

**APLIKASI *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM) UNTUK
ANALISIS JUMLAH UANG BEREDAR LUAS DAN NILAI TUKAR
TERHADAP INFLASI DI INDONESIA TAHUN 2003-2021**

(Skripsi)

Oleh

**JULIANA PUSPITA SARI
NPM 1817031084**



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

ABSTRAK

APLIKASI *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM) UNTUK ANALISIS JUMLAH UANG BEREDAR LUAS DAN NILAI TUKAR TERHADAP INFLASI DI INDONESIA TAHUN 2003-2021

Oleh

JULIANA PUSPITA SARI

Metode VECM digunakan untuk mengolah data runtun waktu yang menunjukkan ketidakstabilan data selama periode runtun waktu, akan tetapi mempunyai hubungan kointegrasi antar variabelnya. Analisis VECM dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis apakah terdapat hubungan kausalitas pada variabel inflasi, jumlah uang beredar luas, dan nilai tukar periode Januari 2003-Agustus 2021, menganalisis bagaimana respon variabel di masa mendatang jika terjadi dampak dari guncangan pada satu variabel terhadap variabel lainnya, dan menganalisis variabel apa saja yang memberikan kontribusi terbesar dalam pembentukan nilai variabel tersebut. Adapun hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat hubungan kausalitas dua arah pada variabel jumlah uang beredar luas terhadap variabel nilai tukar dan terdapat hubungan kausalitas satu arah hanya pada variabel inflasi terhadap variabel jumlah uang beredar luas, respon yang diberikan akibat adanya dampak dari guncangan perubahan variabel yang satu terhadap variabel yang lain terjadi secara bervariasi dan dampak dari guncangan tersebut terjadi pada periode awal dan pada beberapa periode berikutnya cenderung mengalami kestabilan, dan untuk variabel yang memberikan kontribusi terbesar adalah variabel inflasi terhadap variabel inflasi itu sendiri dengan kontribusi yang diberikan sebesar 100%.

Kata kunci: Stasioner, Kointegrasi, Kausalitas Granger, VECM, IRF, VD

ABSTRACT

APPLICATION OF VECTOR ERROR CORRECTION MODEL (VECM) FOR ANALYSIS OF THE WIDE MONEY SUPPLY AND EXCHANGE RATE AGAINST INFLATION IN INDONESIA IN 2003-2021

By

JULIANA PUSPITA SARI

The VECM method is used to process time-sequence data that shows data instability over a time-sequence period, but has a co-integration relationship between its variables. The VECM analysis in this study aims to analyze whether there is a causality relationship in inflation variables, broad money supply, and exchange rates for the period January 2003-August 2021, analyze how variables respond in the future if there is an impact of shocks on one variable to another, and analyze what variables contribute the most in the formation of the value of these variables. The results obtained show that there is a two-way causality relationship in the variable of the broad money supply to the exchange rate variable and there is a one-way causality relationship only on the inflation variable to the variable of the broad money supply, the response given due to the impact of the shock of the change of one variable to another variable occurs variably and the impact of the shock occurs in the initial period and in several periods the next tends to be stability, and for the variable that contributes the most is the inflation variable against the inflation variable itself with a contribution given of 100%.

Keywords: Stationary, Cointegration, Causality Granger, VECM, IRF, VD

**APLIKASI *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM) UNTUK
ANALISIS JUMLAH UANG BEREDAR LUAS DAN NILAI TUKAR
TERHADAP INFLASI DI INDONESIA TAHUN 2003-2021**

Oleh

JULIANA PUSPITA SARI

Skripsi

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

Pada

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



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

Judul Laporan : **APLIKASI *VECTOR ERROR CORRECTION*
MODEL (VECM) UNTUK ANALISIS
JUMLAH UANG BEREDAR LUAS DAN
NILAI TUKAR TERHADAP INFLASI DI
INDONESIA TAHUN 2003-2021**

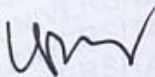
Nama Mahasiswa : **Juliana Puspita Sari**

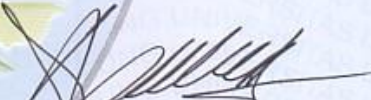
Nomor Pokok Mahasiswa : **1817031084**

Jurusan : **Matematika**

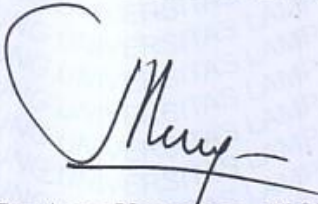
Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




Ir. Warsono, M.S., Ph.D.
NIP. 196302161987031003


Amanto, S.Si., M.Si.
NIP. 197303142000121002

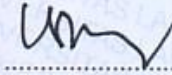
2. Ketua Jurusan Matematika


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


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. Suripto Dwi Yuwono, S.Si., M.T.
NIP. 197407052000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 26 Juli 2022

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Juliana Puspita Sari**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817031084**

Judul : **APLIKASI *VECTOR ERROR CORRECTION*
MODEL (VECM) UNTUK ANALISIS
JUMLAH UANG BEREDAR LUAS DAN
NILAI TUKAR TERHADAP INFLASI DI
INDONESIA TAHUN 2003-2021**

Jurusan : **Matematika**

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.

Bandar Lampung, 21 Juni 2022
Penulis,



Juliana Puspita Sari
NPM. 1817031084

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Juliana Puspita Sari, lahir di Sumber Mulia pada tanggal 11 Juli 2000. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara, pasangan Bapak Suparyono dan Ibu Murniwati.

Menempuh Pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) pada tahun 2005-2006, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 13 Lubai Ulu pada tahun 2006-2012, kemudian bersekolah di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 2 Karang Agung pada tahun 2012-2015, dan bersekolah di Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 2 Gadingrejo pada tahun 2015-2018.

Pada tahun 2018, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis pernah aktif di organisasi kampus, seperti Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) FMIPA Natural sebagai anggota Bidang Redaksi pada tahun 2019 dan sebagai Redaktur Multimedia pada tahun 2020.

Pada tahun 2021, penulis melakukan Kerja Praktik di Kantor Badan Pendapatan Daerah Kabupaten Pesawaran dan pada tahun yang sama penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata dari Rumah sebagai salah satu bentuk pengabdian kepada masyarakat di Desa Wiyono, Kecamatan Gedong Tataan, Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirobbil'alamin,
Puji Syukur kepada Allah SWT, karena atas limpahan berkah, rahmat, dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

Ku persembahkan karya sederhana penuh perjuangan dan kesabaran ini untuk:

Ayahanda Suparyono dan Ibu Murniwati

Terimakasih atas limpahan kasih sayang, pengorbanan, semangat, motivasi, serta doa dan ridho kalian sehingga Allah SWT memudahkan setiap perjalanan hidup ini. Terimalah bukti kecil ini sebagai kado keseriusanku untuk sedikit membalas semua pengorbanan, keikhlasan, dan jerih payah yang selama ini telah diberikan.

Mamas dan Mbak

Terimakasih telah memberikan doa, semangat, dan motivasi selalu sampai dengan saat ini.

Almamater yang kucintai, Universitas Lampung

KATA INSPIRASI

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(Q.S. Al-Baqarah : 286)

“Sebelum bertindak, dengarlah. Sebelum kamu beraksi, pikirkan. Sebelum kamu menghabiskan, dapatkan. Sebelum kamu mengkeritik, tunggu. Sebelum kamu berhenti, cobalah.”

