller Test* adalah dengan mengasumsikan bahwa komponen galat v_t tidak berkorelasi. Untuk mengantisipasi adanya korelasi tersebut, (Dickey & Fuller, 1981) mengembangkan pengujian *Dickey-Fuller* menjadi *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Model regresi yang akan digunakan untuk melakukan uji ADF, yaitu

$$Y_t = \mu + \rho \tag{2.9}$$

Dengan $\rho = \sum_{i=1}^{p} \emptyset_i - 1$ dan $\emptyset_i = -\sum_{j=i+1}^{m} \varphi_j$, $v_t$adalah variabel gangguan, dan m=p-1 adalah panjang *lag*. Hipotesis yang diuji :

$H_0 : \rho = 0$

$H_1 : \rho < 0$

Statistik uji τ diperoleh dengan

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^{p} \varphi_i - 1}{std.error \sum_{i=1}^{p} \widehat{\varphi}_i} \tag{2.10}$$

Jika nilai statistik uji τ lebih kecil dari nilai kritis tabel DF atau tabel MacKinnon, maka hipotesis nol ditolak yang berarti data runtun waktu bersifat stasioner, sedangkan jika nilai statistic uji τ lebih besar dari nilai kritis DF atau MacKinnon, maka hipotesis nol tidak ditolak yang berarti data runtun bersifat nonstasioner.

2.4 Panjang *lag* Optimal

Panjang *lag* variabel yang optimal sangat diperlukan untuk menangkap pengaruh dari setiap variabel terhadap variabel lain didalam sistem VAR. Menentukan panjang *lag* (p) yaitu dengan menggunakan kriteria informasi yang tersedia. Panjang *lag* yang dipilih dapat dilihat melalui nilai paling minimum dari masing-

masing kriteria. Beberapa informasi kriteria yang sering digunakan adalah sebagai berikut:

a. *Final Prediction Error* (FPE)

$$FPE(p) = \left[\frac{T+kp+1}{T-kp-1}\right]^{k} | \Sigma\hat{u}\hat{u}(p)| \quad (2.11)$$

b. *Akaike Information Criterion* (AIC)

$$\text{AIC (p)} = \ln| \Sigma\hat{u}\hat{u}(p)| + (k + pk^2)\frac{2}{T} \quad (2.12)$$

c. *Bayesian Criterion of* Gideon Schwarz

$$\text{SC (p)} = \ln | \Sigma\hat{u}\hat{u}(p)| + (k + pk^2)\frac{2\ln(\ln(T))}{T} \quad (2.13)$$

d. Hannan-Quinn *Criterion*

$$\text{HQ} = \ln | \Sigma\hat{u}\hat{u}(p)| + (k + pk^2)\frac{\ln(T)}{T} \quad (2.14)$$

Dimana $| \Sigma\hat{u}\hat{u}(p)|$ adalah determinan matrik varian kovarian dari model VAR(p), dengan k adalah banyaknya variabel, T adalah banyaknya observasi dan p adalah panjang *lag* model VAR (Kirchgassner and Wolters, 2007).

2.5 Kointegrasi

Konsep kointegrasi pertama kali dikemukakan oleh Engle & Granger. Kointegrasi berhubungan erat dengan masalah menentukan suatu hubungan jangka panjang atau keseimbangan jangka panjang. Apabila data runtun waktu terkointegrasi, maka terdapat suatu hubungan jangka panjang di antara data runtun waktu tersebut (Engle & Granger, 1987).

Ide dasar kointegrasi adalah mencari kombinasi linear di antara dua peubah yang terintegrasi pada orde *d* yang menghasilkan sebuah peubah dengan orde integrasi yang lebih rendah. Bila variabel runtun waktu tersebut terkointegrasi maka terdapat hubungan yang stabil dalam jangka panjang, bila dua seri tidak stasioner yang terdiri atas $X_t + Y_t$ terkointegrasi, maka terdapat representasi khusus sebagai berikut :

