

**ANALISIS HUBUNGAN ANTARA PERUBAHAN  
SUHU PERMUKAAN BUMI DAN KINERJA SAHAM  
BUMI RESOURCES (BUMI.TBK): PENDEKATAN  
*VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM)**

**SKRIPSI**



**NUR AMALIA RAMADHANI**

**H081201010**

**PROGRAM STUDI ILMU AKTUARIA  
DEPARTEMEN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
APRIL 2024**

**ANALISIS HUBUNGAN ANTARA PERUBAHAN  
SUHU PERMUKAAN BUMI DAN KINERJA SAHAM  
BUMI RESOURCES (BUMI.TBK): PENDEKATAN  
*VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Aktuaria (S.Aktr.) pada Program Studi Ilmu Aktuaria  
Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Hasanuddin**

**NUR AMALIA RAMADHANI**

**H081201010**

**PROGRAM STUDI ILMU AKTUARIA DEPARTEMEN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
APRIL 2024**

## LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

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

**Analisis Hubungan antara Perubahan Suhu Permukaan Bumi dan Kinerja Saham Bumi Resources (BUMI.Tbk): Pendekatan *Vector Error Correction Model* (VECM)**

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

Makassar, 19 April 2024



**Nur Amalia Ramadhani**  
NIM H081201010

SKRIPSI

**ANALISIS HUBUNGAN ANTARA PERUBAHAN SUHU  
PERMUKAAN BUMI DAN KINERJA SAHAM BUMI  
RESOURCES (BUMI.TBK): PENDEKATAN *VECTOR ERROR  
CORRECTION MODEL* (VECM)**

**NUR AMALIA RAMADHANI**


**H081201010**


**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama

  
Dr. Amran, S.Si., M.Si.  
NIP 197011011998021001

  
Illuminata Wynnica, S.Si., M.Si.  
NIP 199511012022044001

Pada 19 April 2024

**ANALISIS HUBUNGAN ANTARA PERUBAHAN SUHU  
PERMUKAAN BUMI DAN KINERJA SAHAM BUMI  
RESOURCES (BUMI.TBK): PENDEKATAN *VECTOR ERROR  
CORRECTION MODEL* (VECM)**

**NUR AMALIA RAMADHANI**

**H081201010**

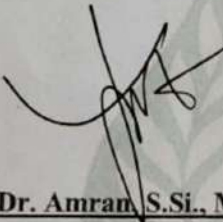
Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Aktuaria dan dinyatakan telah  
memenuhi syarat kelulusan.

Mengesahkan

**Pembimbing Utama,**

**Pembimbing Pertama,**

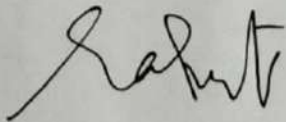


**Dr. Amran, S.Si., M.Si.**  
NIP 197011011998021001



**Illuminata Wynn, S.Si., M.Si.**  
NIP 199511012022044001

Mengetahui  
**Kepala Program Studi,**



**Prof. Dr. Hasmawati, M.Si.**  
NIP 196412311990032007



## HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Nur Amalia Ramadhani  
NIM : H081201010  
Program Studi : Ilmu Aktuaria  
Judul Skripsi : Analisis Hubungan antara Perubahan Suhu Permukaan Bumi dan Kinerja Saham Bumi Resources (BUMILTbk): Pendekatan *Vector Error Correction Model* (VECM)

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

### DEWAN PENGUJI

Ketua : Dr. Amran, S.Si., M.Si.

Sekretaris : Illuminata Wynnie, S.Si., M.Si.

Anggota : Dr. Andi Muhammad Anwar, S.Si., M.Si.

Anggota : Edy Saputra Rusdi, S.Si., M.Si.

()  
()  
()  
()

Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 19 April 2024

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur terus terhatur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan Rahmat dan Karunia-Nya, karena dengan izin-Nya, peneliti berhasil menyelesaikan tugas akhir berjudul "Analisis Hubungan antara Perubahan Suhu Permukaan Bumi dan Kinerja Saham Bumi Resources (Bumi.Tbk) : Pendekatan *Vector Error Correction Model (VECM)*".

Penyusunan skripsi ini dilakukan dengan tujuan memenuhi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana di Program Studi Ilmu Aktuaria Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam dari Universitas Hasanuddin.

Peneliti menyadari bahwa skripsi ini belum mencapai tingkat kesempurnaan, karena masih terdapat beberapa kekurangan di dalamnya. Keterbatasan peneliti dalam hal kemampuan, pengetahuan, dan pengalaman menjadi penyebab utama dari kekurangan tersebut. Oleh karena itu, peneliti sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar karya tulis yang akan datang dapat lebih baik.

Meskipun proses penulisan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai kendala, namun dengan bantuan, bimbingan, dan kerjasama dari berbagai pihak, baik moril maupun materil, peneliti berhasil menyelesaikannya.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini dengan kerendahan hati peneliti ingin menyampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak yang turut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, diantaranya yaitu kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.** selaku rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak **Dr. Eng. Amiruddin, M.Si.** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta jajarannya.
3. Bapak **Dr. Firman, S.Si., M.Si.** selaku Ketua Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.
4. Ibu **Prof. Dr. Hasmawati M.Si.** selaku Ketua Program Studi Ilmu Aktuaria yang senantiasa sabar, tulus, dan ikhlas meluangkan banyak waktu di tengah kesibukan dan prioritasnya untuk membimbing dan memberi masukan, semangat serta motivasi dalam penulisan skripsi ini.