(William Arthur Ward)

SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT karena dengan ridho dan karunia-Nya serta atas berkah dan rahmat-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul “**APLIKASI VECTOR ERROR CORRECTION MODEL (VECM) UNTUK ANALISIS JUMLAH UANG BEREDAR LUAS DAN NILAI TUKAR TERHADAP INFLASI DI INDONESIA TAHUN 2003-2021**” dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam menyelesaikan skripsi ini, penulis menyadari banyaknya bantuan, bimbingan, dan dukungan dari banyak pihak. Penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Warsono, M.S., Ph.D., selaku pembimbing I sekaligus pembimbing akademik yang senantiasa meluangkan waktu untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi serta memberi arahan selama perkuliahan;
2. Bapak Amanto, S.Si., M.Si, selaku pembimbing II yang telah memberikan saran dan arahan kepada penulis;
3. Ibu Dian Kurniasari, S.Si., M.Sc., selaku penguji yang telah memberikan bantuan dan sarannya selama penyusunan skripsi ini;
4. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
5. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, S.Si., M.T., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
7. Bapak, Ibu, Mamas, Mbak serta keluarga besar tercinta yang selalu mendukung, mendoakan dan memotivasi penulis agar dapat menjadi kebanggaan keluarga dan meraih kesuksesan;

8. Sahabat-sahabat Penulis Anis, Sulis, Silvia, Lilis, Dila, dan sahabat-sahabat lainnya yang selalu menjadi tempat berbagi suka dan duka serta memberikan keceriaan dan semangat pada penulis;
9. Teman-teman seperjuangan Matematika 2018;
10. Almamater tercinta Universitas Lampung;
11. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Bandar Lampung, 21 Juni 2022
Penulis,

Juliana Puspita Sari

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR TABEL	xiv
---------------------------	------------

DAFTAR GAMBAR.....	xv
---------------------------	-----------

I. PENDAHULUAN

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

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jumlah Uang Beredar Luas	4
2.2 Nilai Tukar	5
2.3 Inflasi.....	5
2.4 Definisi Data Runtun Waktu	6
2.5 Stasioneritas	7
2.6 Penentuan Lag Optimal	8
2.7 Kointegrasi Johansen.....	9
2.8 <i>Vector Autoregressive (VAR)</i>	11
2.9 <i>Vector Error Correction Model (VECM)</i>	11
2.10 <i>Maximum Likelihood Estimation (MLE)</i>	14
2.11 Analisis Kausalitas Granger	18
2.12 Analisis <i>Impulse Response Function (IRF)</i>	19
2.13 Analisis <i>Variance Decomposition (VD)</i>	21

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.2 Data Penelitian	22
3.3 Metode Penelitian.....	23

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Stasioneritas	25
4.2 Penentuan Lag Optimal	26
4.3 Uji Kointegrasi Johansen	27
4.4 Estimasi <i>Vector Error Correction Model (VECM)</i>	28

4.5	Analisis Kausalitas Granger	33
4.6	Analisis <i>Impulse Response Function</i> (IRF).....	35
4.7	Analisis <i>Variance Decomposition</i> (VD)	39

V. KESIMPULAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Penelitian Periode Januari 2003-Agustus 2021	23
2. Hasil Uji ADF pada Tingkat Level	25
3. Hasil Uji ADF pada Tingkat <i>First Difference</i>	26
4. Kriteria Penentuan Lag Optimal	27
5. Hasil Uji Kointegrasi Johansen	28
6. Hasil Pendugaan Parameter Jangka Panjang (β)	29
7. Hasil Pendugaan Parameter Jangka Pendek (α)	29
8. Hasil Pendugaan Parameter (Π)	30
9. Hasil Analisis Jangka Panjang	31
10. Hasil Analisis Jangka Pendek	32
11. Hasil Uji Kausalitas Granger	33
12. Analisis VD untuk Variabel Inflasi	39
13. Analisis VD untuk Variabel Jumlah Uang Beredar Luas	40
14. Analisis VD untuk Variabel Nilai Tukar	41

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Grafik Analisis IRF untuk Variabel Inflasi	36
2. Grafik Analisis IRF untuk Variabel Jumlah Uang Beredar Luas	37
3. Grafik Analisis IRF untuk Variabel Nilai Tukar.....	38

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Satu di antara negara lainnya, Indonesia menjadi negara berkembang serta mempunyai perekonomian rentan akan dampak kesetimbangan kegiatan di bidang ekonomi. Bidang perekonomian menjadi perhatian yang paling utama. Jika bidang tersebut mengalami ketidaksetimbangan maka dapat menimbulkan persoalan ekonomi, seperti halnya pertumbuhan ekonomi yang rendah, pengangguran semakin meningkat, dan tingginya persentase inflasi di Indonesia.

Salah satu indikator perekonomian yang fundamental ialah Inflasi. Inflasi merupakan menurunnya nilai uang yang disebabkan oleh banyak dan cepatnya uang beredar, maka dari itu harga-harga barang akan meningkat dari satu waktu ke waktu lainnya. Perkembangan indikator perekonomian tersebut sangat fluktuatif, sehingga menyebabkan terjadinya beberapa masalah. Adapun masalahnya yakni yang berhubungan jangka pendek ataupun hubungan jangka panjang. Masalah yang bersangkutan dengan masalah kesetimbangan adalah dampak dari hubungan jangka pendek. Sedangkan untuk jangka panjang berkaitan dengan bagaimana Indonesia mengatur kegiatan ekonomi supaya tercipta suatu keserasian perihal pertumbuhan ekonomi, penduduk, kemampuan berproduksi, dan tersedianya dana untuk investasi.

Terdapat beberapa faktor yang dapat membawa dampak terjadinya inflasi di Indonesia, salah satunya adalah dari sisi permintaan yaitu jumlah uang beredar. Seluruh total jenis mata uang dalam perekonomian seperti mata uang yang beredar (uang logam dan kertas) ditambah dengan uang giral disebut jumlah uang beredar. Banyaknya jumlah uang beredar yang tersedia untuk masyarakat mesti seimbang

dengan jumlah yang dibutuhkan oleh masyarakat itu sendiri. Ketika melebihi permintaan, maka hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya inflasi.

Selain jumlah uang beredar, nilai tukar juga menjadi penyebab terjadinya inflasi di Indonesia. Nilai tukar ialah nilai satuan berdasarkan valuta dalam negeri terhadap valuta asing. Misalnya seperti nilai tukar Rupiah terhadap USD, Ringgit, Euro, dan Yen. Akan tetapi pada penelitian ini, nilai tukar yang dipergunakan ialah nilai tukar Rupiah terhadap USD.

Penelitian ini menggunakan analisis runtun waktu *multivariate*. Analisis runtun waktu merupakan metode kuantitatif dengan jenis data yang disatukan berdasarkan urutan dalam jangka waktu tertentu. Ada beberapa pendekatan dalam analisis runtun waktu untuk variabel *multivariate* yaitu metode *Vector Autoregressive (VAR)* dan *Vector Error Correction Model (VECM)*. Data yang diaplikasikan dalam analisis ini yaitu data bulanan inflasi di Indonesia, jumlah uang beredar luas, dan nilai tukar mata uang dalam periode januari 2003 sampai dengan agustus 2021.

Selanjutnya akan dilakukan analisis dengan menggunakan metode VECM terhadap data-data tersebut. VECM adalah metode yang digunakan untuk melihat apakah terdapat hubungan pada jangka pendek terhadap jangka panjangnya. Pendekatan VECM dilakukan dengan mengestimasi data tidak stasioner ditingkat level dan dapat stasioner dengan melakukan *differencing*, lalu terdapat hubungan yang saling berkointegrasi. Selain hal itu, dalam penelitian ini ingin diketahui apakah terdapat hubungan kausalitas pada variabel inflasi, jumlah uang beredar luas, dan nilai tukar periode Januari 2003-Agustus 2021, menganalisis bagaimana respon variabel di masa mendatang jika terjadi dampak dari guncangan pada satu variabel terhadap variabel lainnya, dan menganalisis variabel apa saja yang memberikan kontribusi terbesar dalam pembentukan nilai variabel tersebut.