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + e_t \tag{2.15}$$

$$e_t = Y_t - \beta_0 - \beta_1 X_t \tag{2.16}$$

sedemikian rupa hingga e_t (*error term)* stasioner. Kointegrasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu kointegrasi bivariat dan multivariat. Pada kasus kointegrasi bivariat, pengujian kointegrasi hanya dilakukan pada dua variabel saja, sedangkan pada kasus multivariat, pengujian kointegrasi dilakukan pada dua variabel atau lebih. Untuk mengetahui apakah data runtun waktu terkointegrasi, maka metode yang dapat digunakan untuk menguji kointegrasi yaitu uji kointegrasi Johansen. Uji kointegrasi menurut Johansen umumnya hanya untuk variabel yang terintegrasi pada orde satu dan orde nol, yaitu $I(0)$ dan $I(1)$. Untuk suatu model $Var(p)$, secara umum dapat dinyatakan sebagai:

$$\Delta x_t = \Pi x_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Pi_i \Delta x_{t-1} + e_t \tag{2.17}$$

Persamaan (2.17) mengandung informasi baik penyesuaian jangka panjang dan jangka pendek terhadap perubahan x_t . Rank matriks Π ditandai dengan *r*, menentukan berapa banyak kombinasi linear x_t yang bersifat stasioner. Jika 0 < *r* < *n*, maka terdapat *r* vektor kointegrasi atau *r* kombinasi linear yang stasioner dari x_t . Dalam kasus ini, Π dapat difaktorisasi $\Pi = \alpha\beta'$, sebagai , dengan α dan β

adalah matriks n < r dengan α mempresentasikan kecepatan penyesuaian terhadap ketidakseimbangan, dan β adalah matriks dari koefisien jangka panjang dan mengandung vektor kointegrasi. Untuk mengetahui jumlah vektor kointegrasi, ada tiga kasus yang perlu dipertimbangkan, yaitu:

a. Jika *rank* matriks $\Pi = 0$, maka tidak ada informasi jangka panjang dan *VAR* stasioner pada orde nol cocok representasi.
b. Jika *rank* matriks $= n$, maka Π merupakan matriks *full rank*, sehingga x_t stasioner dalam *level* dan VAR dalam *first difference* cocok representasi.
c. Jika *rank* matriks Π adalah 0 < r < n, maka $\beta' x_t$ stasioner walaupun x_t tidak stasioner dan bentuk *error correction* adalah cukup representasi.

2.6 Model VAR(p)

Untuk menganalisis secara kuantitatif data *time series* dengan melibatkan lebih dari satu variabel (*multivariate time series*) digunakan metode *Vector Autoregressive* (VAR). Metode VAR memperlakukan semua variabel secara simetris. Satu vektor berisi lebih dari dua variabel dan pada sisi kanan terdapat nilai *lag* (*lagged value*) dari variabel tak bebas sebagai representasi dari sifat *autoregresive* dalam model. Model VAR(p) dapat ditulis dalam persamaan berikut:

$$Y_t = \sum_{i=1}^{p} \emptyset_i Y_{t-i} + \varepsilon_t \qquad (2.18)$$

dimana:

Yt = elemen vektor observasi pada waktu t berukuran $n \times 1$

$\emptyset i$ = matriks berukuran $n \times n$ yang merupakan koefisien dari vektor $yt-1$, untuk

i = 1,2, … p

p = panjang lag

εt = vektor dari *shock* terhadap masing-masing variabel berukuran $n \times 1$

Apabila data yang digunakan stasioner pada tingkat *differencing* yang sama dan terdapat kointegrasi, maka model VAR akan dikombinasikan dengan model koreksi kesalahan menjadi *Vector Error Correction Model* (VECM) (Asteriou and Hall, 2007).

2.6.1 Pendugaan Model VAR(*p*)

2.6.1.1 *Maximum Likelihood Estimation* (MLE)

Menurut Tsay (2014), misalkan a_t dari model VAR(p) mengikuti distribusi normal *multivariate*. Dengan $z_{h:q}$ melambangkan pengamatan *t=h* ke *t=q*. Maka, fungsi kondisional *likelihood* dari data dapat ditulis sebagai:

$$L\left(z_{(p+1):T}\middle|z_{1:p},\beta,\Sigma_a\right) = \prod_{t=p+1}^{T} p\left(z_{(p+1):T}\middle|z_{1:p},\beta,\Sigma_a\right)$$

$$= \prod_{t=p+1}^{T} p(a_t|z_{1:p},\beta,\Sigma_a)$$

$$= \prod_{t=p+1}^{T} p(a_t|,\beta,\Sigma_a)$$

$$= \prod_{t=p+1}^{T} \frac{1}{(2\pi)^{\frac{k}{2}}|\Sigma_a|^2} exp\left[\frac{-1}{2} a_t{}' \sum_a^{-1} a_t\right]$$

$$\alpha|\Sigma_a|^{-(T-p)/2}\, exp\left[\frac{-1}{2}\sum_{t=p+1}^{T} tr\,(a_t{}' \sum_a^{-1} a_t)\right]$$