5. Dosen Pembimbing Bapak **Dr. Amran, S.Si., M.Si.** dan Ibu **Illuminata Wynn timer, S.Si., M.Si.** yang telah memberikan masukan dan arahan, serta ikhlas menyempatkan waktu di tengah kesibukan, sehingga penulisan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.
6. Dosen Penguji **Bapak Dr. Andi Muhammad Anwar, S.Si., M.Si.** dan **Bapak Edy Saputra Rusdi, S.Si., M.Si.** yang telah meluangkan waktunya dari seminar proposal hingga sidang skripsi untuk memberikan saran dan masukan dalam proses penulisan skripsi peneliti.
7. Bapak/Ibu Dosen Program Studi Ilmu Aktuaria yang telah memberikan ilmunya kepada peneliti selama perkuliahan. Serta kepada staf/pegawai departemen Matematika yang telah membantu dalam proses administrasi.
8. Orang Tua dan Adik, sebagai pemberi kasih sayang, dukungan, semangat, dan rasa tulus yang besar dalam mencapai keberhasilan penelitian dan pendidikan peneliti.
9. Sahabat terbaik yang malu untuk saya sebut sebanyak 8 nama, yang tidak pernah bosan untuk selalu bersama, senantiasa memberikan semangat, motivasi, dukungan, dan kontribusi berarti dalam perjalanan perkuliahan hingga penyelesaian skripsi ini.
10. Teman-teman di Program Studi Ilmu Aktuaria Angkatan 2020 yang selalu berbagi pengalaman selama masa perkuliahan dan memberikan dorongan serta bantuan tulus untuk menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Peneliti menghargai saran dan kritik yang membangun. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Peneliti

Nur Amalia Ramadhani



## ABSTRAK

Adanya kebijakan global terkait target *net zero emission* berkaitan dengan tuntutan emisi karbon hasil pembakaran besar-besaran pada kondisi suhu dunia saat ini. Penelitian ini mengkaji pengaruh perusahaan produksi batu bara melalui Bumi Resources melalui indikator pengembalian saham BUMI atas perubahan suhu pada beberapa titik negara yaitu China, India, dan Indonesia yang merupakan negara arah ekspor terbesar perusahaan BUMI. Penelitian menggunakan pendekatan *Vector Error Correction Model*, yang dibagi menjadi beberapa tahap yakni: 1) pengujian stasioner variabel; 2) penentuan *lag* optimal dan pengujian stabilitas model; 3) pengujian kointegrasi terkait ada tidaknya pengaruh jangka panjang antar variabel; dan 4) penggunaan *impulse response function* untuk mengetahui bentuk hubungan variabel suhu dan kinerja saham. Analisis dilakukan dengan menggunakan alat bantu *software*. Pengujian kointegrasi memberi hasil adanya hubungan jangka panjang antar variabel berdasarkan perolehan nilai *trace statistik* yang melebihi nilai *critical value* ( $9.531 > 3.84146$ ) menghasilkan penolakan hipotesis sehingga disimpulkan terdapat lebih dari 3 kointegrasi. Dengan IRF, diperoleh korelasi *tren* pada grafik respon variabel suhu baik suhu China, suhu India, dan suhu Indonesia atas perubahan kinerja BUMI. Berdasarkan pengujian kointegrasi diperoleh hasil pengujian bahwa terdapat hubungan jangka panjang antara suhu China, suhu India, suhu Indonesia dan kinerja BUMI dan juga ditemukan respon perubahan suhu China, suhu India, dan suhu Indonesia atas perubahan kinerja BUMI berdasarkan penggunaan IRF bahwa peningkatan kinerja BUMI memberikan dampak pada peningkatan suhu lokal di negara China, India, dan Indonesia.

Kata kunci: *net zero emission; emisi karbon; kointegrasi; impulse response function, vecm, var.*

## ABSTRACT

There is a global policy related to net zero emission targets related to carbon emissions from massive combustion under current global temperature conditions. The study examines the influence of coal-producing companies through Bumi Resources through the return indicator of BUMI's stock on temperature changes in several countries such as China, India, and Indonesia, which are the largest exporting countries of BUMI. The research uses the Vector Error Correction Model approach, which is divided into several stages: 1) stationary variable testing; 2) optimum lag mating and model stability testing; 3) co-integration testing related to the absence of long-term influence between variables; and 4) use of impulse response function to figure out the shape of the relationship between the variable temperature and stock performance. The analysis was done using a software. The co-integration test resulted in the existence of long-term relationships between variables based on obtaining statistical trace values that exceeded critical values ( $9.531 > 3.84146$ ) resulting in the rejection of the hypothesis so that it was concluded that there is more than 3 cointegrations. With IRF, we obtained a trend correlation on the variable temperature response chart of both China's temperature, India's temperature, and Indonesia's temperature on changes in BUMI performance. On the basis of co-integration tests, results were obtained that there was a long-term relationship between China's temperature, India's temperature, Indonesia's temperature and BUMI performance and also a response to changes in temperature in China, India, and Indonesia on changes in BUMI performance based on the use of IRF that increasing BUMI's performance has had an impact on increasing local temperatures in China, India and Indonesia.

*Keywords: net zero emissions; carbon emissions; cointegration; impulse response function, vecm, var.*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN KEOTENTIKAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI .....	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Model <i>Vector Auto Regression</i> (VAR) .....	5
2.2 <i>Vektor Error Correction Model</i> (VECM) .....	6
2.3 Uji Stasioneritas .....	7
2.4 Penentuan <i>Lag</i> VAR Optimum .....	9
2.5 Uji Stabilitas Model.....	11

2.6	Uji Kointegrasi <i>Johansen</i> .....	11
2.7	<i>Impulse Respon Function (IRF)</i> .....	13
BAB III METODE KERJA/METODOLOGI.....		17
3.1	Jenis Penelitian .....	17
3.2	Sumber Data .....	17
3.3	Variabel Penelitian .....	17
3.4	Langkah Analisis .....	19
3.5	Alur Kerja Analisis.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		21
4.1	Uji Stasioneritas .....	21
4.2	Penentuan <i>Lag Optimum</i> .....	23
4.3	Uji Stabilitas Model.....	24
4.4	Uji Kointegrasi .....	25
4.5	Estimasi VECM.....	26
4.6	<i>Impulse Response Function (IRF)</i> .....	28
BAB V PENUTUP.....		35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran .....	35
DAFTAR PUSTAKA .....		37
LAMPIRAN.....		39