Banyak penelitian yang telah mengkaji hubungan terkait data yang akan diaplikasikan bagi penelitian ini. Salah satunya penelitian oleh Dzakiyah, dkk. (2018), menunjukkan bahwa inflasi mempunyai pengaruh terhadap nilai tukar.

Selain itu, penelitian Faizin (2021) menyebutkan hubungan kausalitas dalam jangka pendek untuk variabel inflasi yang mempengaruhi kurs, sedangkan hubungan kausalitas antar variabel lainnya tidak signifikan.

Berdasarkan penguraian di atas, maka penelitian ini akan dilakukan dengan judul “Aplikasi *Vector Error Correction Model* (VECM) Untuk Analisis Jumlah Uang Beredar Luas Dan Nilai Tukar Terhadap Inflasi Di Indonesia Tahun 2003-2021”.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini ialah:

1. Menganalisis apakah terdapat hubungan kausalitas pada variabel inflasi, jumlah uang beredar luas, dan nilai tukar periode januari 2003-agustus 2021;
2. Menganalisis bagaimana respon variabel di masa mendatang jika terjadi dampak dari guncangan pada satu variabel terhadap variabel lainnya;
3. Menganalisis variabel apa saja yang memberikan kontribusi terbesar dalam terbentuknya nilai dari masing-masing variabel tersebut.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui tahapan analisis runtun waktu menggunakan metode *Vector Error Correction Model* (VECM);
2. Bagi peneliti selanjutnya dapat dijadikan sebagai referensi sehingga penelitian berikutnya mampu mendapatkan hasil yang lebih baik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jumlah Uang Beredar Luas

Jumlah mata uang dalam peredaran ialah semua total uang yang diedarkan oleh Bank Sentral. Ada dua jenis mata uang yang meliputi uang logam dan uang kertas. Sehingga jumlah uang beredar adalah seluruh total jenis mata uang yang ada pada perekonomian seperti mata uang yang beredar ditambah dengan uang giral.

Pengertian jenis jumlah uang beredar dapat dibedakan menjadi dua, yakni pengertian dalam arti sempit dan dalam arti luas. Jumlah uang beredar dalam arti sempit merupakan mata uang kartal ditambah dengan uang giral (Sukirno, 2004).

$$M1 = K + G \quad (2.1)$$

dimana,

- M1 : jumlah uang beredar dalam arti sempit
- K : uang kartal
- G : uang giral

Sedangkan menurut Hudaya (2011), jumlah uang yang beredar dalam arti luas merupakan total mata uang yang diedarkan oleh bank sentral yang meliputi uang kartal termasuk uang kuasi (deposito berjangka), simpanan tabungan (*saving deposit*), dan rekening tabungan valuta asing.

$$M2 = M1 + TG \quad (2.2)$$

dimana,

- M1 : jumlah uang beredar dalam arti sempit
- M2 : jumlah uang beredar dalam arti luas
- TG : deposito berjangka

2.2 Nilai Tukar

Nilai tukar diartikan menjadi nilai satuan berdasarkan valuta dalam negeri terhadap valuta asing. Mata uang ditetapkan dari besarnya permintaan dan penawaran uang tersebut. Besarnya permintaan dan penawaran valuta dapat berlaku terjadinya apresiasi maupun depresiasi mata uang. Sehingga hal tersebut yang dapat mempengaruhi nilai tukar agar terjadinya peningkatan harga-harga umum secara serentak (inflasi).

Mankiw (2007), mengatakan bahwa nilai tukar mata uang suatu wilayah bisa dibagi dalam beberapa bagian yang meliputi nilai tukar nominal dan nilai tukar riil. Nilai yang digunakan untuk mengganti valuta suatu negara ke valuta negara lain disebut nilai tukar nominal. Sedangkan nilai tukar riil merupakan nilai untuk mengganti barang dan jasa suatu negara menggunakan barang dan jasa negara lain. Sehingga pengertian nilai tukar mata uang adalah nilai berdasarkan suatu valuta yang ditukarkan ke dalam valuta negara lain. Misalnya seperti nilai tukar Rupiah terhadap USD, Ringgit, Euro, Yen dan lain-lain.

2.3 Inflasi

Menurut McConnell, dkk. (2009), inflasi adalah kenaikan tingkat harga-harga umum. Inflasi merupakan menurunnya nilai uang yang disebabkan oleh banyak dan cepatnya uang beredar, maka dari itu harga-harga barang akan meningkat dari satu waktu ke waktu lainnya. Antonim dari inflasi disebut deflasi. Deflasi yaitu depresiasi tingkat harga dengan cara keseluruhan atau serentak.

Murni (2006), menyebutkan bahwa jenis-jenis inflasi dapat dibedakan dalam taraf laju inflasi diantaranya sebagai berikut:

1. Inflasi Ringan (tingkat inflasi antara 7-10%)

Inflasi ringan merupakan inflasi di mana harga diketahui mengalami peningkatan secara perlahan.

2. Inflasi Sedang (tingkat inflasi antara 10-100%)

Inflasi sedang adalah inflasi yang bisa mengakibatkan gangguan-gangguan serius untuk kegiatan ekonomi dan menimbulkan defleksi-defleksi besar pada perekonomian.

3. *Hyperinflation* (tingkat inflasinya diatas 100%)

Hyperinflation ialah laju dengan tingkat inflasi sangat tinggi.

Sementara itu, inflasi yang seimbang merupakan syarat bagi pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan bermanfaat bagi masyarakat Indonesia. Adapun cara untuk menjaga kesetimbangan inflasi yaitu dengan melakukan pengendalian ekonomi. Pengendalian ekonomi ini didasarkan oleh peninjauan inflasi yang sangat tinggi juga tidak stabil sehingga dapat berdampak buruk untuk keadaan ekonomi. Dengan demikian hal tersebut dapat mengakibatkan pendapatan riil masyarakat akan semakin melemah.

2.4 Definisi Data Runtun Waktu

Hanke dan Wichern (2014), menyatakan bahwa data runtun waktu adalah sekumpulan data kuantitatif berdasarkan nilai-nilai variabel yang disusun secara berurutan selama periode waktu yang telah ditentukan. Jadi, model runtun waktu merupakan suatu model yang mana pengamatan satu dengan yang lain saling berhubungan. Barisan pengamatan tersebut dapat dinyatakan dengan $Y_{t1}, Y_{t2}, \dots, Y_{tn}$, yang mana Y_{ti} menyatakan waktu pada t_i dengan Y adalah peubah acak. Data runtun waktu diklasifikasikan ke dalam periode yang sama yaitu dalam harian, mingguan, bulanan, triwulanan, maupun tahunan. Analisis dengan dua variabel atau lebih disebut analisis *multivariate time series*. Ada beberapa pendekatan dalam analisis runtun waktu untuk variabel *multivariate time series* yaitu menggunakan pendekatan *Vector Autoregressive (VAR)* dan *Vector Error Correction Model (VECM)*.

2.5 Stasioneritas

Runtun waktu pengamatan dikatakan stasioner jika proses tidak berubah bersamaan dari waktu ke waktu, serta memiliki nilai rata-rata dan keragaman yang konstan atau stabil. Apabila memiliki tiga ciri sebagai berikut:

1. Rata-rata: $E(Y_t) = \mu, t \in T$ (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)

dimana γ^k adalah *covarian* dari lag k antara Y_t dan Y_{t+k} maka data runtun waktu disebut stasioner (Gujarati, 2004).