Fungsi *log-likelihood* menjadi:

$$\ell(\beta,\Sigma_a) = c - \frac{T-p}{2} log(|\Sigma_a|) - \frac{1}{2}\sum_{t=p+1}^{T} tr\,(a_t{}' \sum_a^{-1} a_t)$$

$$= c - \frac{T-p}{2} log(|\Sigma_a|) - \frac{1}{2}\sum_{t=p+1}^{T} tr\,(\sum_a^{-1}\sum_{t=p+1}^{T} a_t\, a_t{}')$$

dimana c adalah nilai konstan dan kita gunakan sifat bahwa $tr(\boldsymbol{CD})$ dan $tr(\boldsymbol{C}+\boldsymbol{D}) = (\boldsymbol{C}) + tr(\boldsymbol{D})$.

Perlu diperhatikan bahwa $\sum_{t=p+1}^{T} \boldsymbol{a_t}\,\boldsymbol{a_t}' = \boldsymbol{A}'\boldsymbol{A}$ dimana $\boldsymbol{A} = \boldsymbol{Z} = \boldsymbol{X\beta}$ adalah matriks *error,* kita dapat menulis ulang fungsi *log-likelihood* VAR(p) sebagai berikut:

$$\ell(\beta, \Sigma_a) = c - \frac{T-p}{2} log(|\Sigma_a|) - \frac{1}{2} S(\beta)$$

karena matriks parameter β hanya muncul pada bagian akhir $\ell(\beta, \Sigma_a)$, memaksimalkan fungsi *log-likelihood* terhadap β sama dengan meminimalisir $S(\beta)$. Konsekuensinya, estimasi *maximum likelihood* dari β sama dengan estimasi *least square* .

2.7 *Vector Error Correction Model* (VECM)

Vector Autoregressive (VAR) merupakan salah satu bentuk khusus dari system persamaan simultan. Model VAR dapat diterapkan apabila semua variabel yang digunakan stasioner, akan tetapi jika variabel di dalam vektor Y_t tidak stasioner maka model yang digunakan adalah *Vector Error Correction Model* (VECM) dengan syarat terdapat satu atau lebih hubungan kointegrasi antar variabelnya. VECM adalah VAR terbatas yang dirancang untuk digunakan pada data nonstasioner yang diketahui memiliki hubungan kointegrasi (Enders, 2015).

Jika suatu data deret waktu model VAR terbukti terdapat hubungan kointegrasi, maka VECM dapat digunakan untuk mengetahui tingkah laku jangka pendek dari suatu variabel terhadap nilai jangka panjangnya. VECM adalah model untuk

menganalisis data *multivariate time series* yang tidak stasioner. Secara umum model VAR yang tidak terestriksi dan memiliki sampai $\rho - lags$ adalah sebagai berikut:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \cdots + A_p y_{p-1} + \varepsilon_t \tag{2.19}$$

keterangan,

y_t : sebuah vektor dengan variabel

A : parameter matriks

ε_t : vektor error

Untuk melihat hubungan yang dekat diantara ECM dan konsep kointegrasi, misal bahwa y_{1t} dan y_{2t} adalah kedua variabel *I*(1). Di kasus itu semua elemen

$$\Delta y_{1t} = \alpha_1\left(y_{1,t-1} - \beta_1 y_{2,t-1}\right) + \gamma_{11,1}\Delta y_{1,t-1} + \gamma_{12,1}\Delta y_{2,t-1} + u_{1t}$$

$$\Delta y_{2t} = \alpha_2\left(y_{2,t-1} - \beta_1 y_{2,t-1}\right) + \gamma_{21,1}\Delta y_{1,t-1} + \gamma_{22,1}\Delta y_{2,t-1} + u_{2t} \tag{2.20}$$