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Uji stasioneritas Augmented Dickey Fuller tingkat I(0).....	21
Tabel 2. Uji stasioneritas Augmented Dickey Fuller tingkat I(1).....	22
Tabel 3. <i>Lag</i> optimal .....	23
Tabel 4. Uji stabilitas VAR.....	24
Tabel 5. Hasil uji kointegrasi dengan <i>Trace Statistic</i> .....	25
Tabel 6. Hasil uji kointegrasi dengan <i>Max-Eigen Statistic</i> .....	25
Tabel 7. Hasil estimasi <i>Vector Error Correction Model</i> .....	27

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Grafik respon kinerja BUMI atas kinerja BUMI awal periode.....	29
Gambar 2. Grafik respon kinerja BUMI atas BUMI seluruh periode.....	29
Gambar 3. Grafik respon suhu China atas kinerja BUMI awal periode .....	30
Gambar 4. Grafik respon suhu China atas kinerja BUMI seluruh periode .....	30
Gambar 5. Grafik respon suhu India atas kinerja BUMI awal periode.....	31
Gambar 6. Grafik respon suhu India atas kinerja BUMI seluruh periode .....	32
Gambar 7. Grafik tren respon suhu Indonesia atas kinerja BUMI awal periode ..	32
Gambar 8. Grafik tren respon suhu Indonesia atas kinerja BUMI seluruh periode .....	33

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data mentah periode 2012-2022.....	39
Lampiran 2. Hasil uji stasioner tingkat <i>Level</i> .....	41
Lampiran 3. Hasil uji stasioner tingkat <i>First Differencing</i> .....	41
Lampiran 4. Penentuan <i>lag</i> optimum .....	42
Lampiran 5. Hasil uji stabilitas .....	42
Lampiran 6. Pengujian kointegrasi <i>Trace Statistic</i> .....	43
Lampiran 7. Pengujian kointegrasi <i>Maximum Eigenvalue</i> .....	43
Lampiran 8. Estimasi <i>Vector Error Correction Model</i> .....	44
Lampiran 9. Tabel nilai respon suhu 3 negara atas kinerja BUMI .....	46
Lampiran 10. Grafik respon suhu 3 negara atas kinerja BUMI .....	48

## DAFTAR NOTASI

$Y_t$	Variabel target $Y$ pada waktu $t$
$X_t$	Variabel target $X$ pada waktu $t$
$R_t$	Variabel target $R$ pada waktu $t$
$\alpha_0$	( <i>Alpha</i> ) Konstanta atau besar nilai variabel target saat variabel independen sama dengan nol
$\rho$	<i>Lag</i>
$\gamma_a$	( <i>Gamma</i> ) Nilai koefisien, mengukur sejauh mana variabel $Y$ pada waktu $t-a$ memberi pengaruh terhadap variabel target
$\beta_b$	( <i>Beta</i> ) Nilai koefisien, mengukur sejauh mana variabel $X$ pada waktu $t-b$ memberi pengaruh terhadap variabel target
$\eta_c$	( <i>Eta</i> ) Nilai koefisien, mengukur sejauh mana variabel $R$ pada waktu $t-c$ memberi pengaruh terhadap variabel target
$\varepsilon_{1t}$	( <i>Epsilon</i> ) Residual pada waktu ke- $t$ pada variabel target pertama
$\Delta$	Operator <i>differencing</i> ( $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ )
$\lambda$	( <i>Lambda</i> ) Koefisien kecepatan penyesuaian
$ECT_t$	Kesalahan ketidakseimbangan ( <i>disequilibrium error</i> ) pada waktu $t$ .
$T$	Jumlah data observasi
$k$	Jumlah variabel
$I_k$	Matriks identitas ukuran $k \times k$
$FPE$	<i>Final Prediction Error</i>
$AIC$	<i>Akaike Information Criterion</i>
$SC$	<i>Bayesian Criterion of Gideon Schwarz</i>
$HQ$	<i>Hannan-Quinn Criterion</i>
$m$	Nilai modulus dalam persamaan karakteristik polinomial.
$\phi_{11}(i)$	Nilai respon pada $y_t$ terhadap perubahan pada $\varepsilon_{y_{t-i}}$ atau kesalahan $y$ pada waktu $t-i$ .
$\phi_{12}(i)$	Nilai respon pada $y_t$ terhadap perubahan pada $\varepsilon_{z_{t-i}}$ atau kesalahan $z$ pada waktu $t-i$ .
$\phi_{21}(i)$	Nilai respon pada $z_t$ terhadap perubahan pada $\varepsilon_{y_{t-i}}$ atau kesalahan $y$ pada waktu $t-i$ .
$\phi_{22}(i)$	Nilai respon pada $z_t$ terhadap perubahan pada $\varepsilon_{z_{t-i}}$ atau kesalahan $z$ pada waktu $t-i$ .



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanasan global menjadi tantangan serius bagi lingkungan bumi saat ini, dengan dampak yang semakin nyata dan mendalam. Radiasi matahari mencapai atmosfer bumi dan mengubah sebagian sinar matahari menjadi sinar inframerah dan diserap oleh permukaan dan udara bumi, menyebabkan peningkatan suhu permukaan bumi.

Peningkatan suhu secara umum di atmosfer, lautan, dan daratan telah menjadi faktor perubahan iklim global. Fenomena ini menjadi akar dari permasalahan yang luas terkait dengan pemanasan global, yang pada gilirannya mempengaruhi berbagai aspek ekosistem Bumi. Peningkatan suhu ini dapat menyebabkan berbagai dampak yang meluas, termasuk perubahan iklim yang ekstrem, naiknya permukaan air laut, pencairan es di Kutub, dan perubahan pola cuaca yang tidak terduga. Menurut Utina (2008), suhu permukaan bumi mengalami peningkatan rata-rata sebesar  $0.74^{\circ}\text{C} \pm 0.18^{\circ}\text{C}$  selama sekitar seratus tahun terakhir.