Menurut Widarjono (2007), terdapat beragam cara untuk mengukur kestasioneran salah satunya ialah dengan menggunakan metode pengujian akar unit (*unit root test*). Metode pengujian yang digunakan adalah uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF). Konsep uji ADF adalah menguji apakah suatu runtun waktu merupakan proses *random walk* atau bukan. *Random walk* ialah proses stokastik yang tidak stasioner. Misalkan Y_t mengikuti model AR(1) berikut:

$$Y_t = \mu + \varphi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.4)$$

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

$$\begin{aligned} Y_t - Y_{t-1} &= \mu + (\varphi_1 - 1)Y_{t-1} + \varepsilon_t \\ \Delta Y_t &= \mu + \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2.5)$$

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

Pengujian akar unit dilakukan dengan membentuk regresi antara ΔY_t dan Y_{t-1} . Dickey dan Fuller menetapkan tiga bentuk model regresi sebagai berikut:

$$\Delta Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.6)$$

$$\Delta Y_t = \mu + \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.7)$$

$$\Delta Y_t = \mu + \beta_t + \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.8)$$

pada semua bentuk model di atas, jika parameter $\rho = 0$ maka runtun waktu Y_t mengandung akar unit (Gujarati, 2004).

Model regresi yang akan digunakan untuk melakukan uji ADF, yaitu:

$$Y_t = \mu + \rho \quad (2.9)$$

dimana $\rho = \sum_{i=1}^p \phi_i - 1$ dan $\phi_i = -\sum_{j=i+1}^m \phi_j$, ε_t adalah variabel gangguan, dan $m = p - 1$ adalah panjang *lag* dengan hipotesis sebagai berikut:

$$H_0 : \rho = 0 \text{ (data tidak stasioner)}$$

$$H_1 : \rho < 0 \text{ (data stasioner)}$$

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan nilai statistik ADF dengan nilai *critical value* pada selang kepercayaan $\alpha = 5\%$ (Makridakis *et al.*, 1999).

Apabila datanya tidak stasioner, maka data akan diubah dengan menggunakan metode tertentu hingga data stasioner. Proses pengubahan ini dilakukan sebelum analisis dimulai. Proses yang dilakukan untuk mengubah data tersebut ialah dengan melakukan *differencing*. Proses ini dikerjakan untuk memperoleh sisa antara data yang satu ke data yang lain, tergantung panjang *lag* yang telah dipilih pada proses *differencing*.

2.6 Penentuan Lag Optimal

Penentuan panjang *lag* (p) yang akan digunakan didasarkan pada masing-masing kriteria yaitu *Akaike Information Criterion* (AIC), *Bayesian Criterion of Gideon Schwarz* (SC), *Final Prediction Error* (FPE), dan *Hannan-Quinn Criterion* (HQ) dengan persamaan:

1. *Akaike Information Criterion* (AIC)

$$AIC(p) = \ln|\sum \hat{u}\hat{u}(p)| + (k + pk^2) \frac{2}{T} \quad (2.10)$$

2. *Bayesian Criterion of Gideon Schwarz* (SC)

$$SC(p) = \ln|\sum \hat{u}\hat{u}(p)| + (k + pk^2) \frac{2\ln(\ln T)}{T} \quad (2.11)$$

3. Final Prediction Error (FPE)

$$FPE(p) = \left[\frac{T+kp+1}{T-kp-1} \right] |\sum \hat{u}\hat{u}(p)| \quad (2.12)$$

4. Hannan-Quinn Criterion (HQ)

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

dengan $|\sum \hat{u}\hat{u}(p)|$ adalah determinan matriks varians kovarians dari model VAR(p), k ialah banyaknya variabel, T banyaknya pengamatan, dan p adalah panjang lag model VAR.

Menentukan panjang lag (p) yang dipilih dapat dilihat melalui nilai AIC, SC, FPE, dan HQ paling minimum atau terkecil. Adapun dari hasil yang diperoleh, semakin banyak jumlah lag yang dipakai maka semakin banyak jumlah parameter yang harus diestimasi dan semakin kecil derajat kebebasannya. Sedangkan semakin sedikit jumlah lag yang dipakai maka semakin sedikit jumlah parameter yang harus diestimasi dan semakin besar derajat kebebasannya (Enders, 2015).

2.7 Kointegrasi Johansen

Dalam menganalisis data runtun waktu sering ditemukan permasalahan-permasalahan salah satunya adalah data yang tidak stasioner, misalkan seperti dalam data-data ekonomi. Metode analisis yang memungkinkan adalah dengan melakukan *differencing* pada data runtun waktu hingga data stasioner. Oleh karena itu, pendekatan yang dapat dipergunakan untuk menganalisis data runtun waktu *multivariate* tidak stasioner ialah dengan analisis kointegrasi.

Konsep kointegrasi ini diperkenalkan oleh Engle dan Granger pada tahun 1987. Kointegrasi berkaitan erat dengan masalah menentukan suatu hubungan jangka panjang atau keseimbangan jangka panjang. Jika data runtun waktu terkointegrasi, maka terdapat suatu hubungan jangka panjang diantara data runtun waktu tersebut.

Untuk mengetahui apakah data runtun waktu terkointegrasi, maka metode yang digunakan untuk menguji kointegrasi yaitu uji kointegrasi Johansen. Uji kointegrasi menurut Johansen umumnya hanya untuk variabel yang terkointegrasi pada orde satu dan orde nol, yaitu $I(0)$ dan $I(1)$. Secara umum model VAR(p), dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) mengandung informasi baik penyesuaian jangka panjang dan jangka pendek terhadap perubahan y_t . Rank matriks Π ditandai dengan r , menentukan berapa banyak kombinasi linear y_t yang bersifat stasioner. Jika $0 < r < n$, maka terdapat r vektor terkointegrasi atau r kombinasi linear yang stasioner dari y_t . Maka dalam kasus ini, Π dapat difaktorisasi menjadi $\Pi = \alpha\beta'$. Dimana α dan β adalah matriks $n < r$ dengan α mempresentasikan kecepatan penyesuaian terhadap ketidakseimbangan (jangka pendek), dan β adalah matriks dari koefisien jangka panjang serta mengandung vektor kointegrasi.

Pengujian kointegrasi dapat diidentifikasi dengan cara membandingkan dua uji statistik, yaitu uji *trace statistic* dan uji *maximum eigenvalue*.

1. Uji *Trace Statistic*

$$Tr(r) = -T \sum_{i=r+1}^k \log(1 - \hat{\lambda}_i) \quad (2.15)$$

dengan hipotesis berikut:

H_0 : terdapat paling banyak r *eigen value* positif

H_1 : terdapat lebih dari r *eigen value* positif

2. Uji *Maximum Eigenvalue*

$$\lambda_{max}(r, r + 1) = -T \log(1 - \hat{\lambda}_{r+1}) \quad (2.16)$$

dengan hipotesis berikut:

H_0 : terdapat r *eigen value* positif

H_1 : terdapat $r+1$ *eigen value* positif

dimana,

$\hat{\lambda}_i$: estimasi dari *eigen value*

T : jumlah observasi

k : jumlah variabel endogen

pengujian ini dimulai ketika $r = 0, 1, \dots, k - 1$, dan H_0 ditolak apabila nilai uji *trace statistic* atau *maximum eigenvalue* lebih kecil daripada *critical value* $\alpha = 5\%$ (Kirchgassner dan Wolters, 2007). Jika terdapat kointegrasi antar variabel, maka representasi model *Vector Autoregressive* (VAR) dimodifikasi menjadi *Vector Error Correction Model* (VECM).