Melibatkan Δy_{it} adalah stabil. Dengan tambahan u_{1t} dan u_{2t} adalah kesalahan *white noise* yang juga stabil. Karena istilah yang tidak stabil tidak sama dengan proses yang stabil,

$$\alpha_i\left(y_{1,t-1} - \beta_1 y_{2,t-1}\right) = \Delta y_{it} - \gamma_{i1,1}\Delta y_{1,t-1} + \gamma_{i2,1}\Delta y_{2,t-1} + u_{it}$$

harus stabil juga. Karenanya, jika $\alpha_1 \neq 0$ atau $\alpha_2 \neq 0$, $y_{1t} - \beta_1 y_{2t}$ stabil dan dengan demikian merupakan hubungan kointegrasi. Dalam notasi vektor dan matriks, model (2.20) dapat ditulis sebagai

$$\Delta y_t = \alpha\beta' y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + u_t$$

atau

$$y_t - y_{t-1} = \alpha\beta' y_{t-1} + \Gamma_1 y_{t-1} - y_{t-2} + u_t \tag{2.21}$$

dimana:

$y_t \coloneqq (y_{1t}, y_{2t})'$, $\quad u_t \coloneqq (u_{1t}, u_{2t})'$,

$\alpha \coloneqq \begin{bmatrix}\alpha_1 \\ \alpha_2\end{bmatrix}$, $\quad \beta' \coloneqq (1, -\beta_1)$, $\quad \Gamma_1 = \begin{bmatrix}\gamma_{11,1} & \gamma_{12,1} \\ \gamma_{21,1} & \gamma_{22,1}\end{bmatrix}$.

Menyusun ulang dari persamaan (2.21) memberikasn representasi VAR(2)

$$y_t = (I_K + \Gamma_1 + \alpha\beta')y_{t-1} - \Gamma_1 y_{t-2} + u_t$$

karenanya, variabel yang terkointegrasi dapat dihasilkan dari proses VAR. Untuk melihat bagaimana kointegrasi bisa muncul secara umum pada model VAR dimensi-K, pertimbangkan proses VAR(2)

$$y_t = A_1 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + u_t \tag{2.22}$$

dengan $y_t = (y_{1t}, \dots, y_{Kt})'$.

Mari kita asumsikan bahwa *differencing* sekali sudah cukup, kurangi y_{t-1} di kedua sisi dari persamaan (2.22) dan atur ulang syarat dengan:

$$y_t - y_{t-1} = -(I_K - A_1 - A_2)y_{t-1} - A_2 y_{t-1} + A_2 y_{t-2} + u_t$$

atau

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + u_t \tag{2.23}$$

dimana $\Gamma_1 \coloneqq -A_1$ atau $\Pi y_{t-1} = \Delta y_t - \Gamma_1 \Delta y_{t-1} - u_t$.

Berikut ini, kita akan tarik pada kasus yang lebih spesifik dimana semua variabel individu adalah *I*(1) atau *I*(0). Proses VAR(*p*) dimensi-k

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \cdots + A_p y_{t-p} + u_t \tag{2.24}$$

disebut terkointegrasi dari *rank r* jika $\Pi == -(I_K - A_1 - \cdots - A_p)$.

Menulis ulang persamaan (2.24) seperti pada (2.23) yang memiliki representasi dari *vector error correction model* (VECM)

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \cdots + \Gamma_p \Delta y_{t-p} + u_t$$

$$= \alpha\beta' y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \cdots + \Gamma_p \Delta y_{t-p} + u_t \qquad (2.25)$$

dimana $\Gamma_1 := -\left(A_{i+1} + A_p\right), \quad i = 1, \ldots, p-1.$

Jika representasi dari proses terkointegrasi ini diberikan, mudah untuk memulihkan VAR yang sesuai dari persamaan (2.24) dengan memperhatikan hal berikut:

$A_1 = \Pi + I_K + \Gamma_1$

$A_i = \Gamma_i - \Gamma_{i-1}, \quad i = 2, \ldots, p-1,$

$A_p = -\Gamma_{p-1}.$

Mungkin perlu juga ditunjukkan bahwa kita juga dapat mengatur ulang persyaratan dengan cara yang berbeda dan mendapatkan representasi

$$\Delta y_t = D_1 \Delta y_{t-1} + \cdots + D_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + \Pi y_{t-p} + u_t \qquad (2.26)$$

dimana istilah *error correction* muncul di *lag p* dan

$D_1 == -(I_K - A_1 - A_2), \quad i = 1, \ldots, p-1.$

(Lutkepohl, 2005).