Salah satu material yang menyebabkan pemanasan global adalah bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil diantaranya adalah batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Hasil alam yang dikategorikan fosil tersebut mengandung karbon yang telah ada selama jutaan tahun. Nettleton & Kutwaroo (2010) menyatakan bahwa batu bara, dibandingkan dengan sumber bahan bakar fosil lainnya, menghasilkan lebih banyak karbon dioksida per jumlah energi yang dihasilkan. Penggunaan batubara meningkatkan pelepasan  $\text{CO}_2$  sekitar 66% per jumlah energi yang dihasilkan.

Adanya pemanasan global mengakibatkan peningkatan risiko bencana alam. Pada tahun 2020, dunia mengalami beberapa bencana alam yang menyebabkan kerugian yang signifikan. Kerugian global dari bencana alam pada tahun 2020 diperkirakan mencapai US\$ 210 miliar. Banjir parah di China menjadi bencana alam paling mahal pada tahun tersebut, dengan kerusakan properti senilai US\$ 32 miliar. Kebakaran hutan yang dipicu oleh kekeringan di Amerika Serikat juga menjadi bencana alam yang signifikan pada tahun 2020.

Musim badai tropis pada tahun 2020 juga menjadi yang terburuk dalam sejarah, dengan 30 badai yang terjadi, lebih banyak dari sebelumnya. Bencana alam ini menyebabkan kerugian ekonomi yang signifikan dan hilangnya nyawa (*Stockholm Resilience Centre*).

Adanya kebijakan sebagai bentuk keberpihakan terhadap keadaan bumi dengan mengurangi penggunaan batu bara menjadikan perusahaan produsen batu bara menghadapi berbagai tantangan akibat kebijakan transisi energi yang ada. Batu bara secara historis dan data menjadi sumber pendapatan utama bagi banyak perusahaan bahkan negara, tetapi penurunan permintaan global atas batu bara dan perubahan regulasi yang lebih ketat dalam hal emisi mempengaruhi sektor ini secara signifikan. Perusahaan-produsen batu bara, termasuk yang beroperasi di Indonesia, sekarang dihadapkan pada tekanan untuk beradaptasi dengan perubahan dalam tata cara berbisnis dan terlibat dalam diversifikasi energi. Perusahaan harus mengevaluasi peluang-peluang baru dalam energi bersih, sambil mengelola penurunan pendapatan dan penyesuaian operasional yang dapat mempengaruhi kinerja keuangan perusahaan.

Kekuatan sektor energi batu bara bisa dilihat dari data pada tahun 2020 yang menunjukkan bahwa batu bara masih merupakan komoditas utama di Indonesia. Bahkan, pada tahun itu, Indonesia menempati peringkat ketiga sebagai produsen batu bara terbesar di dunia setelah India dan China (*Booklet Batu Bara, 2020*).

Negara seperti India dan China juga menjadi negara dengan status produsen batu bara terbesar di dunia. Selain itu, kedua negara tersebut juga menjadi dua negara terbesar dalam hal jumlah penduduk di dunia, dan menjadi pasar yang sangat signifikan bagi ekspor batu bara Indonesia. Keduanya memiliki kebutuhan energi yang tinggi untuk mendukung pertumbuhan ekonomi yang pesat, dan batu bara merupakan salah satu sumber energi utama yang digunakan. Bahkan Indonesia, sebagai salah satu produsen batu bara terbesar di dunia, secara aktif berpartisipasi dalam perdagangan internasional dengan India dan China, memanfaatkan posisi strategisnya dalam menyuplai kebutuhan energi kedua negara (*CNBC Indonesia News, 2023*).

Industri energi khususnya batu bara menjadi kontributor terbesar emisi gas rumah kaca utama, sehingga penting untuk mengetahui dampak yang diberikan

industri batu bara terhadap perubahan suhu permukaan bumi melalui pendekatan ilmiah dalam konteks akademis untuk memegang peranan kunci dalam mendukung upaya global untuk mengurangi dampak lingkungan dan mencapai keberlanjutan dalam jangka panjang. Maka dari itu, penelitian ini ada untuk mencari tahu hubungan yang ada berdasarkan dari salah satu perusahaan energi terbesar di Indonesia yaitu Bumi Resources yang dilihat dari pengembalian saham terhadap perubahan suhu bumi pada negara tujuan ekspor terbesar Bumi Resources seperti China, India, dan negara Indonesia sendiri.

Fokus penelitian ini adalah untuk mencari hubungan antar faktor ekonomi dan faktor non-ekonomi yaitu suhu permukaan bumi sebagai faktor non-ekonomi dan kinerja saham saham BUMI sebagai faktor ekonomi dengan menggunakan metode *Var Autoregressive/Vector Error Correction Model*.

Dalam penggunaan metode yang sama, penelitian terdahulu oleh Rani Kusuma Dewi (2016) terkait Pengaruh Variabel Makroekonomi terhadap Jakarta Islamic Index Tahun 2006-2015 telah memperoleh temuan yang signifikan menggunakan pendekatan VECM. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa inflasi memiliki dampak negatif dan permanen pada *Jakarta Islamic Index* dari periode kedua hingga akhir periode, sedangkan kurs menunjukkan respons positif dan permanen selama periode yang sama. Selain itu, *Industrial Production Index* (IPI) memiliki dampak positif dan negatif terhadap *Jakarta Islamic Index*. Temuan ini memberikan wawasan penting tentang bagaimana variabel makroekonomi mempengaruhi kinerja pasar keuangan syariah selama periode yang ada.

Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan temuan dan wawasan terkait dampak yang diberikan industri energi khususnya industri batu bara terhadap pemanasan global melalui peningkatan suhu permukaan bumi sebagai bentuk kontribusi peneliti dalam mendukung upaya menuju praktik dan kebijakan yang lebih berpihak terhadap kondisi lingkungan dan pergeseran menuju energi terbarukan serta mendorong perusahaan yang bersangkutan agar secepat mungkin merancang kebijakan efektif untuk mengurangi dampak lingkungan.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah terdapat kointegrasi (hubungan dalam jangka panjang) antara suhu permukaan bumi dan kinerja saham Perusahaan Bumi Resources?
2. Bagaimana analisis hubungan antara suhu permukaan bumi dan kinerja saham Perusahaan Bumi Resources yang dijelaskan dengan *Impulse Response Function* (IRF)?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Variabel: Penelitian terbatas pada variabel return saham PT Bumi Resources Tbk (BUMI.JK), beserta 3 variabel suhu permukaan bumi yaitu China, India, dan Indonesia
2. Tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$ .
3. Penelitian ini berkonsentrasi pada penggunaan *Impulse Response Functions* (IRF) sebagai alat utama untuk menganalisis pengaruh impuls variabel kinerja BUMI terhadap respon variabel suhu ketiga negara.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis ada tidaknya kointegrasi (hubungan jangka panjang) antara suhu permukaan bumi dan kinerja saham perusahaan Bumi Resources.
2. Menganalisis sejauh mana hubungan antara suhu permukaan bumi dan kinerja saham perusahaan Bumi Resources dapat dijelaskan melalui pendekatan *Impulse Response Function* (IRF).

## 1.5 Manfaat Penelitian

1. Meningkatkan kesadaran akan *issue* lingkungan dan perubahan iklim ekstrim terlebih untuk kalangan pemangku kepentingan. Ketika perusahaan dan investor lebih memahami dampak lingkungan terhadap kinerja bisnis, ini dapat mendorong tindakan berkelanjutan untuk kemaslahatan bumi.
2. Memberikan informasi berharga kepada petinggi PT Bumi Resources Tbk dan perusahaan sejenis agar adaptif terhadap kebijakan global terkait lingkungan dan segera mungkin merancang strategi untuk energi terbarukan yang diyakini mampu mengurangi emisi karbon rumah kaca.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Model Vector Auto Regression (VAR)

Model *Vector Auto Regression* (VAR) digolongkan sebagai *non-structural model* karena bersifat a-teoretis, yang berarti tidak bergantung pada suatu informasi atau teori. Hubungan antara dua atau lebih variabel ekonomi dalam hubungan non-struktural tidak didasarkan pada hubungan sebab-akibat yang jelas. Selain itu, perubahan dalam satu variabel dapat mempengaruhi perubahan dalam variabel lainnya, tetapi tidak ada hubungan sebab-akibat yang dapat diidentifikasi secara langsung. Dalam model VAR, variabel-variabel yang ada bisa dianggap saling mempengaruhi secara timbal balik, tanpa mempertimbangkan hubungan sebab-akibat yang spesifik (Sulistiana, 2017).

Menurut Gujarati (2004), VAR memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode lain. Pertama, tidak diperlukan pemisahan antara variabel eksogen dan endogen. Kedua, proses estimasi termasuk sederhana karena memanfaatkan penggunaan metode *Ordinary Least Square* (OLS). Terakhir, proses estimasi cenderung menghasilkan hasil estimasi yang lebih baik daripada metode lain yang lebih rumit (Febrianti dkk., 2021).

Dalam model VAR, diperlukan pertimbangan kelambanan atau ketergantungan pada nilai-nilai sebelumnya dalam data *time series*. Sehingga perlu diamati bagaimana nilai-nilai variabel pada waktu sebelumnya (*lag*) dapat memengaruhi pada nilai variabel pada waktu sekarang dan di masa depan (Possumah & Rohmawati, 2020).

Persamaan model VAR dengan  $n$  variabel pada waktu  $t$  sebagai berikut:

$$Y_t = \alpha_0 + \sum_{a=1}^p \gamma_a Y_{t-a} + \sum_{b=1}^p \beta_b X_{t-b} + \sum_{c=1}^p \eta_c R_{t-c} + \varepsilon_{1t} \quad (1)$$

$$X_t = \alpha_0 + \sum_{a=1}^p \gamma_a Y_{t-a} + \sum_{b=1}^p \beta_b X_{t-b} + \sum_{c=1}^p \eta_c R_{t-c} + \varepsilon_{2t} \quad (2)$$

$$R_t = \alpha_0 + \sum_{a=1}^p \gamma_a Y_{t-a} + \sum_{b=1}^p \beta_b X_{t-b} + \sum_{c=1}^p \eta_c R_{t-c} + \varepsilon_{3t} \quad (3)$$

Keterangan:

$Y_t, X_t, R_t$  : Variabel Y, X, dan R pada periode waktu  $t$ .

$a_0$  : *Intercept* (nilai variabel target saat variabel independen (termasuk *lag*) sama dengan nol).

$\gamma_a, \beta_b, \eta_c$  : Koefisien dari  $Y_{t-a}, X_{t-b}, R_{t-c}$ .

$p$  : Panjang *lag*.

$\varepsilon_t$  : Residual pada periode waktu  $t$  (istilah kesalahan stokastik sering disebut impuls).

Namun, apabila data stasioner pada tingkatan *differencing (first)* dan terindikasi adanya kointegrasi maka VAR dapat dikombinasikan dengan *Vektor Error Correction (VECM)* (Asteriou & Hall, 2007).