2.8 *Vector Autoregressive* (VAR)

Analisis data menggunakan metode *Vector Autoregressive* (VAR) sangat cocok untuk data runtun waktu yang melibatkan lebih dari satu variabel. Metode VAR merupakan sistem persamaan yang menunjukkan bahwa setiap variabel adalah fungsi linier dari konstanta dan *lag* peubah dari variabel lain dalam sistem (Enders, 2015). Adapun model VAR dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$Y_t = \sum_{i=1}^p \phi_i Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.17)$$

dimana,

Y_t : elemen vektor pengamatan pada waktu t berukuran $n \times 1$

ϕ_i : matriks berukuran $n \times n$ yang merupakan koefisien dari vektor Y_{t-1} , untuk $i = 1, 2, \dots, p$

p : panjang *lag* optimal

ε_t : vektor dampak dari guncangan (*shock*) terhadap masing-masing variabel berukuran $n \times 1$

Adapun apabila data yang digunakan stasioner dalam tingkat *differencing* yang sama dan memiliki hubungan kointegrasi, maka model di atas dapat dikombinasikan dengan *Error Correction Model* (ECM) menjadi *Vector Error Correction Model* (VECM) (Asteriou dan Hall, 2007).

2.9 *Vector Error Correction Model* (VECM)

Menurut Gujarati (2004), *Vector Error Correction Model* (VECM) yaitu analisis yang dikembangkan oleh Engle dan Granger untuk melihat apakah terdapat

hubungan pada jangka pendek terhadap jangka panjangnya. Metode VECM adalah analisis yang dipakai guna mengestimasi data yang tidak stasioner ditingkat level, akan tetapi mempunyai hubungan yang saling berkointegrasi. Adapun pendekatan dengan model VECM harus melalui berbagai tahap, yaitu uji stasioneritas, penentuan panjang *lag* optimal, uji kointegrasi, mengestimasi model VECM, melakukan uji kausalitas, melakukan pendekatan *Impulse Response Function* (IRF), dan *Variance Decomposition* (VD) untuk melihat karakteristik model dinamis VECM yang telah dihasilkan (Sinay, 2014).

Pada dasarnya model ini menggunakan bentuk VAR yang terestriksi, sehingga VECM sering disebut sebagai model VAR bagi data runtun waktu yang bersifat tidak stasioner dan memiliki hubungan saling berkointegrasi. Jika suatu data runtun waktu model VAR terbukti terdapat hubungan kointegrasi, maka VECM dapat digunakan untuk mengetahui tingkah laku jangka pendek dari suatu variabel terhadap nilai jangka panjangnya. Secara umum model VAR yang tidak terestriksi dan memiliki sampai $p - lag$ sebagai berikut:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{p-1} + \varepsilon_t \quad (2.18)$$

dimana,

y_t : sebuah vektor dengan variabel

A : parameter matriks

ε_t : vektor *error*

Untuk melihat hubungan yang dekat diantara ECM dan kointegrasi, misalkan y_{1t} dan y_{2t} adalah kedua variabel $I(1)$. Dengan semua elemen

$$\begin{aligned} \Delta y_{1t} &= \alpha_1 (y_{1,t-1} - \beta_1 y_{2,t-1}) + \gamma_{11,1} \Delta y_{1,t-1} + \gamma_{12,1} \Delta y_{2,t-1} + \varepsilon_{1t} \\ \Delta y_{2t} &= \alpha_2 (y_{2,t-1} - \beta_1 y_{2,t-1}) + \gamma_{21,1} \Delta y_{1,t-1} + \gamma_{22,1} \Delta y_{2,t-1} + \varepsilon_{2t} \end{aligned} \quad (2.19)$$

dimana Δy_{it} adalah stabil, ε_{1t} dan ε_{2t} adalah kesalahan *white noise* yang juga stabil.

Karena istilah yang tidak stabil tidak sama dengan proses yang stabil, maka

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

harus stabil juga. Oleh karena itu, 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 (2.19) dapat dituliskan sebagai:

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

atau

$$y_t - y_{t-1} = \alpha \beta' y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} - y_{t-2} + \varepsilon_t \quad (2.20)$$

Selanjutnya pada kasus yang lebih spesifik, dimana semua variabel individu adalah $I(1)$ dan $I(0)$. Proses VAR(p) dimensi- k adalah:

$$y_t = A_1 y_{t-1} + \dots + A_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (2.21)$$

Dikatakan terkointegrasi dari *rank* r jika $\Pi = -(I_k - A_1 - \dots - A_p)$.

Menulis ulang persamaan (2.21) seperti pada (2.20) yang memiliki representasi dari *Vector Error Correction Model* (VECM) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta y_t &= \alpha \beta' y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_p \Delta y_{t-p} + \varepsilon_t \\ &= \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \dots + \Gamma_p \Delta y_{t-p} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (2.22)$$

dengan $\Gamma_i = -(A_{i+1} + A_p)$, $i = 1, 2, \dots, p - 1$.

Atau secara umum, bentuk dari VECM(p) dimana p adalah *lag* variabel endogen dengan *rank* kointegrasi $r \leq k$ adalah sebagai berikut:

$$\Delta y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-i} + D_t + \varepsilon_t \quad (2.23)$$

dimana,

- Δ : operator *differencing*, dimana $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$
- y_{t-1} : vektor variabel endogen dengan *lag* 1
- Π : matriks koefisien dari kointegrasi ($\Pi = \alpha \beta'$; α =vektor *adjustment* (parameter jangka pendek) dan β =vektor kointegrasi (parameter jangka panjang))
- Γ_i : koefisien matriks variabel endogen ke- i
- D : vektor konstan
- ε : vektor residual

(Lutkepohl, 2005)

2.10 Maximum Likelihood Estimation (MLE)

Maximum Likelihood Estimation (MLE) adalah metode pendugaan parameter dengan menggunakan pendekatan distribusi dari data yang dimiliki dan asumsi data yang diberlakukan oleh data tersebut. Metode MLE menyediakan metode umum, dimana suatu kondisi dalam suatu sampel acak terdapat penduga yang bersifat konsisten.

Pada penggunaan metode MLE, diasumsikan bahwa sampel acak dari suatu populasi adalah X , dimana X mempunyai fungsi peluang yang mewakili beberapa parameter $f(x; \theta)$. Kemudian dimisalkan bahwa fungsi f diketahui, θ adalah skalar dengan nilai θ tidak diketahui.

Fungsi peluang bersama dari peubah acak (x_1, x_2, \dots, x_n) dapat dituliskan:

$$L(\theta) = f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) \quad (2.24)$$

Fungsi tersebut lebih dikenal dengan fungsi *likelihood* dari suatu sampel. Sifat dari MLE ini dibutuhkan untuk memilih penduga dari parameter yang tidak diketahui. Jika suatu kelompok distribusi ingin menentukan dua atau lebih parameter yang tidak diketahui, yaitu $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$, maka fungsi *likelihood* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) &= f(x_1, x_2, \dots, x_n; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n) \\ &= \prod_{i=1}^n f(x_i; \theta) \end{aligned} \quad (2.25)$$

Secara matematis pendugaan parameter VECM dengan metode MLE adalah sebagai berikut:

Fungsi *log likelihood* untuk sampel berukuran T

$$\begin{aligned} \ln l &= -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &\quad - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - \Gamma\Delta X)' \Sigma_u^{-1} (\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - \Gamma\Delta X)] \end{aligned} \quad (2.26)$$

dimana fungsi *log likelihood* dimaksimalkan untuk

$$\Gamma = \hat{\Gamma} := (\Delta Y - \hat{\alpha}\hat{\beta}'Y_{-1})\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1}$$