2.8 Uji Stabilitas

Stabilitas sistem VAR dilihat dari *inverse roots* karakteristik AR polinomialnya. Suatu sistem VAR dikatakan stabil (stasioner, baik dalam rata-rata dan juga ragam) jika seluruh *roots*-nya memiliki modulus lebih kecil dari satu dan semuanya terletak di dalam *unit circle*. Berikut uraian menurut Lutkepohl (2005) bahwa model VAR(p) dapat dituliskan:

$$Yt = c + \emptyset_1 Y_{t-1} + \cdots + \emptyset p Y_{t-p} + \varepsilon t \qquad (2.27)$$

Jika mekanisme ini dimulai pada waktu tertentu, misal saat t = 1, maka diperoleh:

$$
\begin{aligned}
Y_1 &= c + \emptyset_1 Y_0 + \varepsilon_1 , \\
Y_2 &= c + \emptyset_1 Y_1 + \varepsilon_2 \\
&= c + \emptyset_1 (c + \emptyset_1 Y_0 + \varepsilon_1) + \varepsilon_2 \\
&= (I_K + \emptyset_1) + \emptyset_1{}^2 Y_0 + \emptyset_1 \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \\
&\vdots \\
Y_t &= (I_K + \emptyset_1 + \cdots + \emptyset_1{}^{t-1}) + \emptyset_1{}^t Y_0 + \textstyle\sum_{i=0}^{t-1} \emptyset_1^i \, \varepsilon_{t-i} \\
&\vdots
\end{aligned}
\tag{2.28}
$$

Oleh karena itu, vektor ($Y_1, \dots, Y_t$) ditentukan oleh ($Y_0, Y, \dots, Y_t$) dan distribusi bersama dari ($Y_1, \dots, Y_t$) ditentukan oleh distribusi bersama dari ($Y_0, Y_1, \dots, Y_t$). Dari persamaan VAR(1) pada (2.18) dan (2.28) maka akan didapatkan:

$$
\begin{aligned}
Y_t &= c + \emptyset_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \\
&= (I_K + \emptyset_1 + \cdots + \emptyset_1{}^j) + \emptyset_1{}^{j+1} Y_{t-j-1} + \textstyle\sum_{i=0}^{j} \emptyset_1^i \, \varepsilon_{t-i}
\end{aligned}
\tag{2.29}
$$

Jika semua nilai eigen dari $\emptyset_1$ memiliki modulus kurang dari 1 maka model y_t merupakan proses stokastik yang didefinisikan dengan:

$$
Y_t = \mu + \textstyle\sum_{i=0}^{\infty} \emptyset_1^i \, \varepsilon_{t-i} \, , \; t = \cdots -1,0,1, \cdots \tag{2.30}
$$

dimana:

Yt = elemen vektor y pada waktu t berukuran $n \times 1$

$\emptyset_i$ = matriks berukuran $n \times n$ yang merupakan koefisien dari vektor y_{t-i},

untuk $i = 1,2, \dots p$

$\mu = (I_K - \emptyset_1)^{-1} v$

Berdasarkan Rule (7) Appendix A.6 menurut Luthkepol (2005), dikatakan bahwa ”semua nilai eigen pada matriks A berukuran ($m \times m$) mempunyai modulus kurang dari satu jika dan hanya jika $det\ (I_m - A_z\ ) \neq 0$ untuk $|z| \leq 1$, maka polinomial dari

det ($I_m - A_z$) tidak memiliki roots yang berada pada unit circle." Maka persamaan yt dikatakan stabil jika: det ($I_{Kp} - \emptyset$) $\neq 0$ untuk $|z| \leq 1$ Definisi yang diberikan dari karakteristik polinomial pada matriks, kita sebut sebagai karakteristik polinomial dari proses VAR(p), sehingga persamaan (2.22) dikatakan stabil jika: det($I_{Kp} - \emptyset_z$) = det ($I_K - \emptyset_1 z - \cdots - \emptyset_p z_p$).

2.9 Kausalitas Granger

Adanya kointegrasi mengindikasikan hubungan jangka panjang antar variabelvariabel. Bahkan ketika variabel – variabel tersebut tidak berkointegrasi dalam hubungan jangka panjang, variabel –variabel tersebut masih memungkinkan memiliki hubungan jangka pendek. Dalam rangka memahami kesaling tergantungan diantara variabel, digunakannlah *Granger Causality* Test. *Granger Causality Test* didasarkan pada uji F yang berusaha untuk menentukan jika ada perubahan dalam satu variabel dikarenakan adanya perubahan variabel lainnya. Suatu variabel X dikatakan "*Granger Cause"* variabel Y, jika nilai sebelumnya dari X dapat memprediksi nilai Y saat ini.