## 2.2 *Vector Error Correction Model (VECM)*

Persoalan dalam analisis data deret waktu adalah bahwa data sering menunjukkan ketidakstasioneran. Pada tahun 1981, Granger memperkenalkan konsep kointegrasi yang merujuk pada kombinasi hubungan linear dari variabel-variabel yang nonstasioner, tetapi stasioner setelah diferensiasi. Variabel-variabel yang saling terkointegrasi menunjukkan adanya hubungan keseimbangan jangka panjang (*long-run equilibrium relationship*). Namun, dalam konteks hubungan jangka pendek (*short-run equilibrium*), mungkin variabel variabel yang tidak mencapai keseimbangan. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian. Model yang mengakomodasi penyesuaian untuk mengoreksi ketidakseimbangan jangka pendek menuju keseimbangan jangka panjang dikenal sebagai *Error Correction Mechanism (ECM)*. Pada tahun 1990, Johansen dan Juselius mengembangkan konsep VECM. Sebagai hasilnya, VECM menjadi alat yang efektif untuk memodelkan data deret waktu yang terkointegrasi dan tidak stasioner (Pertiwi & Achmad, 2021).

VECM adalah adalah pengembangan metode dari VAR *model* dan menggunakan asumsi yang sama seperti VAR, kecuali masalah kointegrasi. VECM dibutuhkan dalam estimasi terhadap data yang tidak stasioner pada awal atau *level* tetapi memiliki hubungan kointegrasi (Widarjono, 2013).

VAR terestriksi adalah istilah yang digunakan untuk metode yang menggunakan model VECM. Untuk menilai fitur model dinamis VECM yang

telah dibuat, pendekatan VECM harus melalui sejumlah prosedur, termasuk uji stasioneritas, pengukuran panjang *lag*, dan uji kointegrasi Johansen. Selain hal yang disebutkan tersebut, terdapat hal lain dalam VAR/ VECM untuk menilai keterkaitan variabel dalam model yaitu melalui *Impulse Response Function* (IRF) dan *Variance Decomposition* (VD) juga diperlukan (Prakoso, 2009).

$$\Delta Y_t = \sum_{a=1}^{p-1} \gamma_a \Delta Y_{t-a} + \sum_{b=1}^{p-1} \beta_b \Delta X_{t-b} + \sum_{c=1}^{p-1} \eta_c \Delta R_{t-c} + \lambda_1 ECT_{t-1} + \varepsilon_{1t} \quad (4)$$

$$\Delta X_t = \sum_{a=1}^{p-1} \gamma_a \Delta Y_{t-a} + \sum_{b=1}^{p-1} \beta_b \Delta X_{t-b} + \sum_{c=1}^{p-1} \eta_c \Delta R_{t-c} + \lambda_2 ECT_{t-1} + \varepsilon_{2t} \quad (5)$$

$$\Delta R_t = \sum_{i=1}^{p-1} \gamma_a \Delta Y_{1t-a} + \sum_{b=1}^{p-1} \beta_b \Delta X_{t-b} + \sum_{c=1}^{p-1} \eta_c \Delta R_{t-c} + \lambda_3 ECT_{t-1} + \varepsilon_{3t} \quad (6)$$

Persamaan keseimbangan antara variabel  $Y$ ,  $X$ , dan  $R$  sebagai berikut.

$$Y_t = \beta X_t + \eta R_t + \varepsilon_t \quad (7)$$

Dan apabila  $Y_t$  berbeda nilai keseimbangan, maka perbedaan pada sisi kiri dan sisi kanan yang terjadi adalah sebesar:

$$ECT_t = Y_t - \beta X_t - \eta R_t - \varepsilon_t \quad (8)$$

Keterangan :

$\Delta$  : Operator *differencing* ( $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$ )

$\gamma_a, \beta_b, \eta_c$  : Koefisien dari  $\Delta Y_{t-a}, \Delta X_{t-b}, \Delta R_{t-c}$ .

$ECT_{t-1}$  : *Error Correction Term* variabel target pada waktu  $t - 1$ , (mencerminkan penyesuaian jangka pendek dari variabel-variabel terkointegrasi terhadap deviasi dari keseimbangan jangka panjangnya).

$\lambda$  : Koefisien kecepatan penyesuaian dari ECT.

### 2.3 Uji Stasioneritas

Menurut Engle & Granger (1987), jika rangkaian pengamatan memiliki kecenderungan untuk berada di sekitar nilai-nilai rata dan memiliki variasi yang tidak terlalu besar, maka rangkaian tersebut dianggap stasioner (Rusdi, 2011).

*Unit roots test* merupakan pilihan dari banyak metode yang dapat digunakan untuk melihat sifat stasioneritas data. *Augmented Dickey Fuller Test*, atau *ADF test*, adalah metode pengujian stasioneritas data dengan *unit root*. Uji ini melihat apakah koefisien tertentu dalam model *autoregressive* yang ditaksir memiliki nilai sama dengan satu atau tidak.

Menurut Dickey & Fuller (1979), terdapat model regresi yang bisa digunakan untuk mengetahui adanya *unit root* yang dibagi dalam tiga bentuk persamaan reparameterisasi, yaitu:

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \tag{9}$$

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \varepsilon_t \tag{10}$$

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \varepsilon_t \tag{11}$$

Dengan  $\Delta y_t = y_t - y_{t-1}$  dan  $\gamma = a_1 - 1$ . Apabila  $\gamma = 0$  maka  $a_1 = 1$ , artinya variabel tersebut mempunyai *unit root* atau tidak stasioner.