Selanjutnya, dengan mengganti Γ pada persamaan (2.18) dengan $\hat{\Gamma}(\alpha\beta')$ menjadi

$$\hat{\Gamma}(\alpha\beta') = (\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1})\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1} \quad (2.27)$$

maka,

$$\begin{aligned} \ln l &= -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &\quad - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - \Gamma\Delta X)' \Sigma_u^{-1}(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - \Gamma\Delta X)] \\ &= -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &\quad - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - \hat{\Gamma}(\alpha\beta')\Delta X)' \Sigma_u^{-1}(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - \hat{\Gamma}(\alpha\beta')\Delta X)] \\ &= -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &\quad - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - ((\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1})\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})\Delta X)' \Sigma_u^{-1}(\Delta Y \\ &\quad - \alpha\beta'Y_{-1} - ((\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1})\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})\Delta X)] \\ &= -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &\quad - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - (\Delta Y(\Delta X'))\Delta X)' - \alpha\beta'Y_{-1} \\ &\quad - ((\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})\Delta X)' \Sigma_u^{-1}(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - (\Delta Y(\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})) \\ &\quad \Delta X)' - \alpha\beta'Y_{-1} - ((\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})\Delta X)] \\ &= -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &\quad - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y - (\Delta Y(\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1}))\Delta X)' - \alpha\beta'Y_{-1} - \alpha\beta'Y_{-1} \\ &\quad - ((\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})\Delta X)' \Sigma_u^{-1}(\Delta Y - (\Delta Y(\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})) \\ &\quad \Delta X)' - \alpha\beta'Y_{-1} - \alpha\beta'Y_{-1} ((\Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})\Delta X)] \\ &= -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &\quad - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y((I - \Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1}))\Delta X) - \alpha\beta'Y_{-1}((I - \Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1} \\ &\quad \Delta X))' \Sigma_u^{-1}(\Delta Y((I - \Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1}))\Delta X) - \alpha\beta'Y_{-1}((I - \Delta X' \\ &\quad (\Delta X\Delta X')^{-1})\Delta X))]. \end{aligned}$$

Misalkan $M = (I - \Delta X'(\Delta X\Delta X')^{-1})\Delta X$, maka akan diperoleh

$$\begin{aligned} \ln l &= -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &\quad - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta YM - \alpha\beta'Y_{-1}M)' \Sigma_u^{-1}(\Delta YM - \alpha\beta'Y_{-1}M)] \quad (2.28) \end{aligned}$$

kemudian, turunkan terhadap α , β , dan Γ .

Untuk metode MLE tidak diasumsikan bahwa β adalah normal, melainkan hanya dibuat asumsi $rk(\Pi) = r$ yang menyatakan bahwa matriks tersebut dapat direpresentasikan sebagai $\Pi = \alpha\beta'$, dimana α dan β berukuran $(K \times r)$ dengan $rk(\alpha) = rk(\beta) = r$. Penurunan terhadap α dan β adalah kasus khusus yang menggunakan fungsi *log likelihood* sebagai berikut:

$$\ln l = -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T (\Delta y_t - \Pi y_{t-1})' \Sigma_u^{-1} (\Delta y_t - \Pi y_{t-1}) \quad (2.29)$$

(Lutkepohl, 2005)

Sementara itu, untuk menguji karakteristik penduga dengan menggunakan metode MLE, maka sifat-sifat penduga yang baik harus terpenuhi diantaranya adalah:

1. Tak bias

Tak bias merupakan salah satu karakteristik yang diinginkan bagi suatu parameter. Penduga $U(X) = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ merupakan penduga tak bias bagi θ bila $E(U(X)) = \theta$.

Contoh:

$X \sim \text{Bernoulli}(\theta)$. X_1, X_2, \dots, X_n sampel acak. $\hat{\theta}_L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, $\hat{\theta}_L$ penduga tak bias bagi θ jika $E(\hat{\theta}_L) = \theta$.

Bukti:

$$\begin{aligned} E(\hat{\theta}_L) &= E\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right] \\ &= \frac{1}{n} E[\sum_{i=1}^n X_i] \\ &= \frac{1}{n} [\sum_{i=1}^n E(X_i)] \\ &= \frac{1}{n} [E(X_1) + E(X_2) + \dots + E(X_n)] \\ &= \frac{1}{n} [\theta + \theta + \dots + \theta] \\ &= \frac{1}{n} (n\theta) \\ &= \theta \end{aligned}$$

karena $\hat{\theta}_L = \theta$, maka $\hat{\theta}_L$ merupakan penduga tak bias bagi θ .

2. Ragam minimum

Pendugaan parameter yang baik salah satunya adalah memiliki ragam minimum. Hogg *et all* (1995), menyatakan jika $U(X)$ merupakan penduga bagi θ maka $U_1(X)$ merupakan penduga yang memiliki ragam minimum atau terkecil jika

$$\sigma_{u_1(x)}^2 \leq \sigma_{U(X)}^2$$

dimana $U(X)$ merupakan penduga sembarang bagi θ .

Contoh:

$X \sim \text{Bernoulli}(\theta)$, $0 < \theta < 1$. X_1, X_2, \dots, X_n sampel acak. Penduga kemungkinan maksimum bagi θ adalah $\hat{\theta}_L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$, penduga Bayes $\theta \sim \text{Uniform}(0,1)$ bagi θ adalah $\hat{\theta}_B = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i) + 1}{n+2}$. Selanjutnya bandingkan mana yang memiliki variansi lebih kecil.

Bukti:

$$\begin{aligned} \text{Var}(\hat{\theta}_L) &= \text{Var}\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i\right) \\ &= \left(\frac{1}{n}\right)^2 \text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i) \\ &= \left(\frac{1}{n}\right)^2 \text{Var}(X_1 + X_2 + \dots + X_n) \\ &= \left(\frac{1}{n}\right)^2 [\text{Var}(X_1) + \text{Var}(X_2) + \dots + \text{Var}(X_n)] \\ &= \left(\frac{1}{n}\right)^2 [\theta(1-\theta) + \theta(1-\theta) + \dots + \theta(1-\theta)] \\ &= \left(\frac{1}{n}\right)^2 n\theta(1-\theta) \\ &= \frac{\theta(1-\theta)}{n} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(\hat{\theta}_B) &= \text{Var}\left(\frac{(\sum_{i=1}^n X_i) + 1}{n+2}\right) \\ &= \left(\frac{1}{n+2}\right)^2 \text{Var}(\sum_{i=1}^n X_i) \\ &= \left(\frac{1}{n+2}\right)^2 \text{Var}(X_1 + X_2 + \dots + X_n) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left(\frac{1}{n+2}\right)^2 [Var(X_1) + Var(X_2) + \dots + Var(X_n)] \\
&= \left(\frac{1}{n+2}\right)^2 [\theta(1-\theta) + \theta(1-\theta) + \dots + \theta(1-\theta)] \\
&= \left(\frac{1}{n+2}\right)^2 n\theta(1-\theta) \\
&= \frac{n\theta(1-\theta)}{n+2}
\end{aligned}$$

karena $\frac{\theta(1-\theta)}{n} < \frac{n\theta(1-\theta)}{n+2}$, maka $Var(\hat{\theta}_L) < Var(\hat{\theta}_B)$. Sehingga $Var(\hat{\theta}_L)$ sebagai ragam minimum atau terkecil.