Uji *Granger Causality* dengan persamaan model *Vector Autoregression* (VAR) adalah:

$$y_{1t} = \sum_{i=1}^{p} \left[\alpha_{11,i} y_{1,t-i} + \alpha_{12,i} y_{2,t-i} \right] + u_{1t} + c \qquad (2.31)$$

$$y_{2t} = \sum_{i=1}^{p} \left[\alpha_{21,i} y_{1,t-i} + \alpha_{22,i} y_{2,t-i} \right] + u_{2t} + c \qquad (2.32)$$

Dimana:

y_{1t}, y_{2t} = variabel endogen pada waktu ke *t*

α = koefisien variabel

p = jumlah lag

u_t = residual pada waktu ke *t*

c = konstanta

t = waktu (1, 2, 3, …, n)

Hipotesis untuk uji *Granger Causality* adalah

$H_0 = \alpha_{12,i} = 0$ untuk $i = 1,2,\ldots,p$ (y_{2t} tidak "*Granger-Cause*" y_{1t})

H_1 = Minimal terdapat satu $\alpha_{12,i} \neq 0$ untuk $i = 1,2,\ldots,p$ (y_{2t} "*Granger-Cause*" y_{1t})

Statistik uji yang digunakan adalah

$$F - Test = \frac{(RSS_0 - RSS_1) / p}{RSS_1 / (T - 2p - 1)} \qquad (2.33)$$

Dimana:

RSS_0 = jumlah kuadrat residual dari model univariat VAR

RSS_1 = jumlah kuadrat residual dari model VAR

p = jumlah lag

T = jumlah data (2n)

Kriteria pengujiannya adalah jika F-Test > $F_{(\alpha, p, T-2p-1)}$ maka tolak H_0.

2.10 Analisis *Impulse Responses Function*

Analisis *Impulse Responses Function* (IRF) bertujuan untuk menggambarkan bagaimana *shock* yang diterima peubah baik dari peubah itu sendiri maupun dari peubah lain dalam sistem. Analisis IRF juga bertujuan untuk melihat berapa lama *shock* yang diterima suatu peubah (Batubara & Saskara, 2013).

Metode IRF berawal dari model VAR. Misal digunakan tiga variabel dalam bentuk persamaan VAR sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ a_{30} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{t-1} \\ y_{t-1} \\ z_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{bmatrix}. \quad (2.34)$$

Menggunakan persamaan model VAR, bentuk umum di atas diasumsikan mencapai kestabilan saat $b_t = \mu + \sum_{i-0}^{\infty} A_1^i e_{t-i}$, dimana:

$$Y_t = \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix}, \mu = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix}, \text{dan } A_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

sehingga diperoleh

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{bmatrix}. \quad (2.36)$$

Persamaan (2.36) menyatakan x_t, y_t, dan z_t dalam istilah berurutan $\{e_{11}\}, \{e_{21}\}$, dan $\{e_{31}\}$ yang kemudian dituliskan sebagai $\{\Sigma_{xt}\}$, $\{\Sigma_{yt}\}$, dan $\{\Sigma_{zt}\}$. Menggunakan

perkalian dengan B^{-1} memungkinkan kita untuk mendapatkan model VAR dalam bentuk:

$$Y_t = A_0 + A_1 X_{t-1} + e_t, \tag{2.37}$$

dimana $A_0 = B^{-1}\Gamma_0$, $A_1 = B^{-1}\Gamma_1$, dan $e_t = B^{-1}\varepsilon_t$.

Sementara itu, vektor dari *error* tersebut dapat dituliskan dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{bmatrix} = \frac{1}{\det(A_1)} \times adj(A_1) \times \begin{bmatrix} \varepsilon_{xt} \\ \varepsilon_{yt} \\ \varepsilon_{zt} \end{bmatrix} \tag{2.38}$$

dengan $\det(A_1)$ adalah nilai determinan dari matriks A_1 dan $adj(A_1)$ adalah matriks *adjoint* dari matriks A_1, sehingga persamaan (2.35) dan (2.36) dapat dikombinasikan ke dalam bentuk:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix} + \frac{1}{\det(A_1)} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^i \times adj(A_1) \times \begin{bmatrix} e_{1t-i} \\ e_{2t-i} \\ e_{3t-i} \end{bmatrix} \tag{2.39}$$