Dalam pengujian hipotesis, terlebih dulu dilakukan estimasi terhadap parameter  $\gamma$ . Parameter  $\gamma$  dapat diestimasi dengan menggunakan metode kuadrat terkecil atau yang dikenal dengan *Ordinary Least Square* dengan mencari harga  $\gamma$  yang meminimalkan  $\sum \varepsilon_t^2$ . Misal, untuk persamaan (9) karena  $\varepsilon_t = \Delta y_t - \gamma y_{t-1}$  maka,  $S = \sum \varepsilon_t^2 = \sum (\Delta y_t - \gamma y_{t-1})^2$ . Dari  $\left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{\gamma=\hat{\gamma}} = 0$ , sehingga diperoleh  $\hat{\gamma} = \frac{\sum y_t \Delta y_t}{\sum y_{t-1}^2}$ . Dikarenakan  $\left. \frac{\partial y}{\partial x} \right|_{\gamma=\hat{\gamma}} > 0$ ,  $\hat{\gamma}$  meminimalkan  $S = \sum \varepsilon_t^2$ , berarti  $\hat{\gamma}$  merupakan penaksir kuadrat dari  $\gamma$ . Penaksir  $\hat{\gamma}$  akan digunakan dalam perhitungan statistik-t terkait pengujian hipotesis nol. Uji yang dimaksud adalah dengan statistik-t yang didefinisikan berikut.

$$\tau = \frac{\hat{\gamma}}{se(\hat{\gamma})} \tag{12}$$

$\hat{\gamma}$  merupakan penaksir kuadrat terkecil dari  $\gamma$ . Sedangkan  $se(\hat{\gamma})$  merupakan *standar error* (kesalahan standar) dari  $\hat{\gamma}$ . Nilai statistik-t inilah yang akan dibandingkan dengan *critical value* DF untuk penentuan penerimaan atau penolakan hipotesis nol.



Sedangkan pada *time series* mengikuti model AR( $p$ ),  $p \geq 1$ , Dickey & Fuller (1979) mendefinisikan model lain untuk memeriksa adanya *unit root* sebagai berikut.

$$y_t = a_0 + a_1y_{t-1} + a_2y_{t-2} + \dots + a_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (13)$$

Dengan mensubstitusikan  $y_{t-p} = y_{t-p+1} - \Delta y_{t-p+1}$  pada persamaan (13) secara rekursif, maka diperoleh (Rusdi, 2011):

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-p+1} + \varepsilon_t \quad (14)$$

Dengan  $\gamma = \sum_{i=1}^p a_i - 1$  dan  $\beta_i = \sum_{j=1}^p a_j$ , sehingga model pada (9), (10) dan (11) dapat dituliskan dengan  $p > 1$  sebagai berikut.

$$\Delta y_t = \gamma y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_t \quad (15)$$

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_t \quad (16)$$

$$\Delta y_t = a_0 + \gamma y_{t-1} + a_2 t + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta y_{t-i+1} + \varepsilon_t \quad (17)$$

Dalam ketiga model di atas, koefisien  $\gamma$  menjadi perhatian. Jika  $\gamma = 0$ , yang menunjukkan arti bahwa  $\sum_{i=1}^p a_i = 1$ , maka persamaan dalam diferensi pertama memiliki *unit root*. Aturan keputusan hipotesis berdasarkan kriteria berikut ini (Rusdi, 2011).

- 1) Jika mutlak *t-statistic* melebihi mutlak *critical value* DF atau mutlak  $\tau > \tau_{(\alpha,n)}$  maka hipotesis nol ditolak ( $H_1$ ; tidak memiliki *unit root* atau data stasioner).
- 2) Jika mutlak *t-statistic* kurang dari mutlak *critical value* DF atau mutlak  $\tau \leq \tau_{(\alpha,n)}$  maka hipotesis nol diterima ( $H_0$ ; memiliki *unit root* atau non-stasioner).

#### 2.4 Penentuan Lag VAR Optimum

Menurut Kirchgässner & Wolters (2007), *lag* berarti jarak atau waktu di antara dua peristiwa yang saling terkait. Ajija (2011) juga menerangkan bahwa *lag* dipergunakan untuk menentukan *lag* yang ideal untuk digunakan dalam

analisis berikutnya, serta untuk menghitung estimasi parameter untuk model VAR. Untuk mencari tahu pengaruh suatu variabel atas variabel lain di dalam sistem VAR *model*, panjang *lag* variabel yang optimum merupakan hal penting. Nilai paling minimum dari masing-masing kriteria dapat digunakan untuk menentukan panjang *lag* variabel yang dipilih. Pemilihan nilai minimum dikarenakan menghindari model yang terlalu kompleks agar diperoleh efisiensi komputasi dan juga terhindar dari kesulitan interpretasi karena banyaknya parameter. Selain itu, nilai minimum memberikan arti kecocokan model dengan data yang ada karena selisih minimum juga bermakna keakuratan dan ukuran kecocokan model terbaik. Beberapa kriteria yang paling umum digunakan adalah sebagai berikut (Lütkepohl, 2005):

- 1) *Final Prediction Error* (FPE): meminimalkan kesalahan prediksi akhir, cenderung memberikan preferensi pada model yang lebih sederhana, dan tidak memperhitungkan kompleksitas model.

$$FPE(p) = \left[ \frac{T + Kp + 1}{T - Kp - 1} \right]^K \det(\tilde{\Sigma}u(p)) \quad (18)$$

- 2) *Akaike Information Criterion* (AIC): memperhitungkan baik kesesuaian model dengan data maupun kompleksitas model.

$$AIC(p) = \log \det(\tilde{\Sigma}u(p)) + \frac{2pK^2}{T} \quad (19)$$

- 3) *Schwarz Criterion* (SC): memperhitungkan penyesuaian data dan kompleksitas model dengan lebih ketat daripada AIC.

$$SC(p) = \log \det(\tilde{\Sigma}u(p)) + \frac{\ln T}{T} pK^2 \quad (20)$$

- 4) *Hannan-Quinn Criterion* (HQ): mirip dengan AIC, tetapi dengan perhatian tambahan terhadap ukuran sampel.

$$HQ(p) = \log \det(\tilde{\Sigma}u(p)) + \frac{2 \ln \ln T}{T} pK^2 \quad (21)$$

$\tilde{\Sigma}u(p) = T^{-1} \sum_{t=1}^T \widehat{u}_t \widehat{u}_t'$  adalah estimasi matriks kovarian residual dari model VAR( $p$ ). Selain itu,  $T$ ,  $K$ , dan  $p$  berturut-turut adalah jumlah observasi, banyaknya variabel dan panjang *lag* dari VAR (Kirchgässner & Wolters, 2007).