2.11 Analisis Kausalitas Granger

Adanya kointegrasi menunjukkan hubungan jangka panjang antar variabel-variabelnya. Bahkan ketika variabel-variabel tersebut tidak saling berkointegrasi dalam hubungan jangka panjang, akan tetapi memungkinkan variabel-variabel tersebut masih memiliki hubungan jangka pendek. Untuk memahami hubungan saling ketergantungan antar variabel, maka akan digunakan analisis kausalitas Granger. Analisis kausalitas Granger dilakukan untuk menentukan apakah suatu variabel terikat dapat dianggap menjadi variabel bebas. Apabila terdapat dua variabel X dan Y maka apakah X mengakibatkan Y, Y mengakibatkan X, berlaku keduanya, atau bahkan tidak terdapat hubungan keduanya.

Uji kausalitas yang paling terkenal untuk dipakai pada banyak sekali penelitian ialah uji *Granger Causality*. Uji ini menggunakan uji F untuk menentukan jika ada perubahan pada satu variabel dikarenakan adanya perubahan variabel lainnya. Jika dilihat model persamaan VAR pada persamaan (2.17) untuk semua koefisien \emptyset pada lag nilai dari Y signifikan, maka “X *Granger Causal* Y”. Namun jika X *Granger Causal* Y dan tidak sebaliknya, maka disebut kausalitas satu arah atau kausalitas tidak langsung. Sedangkan apabila *causality* masih ada dalam keduanya, menurut X ke Y dan menurut Y ke X, maka diklaim dengan *causality* dua arah (Brooks, 2008).

Hipotesis untuk uji *Granger Causality* adalah sebagai berikut:

$H_0 : \phi_i = 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, p$ (Y_{2t} tidak “*Granger Cause*” Y_{1t})

H_1 : minimal terdapat satu $\phi_i \neq 0$ untuk $i = 1, 2, \dots, p$ (Y_{2t} “*Granger Cause*” Y_{1t})

Adapun statistik uji yang digunakan adalah

$$F - Test = \frac{(RSS_0 - RSS_1)/p}{RSS_1/(T-2p-1)} \quad (2.30)$$

dimana:

RSS_0 : jumlah kuadrat residual dari model univariat VAR

RSS_1 : jumlah kuadrat residual dari model VAR

p : jumlah *lag*

T : jumlah data ($2n$)

dengan kriteria pengujiannya ialah, apabila $F-Test > F_{(\alpha, p, T-2p-1)}$ maka tolak H_0 .

2.12 Analisis *Impulse Response Function* (IRF)

Analisis *Impulse Response Function* (IRF) dipergunakan untuk memperkirakan bagaimana respon dari variabel di masa mendatang jika terjadi dampak dari guncangan pada satu variabel lainnya. Analisis IRF digunakan untuk mengukur besarnya (perubahan dalam persen), arah atau orientasi (peningkatan atau penurunan), dan panjang (lamanya waktu guncangan mempengaruhi variabel terikat). Dengan melakukan analisis IRF terlihat pula seberapa lama efek atau pengaruh terjadi dampak hingga hilang dan terjadi keseimbangan kembali (Faizin, 2021).

Metode IRF ini diawali berdasarkan model VAR. Misal dipakai tiga variabel dalam persamaan VAR berikut:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ a_{30} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{t-1} \\ y_{t-1} \\ z_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Dengan menggunakan bentuk umum persamaan VAR di atas, maka

$$Y_t = \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix}, \mu = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix}, \text{ dan } A_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

sehingga diperoleh:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Persamaan (2.33) menyatakan $x_t, y_t,$ dan z_t secara berurutan $\{e_{1t}\}, \{e_{2t}\},$ dan $\{e_{3t}\},$ yang kemudian ditulis sebagai $\{\sum x_t\}, \{\sum y_t\},$ dan $\{\sum z_t\}.$ Memungkinkan untuk mendapatkan model VAR dalam bentuk:

$$Y_t = A_0 + A_1 X_{t-1} + e_t \quad (2.34)$$

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

$$\begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \\ e_{3t} \end{bmatrix} = \frac{1}{\det(A_1)} \times \text{adj}(A_1) \times \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

dimana $\det(A_1)$ ialah nilai determinan dari matriks A_1 dan $\text{adj}(A_1)$ ialah matriks *adjoint* dari matriks $A_1,$ sehingga persamaan (2.32) dan (2.33) digabung menjadi:

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix} + \frac{1}{\det(A_1)} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^i \times \text{adj}(A_1) \times \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t-i} \\ \varepsilon_{2t-i} \\ \varepsilon_{3t-i} \end{bmatrix} \quad (2.36)$$

Selanjutnya dapat disederhanakan dengan mendefinisikannya sebagai *value* matriks Φ berukuran 3x3. Dengan demikian, persamaan (2.33) dan (2.34) dapat ditulis dalam urutan $\{e_{xt}\}, \{e_{yt}\},$ dan $\{e_{zt}\}:$

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \Phi_{11}(i) & \Phi_{12}(i) & \Phi_{13}(i) \\ \Phi_{21}(i) & \Phi_{22}(i) & \Phi_{23}(i) \\ \Phi_{31}(i) & \Phi_{32}(i) & \Phi_{33}(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xt-i} \\ \varepsilon_{yt-i} \\ \varepsilon_{zt-i} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

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

$$\Phi_i = \frac{1}{\det(A_1)} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix}^i \times \text{adj}(A_1) \quad (2.38)$$

Persamaan (2.34) dapat ditulis ulang dalam bentuk Z_t sebagai berikut:

$$Z_t = \mu + \sum_{i=1}^{\infty} \phi_i + \varepsilon_{t-i} \quad (2.39)$$

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

2.13 Analisis *Variance Decomposition* (VD)

Analisis *Variance Decomposition* (VD) adalah hasil analisis VECM yang berfungsi untuk menunjang hasil analisis sebelumnya. Analisis ini memberikan perkiraan mengenai kontribusi variabel terhadap transformasi masing-masing variabel dalam beberapa periode yang akan datang dan nilainya diukur dalam bentuk persentase. Adapun analisis VD juga digunakan untuk mengukur perkiraan kesalahan varians suatu variabel, yaitu seberapa besar kemampuan suatu variabel dalam memberikan penjelasan pada variabel lainnya atau pada variabel itu sendiri. Dengan demikian, dapat diketahui kontribusi untuk setiap variabel dalam membentuk nilai variabel tersebut.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

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

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data runtun waktu dalam frekuensi data bulanan. Data penelitian ini terdiri dari data bulanan inflasi di Indonesia yang diperoleh dari *website* resmi Bank Indonesia (BI) yaitu <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx>, data bulanan jumlah uang beredar luas yang diperoleh dari *website* resmi Kementerian Perdagangan RI yaitu <https://satudata.kemendag.go.id/data-informasi/perdagangan-dalam-negeri/jumlah-uang-beredar>, dan data bulanan nilai tukar mata uang asing terhadap Rupiah yang diperoleh dari *website* resmi Kementerian Perdagangan RI yaitu <https://satudata.kemendag.go.id/data-informasi/perdagangan-dalam-negeri/nilai-tukar> terhitung sejak bulan Januari 2003–Agustus 2021 sebanyak 224 data. Data diunduh dengan cara satu per satu dalam bentuk *software excel*. Berikut adalah data penelitian yang digunakan:

Tabel 1. Data Penelitian Periode Januari 2003-Agustus 2021

Periode	Inflasi	Jumlah Uang Beredar Luas	Nilai tukar Mata Uang (USD)
Januari 2003	8,68	873.683	8.876
Februari 2003	7,6	881.215	8.905
Maret 2003	7,17	877.776	8.908

Tabel 1. (lanjutan)

April 2003	7,62	882.808	8.675
Mei 2003	7,15	893.029	8.279
⋮	⋮	⋮	⋮
April 2021	1,42	6.964.386,49	14.468
Mei 2021	1,68	7.004.093,08	14.310
Juni 2021	1,33	7.130.061,42	14.496
Juli 2021	1,52	7.160.560,33	14.491
Agustus 2021	1,59	7.211.500,72	14.374

3.3 Metode Penelitian

Data untuk penelitian ini diolah menggunakan bantuan *software R Studio*. Adapun tahapan-tahapan untuk menganalisis penelitian ini sebagai berikut:

1. Uji stasioneritas

Kestasioneran pada penelitian ini dapat dilihat dengan menggunakan uji *Augmented Dickey-Fuller (ADF)*. Dikatakan data stasioner apabila nilai Prob $ADF < \alpha = 5\%$. Apabila data belum stasioner pada tingkat level, maka akan dilakukan *differencing* sampai data stasioner.