dimana dapat disederhanakan dengan mendefinisikan ke dalam bentuk matriks $\emptyset$ ukuran 3x3. Maka dari itu, persamaan (2.36) dan (2.37) dapat dituliskan ke dalam bentuk urutan $\{\varepsilon_{xt}\}$, $\{\varepsilon_{yt}\}$, dan $\{\varepsilon_{zt}\}$ sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \emptyset_{11}(i) & \emptyset_{12}(i) & \emptyset_{13}(i) \\ \emptyset_{21}(i) & \emptyset_{22}(i) & \emptyset_{23}(i) \\ \emptyset_{31}(i) & \emptyset_{32}(i) & \emptyset_{33}(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xt-i} \\ \varepsilon_{yt-i} \\ \varepsilon_{zt-i} \end{bmatrix} \tag{2.40}$$

dengan elemen $\emptyset_{jk}(i)$:

$$\emptyset_i = \frac{1}{\det(A_1)} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^i \times adj(A_1). \quad (2.41)$$

Persamaan (2.37) dapat ditulis kembali dalam bentuk Z_t sebagai berikut:

$$Z_t = \mu + \sum_{i-0}^{\infty} \emptyset_i \varepsilon_{t-i}. \quad (2.42)$$

Kesembilan koefisien $\emptyset_{11}(i), \emptyset_{12}(i)$, $\emptyset_{13}(i)$, $\emptyset_{21}(i)$, $\emptyset_{22}(i)$, $\emptyset_{23}(i)$, $\emptyset_{31}(i)$, $\emptyset_{32}(i)$, dan $\emptyset_{33}(i)$ disebut sebagai *Impulse Response Function* (IRF). Membuat plot fungsi impuls dari koefisien $\emptyset_{jk}(i)$ adalah cara terbaik untuk menggambarkan perilaku $\{x_t\}$, $\{y_t\}$, dan $\{z_t\}$ dalam memberi respon terhadap guncangan (Enders, 2015).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun akademik 2018/2019, bertempat di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan diperoleh dari http://www.kemendag.go.id/id/economic-profile/economic-indicators/exchange-rates tentang nilai tukar mata uang asing terhadap rupiah yaitu USD, GBP, dan CHF dari bulan Januari 2001 – Desember 2018 sebanyak 648 data.

3.3 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi
    a. Melakukan uji stasioner

Menguji kestasioneran pada data dapat dilakukan dengan melihat plot *time series*, grafik *Autocorrelation Function* (ACF) dan *unit root test*. Pada pengujian stationeritas data digunakan pengujian *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Data pada metode VECM berupa data tidak stationer pada tingkat level setelah dilihat dari plot data sehingga dilakukan *differencing* tahap pertama untuk menstationerkan data hingga data stationer pada tingkat yang sama.

b. Menentukan panjang lag optimal

Menentukan panjang lag optimal dengan melihat nilai minimum dari setiap informasi kriteria yang digunakan.

c. Melakukan uji kointegrasi

Setelah dilakukan transformasi jika data tidak stasioner dalam varian dan pembedaan jika data tidak stasioner dalam rata-rata, maka besar kemungkinan akan terjadi kointegrasi atau terdapat hubungan jangka panjang antar variabelnya. Uji kointegrasi yang digunakan adalah uji *Johansen Cointegration*. Jika nilai *trace statistic* lebih besar daripada *critical value* maka diambil kesimpulan bahwa terdapat paling tidak dua hubungan kointegrasi antar variabel. Selanjutnya, jika terbukti ada hubungan kointegrasi antarvariabel maka model yang digunakan adalah *Vector Error Correction Model* (VECM).

2. Estimasi model

Pendugaan parameter model VEC(p)

Pendugaan parameter model VEC(p) dilakukan menggunakan metode Maximum Likelihood Estimation dengan membentuk matriks koefisien

kointegrasi (Π) kemudian membentuk matriks koefisien variabel *differencing* (Γ) selanjutnya matriks koefisien (*c*)

3. Uji stabilitas model

   Uji stabilitas dilakukan untuk melihat apakah model yang digunakan stabil atau tidak. Sebuah model dikatakan stabil jika akar unit karakteristik polinomialnya mempunyai modulus ≤ 1 dan semuanya berada dalam *unit circle*.