2. Menetapkan panjang *lag* optimal

Pemilihan panjang *lag* optimal dapat dilihat melalui nilai AIC, SC, FPE, dan HQ paling minimum atau terkecil.

3. Uji kointegrasi

Untuk mengetahui apakah data runtun waktu terkointegrasi, maka uji yang digunakan yaitu uji kointegrasi Johansen. Apabila nilai *trace statistic* lebih besar daripada nilai kritisnya yaitu $\alpha = 5\%$, maka terdapat hubungan yang saling berkointegrasi antar variabel. Selanjutnya, apabila terbukti terdapat hubungan yang saling berkointegrasi antar variabel maka model yang digunakan adalah *Vector Error Correction Model (VECM)*.

4. Mengestimasi model VECM

Pada penelitian ini, pendugaan parameter model VECM dilakukan menggunakan metode *Maximum Likelihood Estimation (MLE)* dengan cara

membentuk matriks koefisien kointegrasi (II) untuk mengetahui hubungan jangka panjang dan jangka pendek.

5. Menganalisis hubungan kausalitas

Uji kausalitas yang paling terkenal untuk dipakai pada banyak sekali penelitian ialah uji kausalitas Granger. Pengujian ini didasarkan dalam uji F untuk melihat seberapa berpengaruhnya nilai variabel pada masa lalu dengan nilai variabel yang lain. Variabel X dikatakan “Granger Cause” Y jika nilai Prob $F < \alpha = 5\%$.

6. Melakukan analisis *Impulse Response Function* (IRF)

Analisis *Impulse Response Function* (IRF) dipergunakan untuk memperkirakan bagaimana respon variabel di masa mendatang jika terjadi dampak dari guncangan pada satu variabel lainnya. Analisis IRF dapat diketahui dengan melihat grafik IRF yang akan menunjukkan respon suatu variabel akibat kejutan variabel lainnya sampai dengan beberapa periode setelah terjadinya dampak dari guncangan.

9. Melakukan analisis *Variance Decomposition* (VD)

Analisis *Variance Decomposition* (VD) memberikan perkiraan mengenai kontribusi variabel terhadap perubahan masing-masing variabel tersebut dalam beberapa periode yang akan datang dan nilainya diukur dalam bentuk persentase. Analisis VD dapat diketahui dengan melihat tabel nilai yang tersaji.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat diambil kesimpulan untuk beberapa hal yaitu:

1. Hasil pada analisis hubungan kausalitas menunjukkan bahwa terdapat hubungan kausalitas dua arah pada variabel jumlah uang beredar luas terhadap variabel nilai tukar dan pada variabel nilai tukar terhadap variabel jumlah uang beredar luas. Hal ini berarti variabel jumlah uang beredar luas dan variabel nilai tukar secara signifikan saling mempengaruhi satu sama lain. Selanjutnya terjadi hubungan kausalitas satu arah hanya pada variabel inflasi yang mempengaruhi variabel jumlah uang beredar luas, dan tidak berlaku sebaliknya.
2. Respon yang diberikan akibat adanya dampak dari guncangan perubahan variabel yang satu terhadap variabel yang lain terjadi secara bervariasi, dan dampak dari guncangan tersebut terjadi pada periode awal dan pada beberapa periode berikutnya cenderung mengalami kestabilan.
3. Kontribusi yang diberikan masing-masing variabel dalam terbentuknya nilai variabel tersebut berbeda satu dengan yang lainnya. Hasil menunjukkan bahwa pada periode awal nilai kontribusi terhadap variabel itu sendiri relatif besar, sedangkan dengan variabel yang lain relatif kecil. Sehingga untuk variabel yang memberikan kontribusi terbesar adalah variabel inflasi terhadap variabel inflasi itu sendiri, dengan kontribusi yang diberikan adalah sebesar 100%.

DAFTAR PUSTAKA

- Asteriou, D. dan Hall, S.G. 2007. *Applied Econometrics: A Modern Approach*. Revised Edition. Palgrave Macmillian, New York.
- Brooks, C. 2008. *Introductory: Econometrics for Finance*. Ed. ke-2. Cambridge University Press, New York.
- Dzakiyah, Z., Puspitaningtyas, Z., dan Puspita, Y. 2018. Pengaruh Jumlah Nilai Ekspor dan Tingkat Inflasi Terhadap Kurs Rupiah Tahun 2009-2016. *Jurnal Perilaku dan Strategi Bisnis*, **6**(2): 104-110.
- Enders, W. 2015. *Applied Econometric Time Series*. John Wiley and Sons Interscience Publication, New York.
- Faizin, M. 2021. Penerapan *Vector Error Correction Model* pada Hubungan Kurs, Inflasi dan Suku Bunga. *E-Journal Ekonomi Bisnis dan Akutansi*, **8**(1): 33-41.
- Gujarati, D.N. 2004. *Basic Econometrics*. Ed. ke-4. McGraw-Hill International Edition, New York.
- Hanke, J.E. dan Wichern, D.W. 2014. *Business Forecasting*. Ed. ke-9. New Jersey: Pearson Prentice Hall, New York.
- Hogg, R.V. McKean, J.W. dan Craig, A.T. 2019. *Introduction to Mathematical Statistics*. Ed. ke-8. Pearson Education, Boston.
- Hudaya, A. 2011. Analisis Kurs, Jumlah Uang Beredar, dan Suku Bunga SBI Terhadap Inflasi Di Indonesia Periode 2001-2010. Skripsi. Jurusan Ilmu Ekonomi FEB UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta.

- Kirchgassner, G., dan Wolters, J. 2007. *Introduction to Modern Time Series Analysis*. Springer Verlaag, Berlin.
- Lutkepohl, H. 2005. *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Springer-Verlaag, Berlin.
- Makridakis, S., Wheelwright, S.C., dan McGee, V.E. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Erlangga, Jakarta.
- Mankiw, N.G. 2007. *Makroekonomi*. Ed. ke-6. Erlangga, Jakarta.
- McConnell, C.R., Brue, S., dan Flynn, S. 2019. *Macroeconomics: Principles, Problem, and Policies*. Ed. ke-18. The McGraw-Hill Education, New York.
- Murni, A. 2006. *Ekonomika Makro*. PT Refika Aditama, Bandung.
- Sinay, L.J. 2014. Pendekatan *Vector Error Correction Model* Untuk Analisis Hubungan Inflasi, Bi Rate Dan Kurs Dolar Amerika Serikat. *Jurnal Berekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, **8(2)**: 9-18.
- Sukirno, S. 2004. *Teori Pengantar Makro Ekonomi*. PT Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Widarjono, A. 2007. *Ekonometrika Teori dan Aplikasi untuk Ekonomi dan Bisnis*. Ed. ke-2. Ekonisia, Yogyakarta.