4. Analisis granger kausalitas

   Uji granger kausalitas dilakukan untuk meihat seberapa berpengaruhnya nilai variabel pada masa lalu dengan nilai variabel yang lain. Variabel X dikatakan "grangre-cause" Y jika nilai chi-square < nilai sigifikan 5%.

5. Analisis *Impulse Responses Function*

   Gambar *impulse response* akan menunjukkan respon suatu variabel akibat kejutan variabel lainnya sampai dengan beberapa periode setelah terjadi shock. Jika gambar *impulse response* menunjukkan pergerakan yang semakin mendekati titik keseimbangan (*convergence*) atau kembali ke keseimbangan sebelumnya bermakna respon suatu variabel akibat suatu kejutan makin lama akan menghilang sehingga kejutan tersebut tidak meninggalkan pengaruh permanen terhadap variabel tersebut.

V. KESIMPULAN

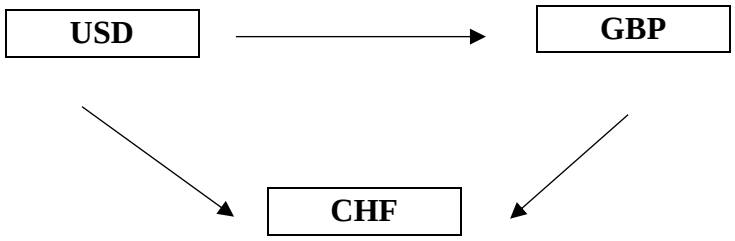
Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal, diantaranya:

1. VECM (2) yang terbentuk untuk data nilai tukar mata uang asing terhadap rupiah yaitu USD, GBP, dan CHF sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} Y_{t1} \\ Y_{t2} \\ Y_{t3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.07063 & -0.10223 & 0.21797 \\ -0.50764 & -1.12987 & 0.28334 \\ -0.18441 & -0.16517 & -1.11774 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{t1-1} \\ Y_{t2-1} \\ Y_{t3-1} \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} 0.12713 & 0.04771 & -0.09234 \\ 0.51571 & -0.08192 & -0.10542 \\ 0.09984 & 0.06380 & -0.05118 \end{bmatrix} \Delta \begin{bmatrix} Y_{t1-1} \\ Y_{t2-1} \\ Y_{t3-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \end{bmatrix}$$

2. Melalui grafik granger kausalitas diketahui bahwa kurs USD mempengaruhi nilai Kurs GBP dan kurs CHF. Kurs GBP itu sendiri mempengaruhi nilai Kurs CHF.



DAFTAR PUSTAKA

Asteriou, D. and Hall, S.G.2007. *Applied Econometrics* : *A Modern Approach.* Revised Edition. Palgrave Macmillan, New York.

Batubara, D. M. H., & Saskara, L. N.2013. Analisis Hubungan Ekspor , Impor PDB dan Utang Luar Negeri Indonesia Periode 1970-2013. *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, *8,* 46–55.

Box, G.E.P. & Jenkins, G.M.1970. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Fransisco: Holden Day.

Diakses tanggal 26 Februari 2019 pukul 18.30 WIB pada laman resmi http://www.kemendag.go.id/id/economic-profile/economic-indicators/exchange-rates

Dickey, D.A. & Fuller, W.A.,1981. Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series With a Unit Root. *Econometrica*, vol.49, no.4, pp.1057-1072.

Enders, W. 2015. *Applied Econometric Time Series.* John Wiley and Sons Interscience Publication, USA.

Engle, R.F. & Granger, C.W.J., 1987. Co- Integration and Error Correction: Representation, Estimation, and Testing. *Econometrica*, vol.55, no.2, pp.251-276.

Gujarati, D.N.2004. *Basic Econometrics*, 4th ed .The McG aw−Hill, New York.

Hanke, John E.; Wichern, Dean W. 2005. *Business Forecasting Eighth Edition*. Pearson Education, Inc. New Jersey.

Kirchgassner, G. and Wolters, J. 2007. *Introduction to Modern Time Series Analysis*. Springer, Berlin.

Lutkepohl, H. 2005. *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Springer-Verlag, Berlin.

Tsay, R.S. 2014. *Multivariate Time Series Analysis With R and Financial Applications*. John Wiley & Sons, Chicago.

Warsono, dkk. 2019. *Vector Autoregressive With Exogenus Variable Model and Its Application in Modelling and Forecasting Energy Data : Case Study Of PTBA and HRUM Energy.* International Journal Of Energy Economics and Policy. **9**(2); 390-398.