## 2.5 Uji Stabilitas Model

Sebelum melakukan analisis lebih lanjut, penting untuk menguji stabilitas VAR. Dalam melakukan estimasi tentu memerlukan tingkat validitas yang tinggi agar hasil estimasinya dapat diandalkan. Kepercayaan terhadap hasil tersebut hanya dapat diperoleh apabila model persamaan yang digunakan menunjukkan stabilitas. Uji stabilitas dilakukan untuk menilai apakah model yang digunakan bersifat stabil atau tidak. Pentingnya stabilitas dikarenakan jika model VAR tidak stabil, maka hasil estimasinya tidak akan memiliki tingkat validitas yang optimal. Selain itu, pengujian stabilitas diperlukan agar *Impulse Response Function* dapat dilakukan (Rahmawati & Suriani, 2022).

Suatu VAR dianggap stabil jika nilai modulus dari akar yang ada kurang atau sama dengan 1 ( $< 1$ ). Akar-akar karakteristik fungsi polinomial dihitung untuk menguji VAR. Model VAR dikatakan stabil jika keseluruhan akar dan fungsi polinomial berada dalam *unit circle*. Oleh karena itu, fungsi respons impuls (IRF) yang dibuat dianggap sah.

Jika  $Y_t$  sebagai sebuah VAR( $p$ ):

$$Y_t = a_0 + A_1 Y_{t-1} + \dots + A_p Y_{t-p} + \varepsilon_t$$

Model  $Y_t$  diatas dianggap stabil apabila memenuhi persamaan berikut.

$$\det(I_k - A_1 m - \dots - A_p m^p) \neq 0 \text{ untuk } |m| \leq 1 \quad (22)$$

Lütkepohl (2005) menjelaskan bahwa suatu model bisa dikatakan stabil apabila nilai eigen (semua nilai eigen) dalam matriks  $A_1, \dots, A_p$  yang memiliki ukuran  $k \times k$  memiliki modulus  $\leq 1$  sehingga polynomial tidak terdapat *roots* dalam *unit circle* (unit lingkaran) (San, 2019).

## 2.6 Uji Kointegrasi Johansen

Engle dan Granger memperkenalkan konsep kointegrasi pada tahun 1987. Kointegrasi erat kaitannya dengan upaya mengidentifikasi keseimbangan (terdapat hubungan dalam jangka panjang). Ketika data *time series* menunjukkan adanya kointegrasi, maka akan terdapat keseimbangan jangka panjang antara variabel-variabel tersebut.

Dalam konteks ekonometrika, kointegrasi digambarkan keberadaan variabel nonstasioner tetapi memiliki kombinasi linear yang stasioner (Usman dkk., 2017).

Kombinasi linear ini disebut persamaan kointegrasi, dan dapat dianggap sebagai hubungan keseimbangan yang berlangsung dalam waktu yang lama antara variabel-variabel tersebut.

Dalam konsep kointegrasi, apabila terdapat lebih dari dua variabel, maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari rank kointegrasi  $r$  atau banyaknya vektor kointegrasi. Proses ini dilakukan dengan menggunakan prosedur yang telah dikembangkan oleh *Johansen*. Prosedur *Johansen* mengarah ke dua statistik uji yaitu uji *trace* dan uji *maximum* sebagai berikut.

1) Uji *Trace Statistic*

$H_0$  : terdapat paling banyak  $r$  nilai eigen

$H_1$  : terdapat lebih dari  $r$  nilai eigen

$$LR(r_0) = -T \sum_{i=r+1}^k \log(1 - \lambda_j) \quad (23)$$

2) Uji *Maximum Eigenvalue*

$H_0$  : tepatnya terdapat  $r$  nilai eigen

$H_1$  : tepatnya terdapat  $r + 1$  nilai eigen

$$LR_{max}(r_0) = -T \log(1 - \lambda_{r_0+1}) \quad (24)$$

Secara umum, perbedaan utama antara kedua uji ini adalah perbedaannya terletak pada formulasi hipotesis alternatif atau  $H_1$ . Dalam Uji *Trace*, hipotesis alternatif adalah bahwa jumlah relasi kointegrasi angka tertentu, sementara dalam Uji *Maximum Eigenvalue*, hipotesis alternatif memperbolehkan jumlah kointegrasi saman dengan angka tertentu ditambah satu.

Uji *Trace* lebih fleksibel, memungkinkan kemungkinan adanya lebih banyak relasi kointegrasi, sementara Uji *Maksimum Eigenvalue* secara khusus menguji apakah ada satu relasi kointegrasi tambahan sesuai dengan jumlah yang ditentukan.

$\lambda_j$  adalah estimasi *eigen value*,  $T$  adalah jumlah observasi dan  $k$  adalah jumlah variabel. Pengujian dimulai ketika  $r = 0, 1, \dots, k - 1$ . Jika hasil tes kointegrasi *Johansen* menunjukkan bahwa nilai *trace statistic* memiliki nilai yang lebih besar daripada nilai kritis *trace* pada tingkat  $\alpha = 5\%$ , maka  $H_0$  dapat ditolak, yang menunjukkan bahwa terdapat setidaknya satu vektor kointegrasi. Jika

penolakan tersebut terjadi maka representasi dari model VAR diubah menjadi VECM (Kirchgässner & Wolters, 2007).

### 2.7 Impulse Respon Function (IRF)

Pendekatan *Impulse Response Function* (IRF) dalam model VECM ini berguna dalam melihat apakah *shock* yang diberikan kepada masing-masing variabel mengakibatkan adanya reaksi atau respon terhadap suatu variabel (Prakoso, 2009). Analisis fungsi respons impuls (IRF) memberikan gambaran tentang dampak dari gangguan pada suatu variabel atas variabel dirinya sendiri dan variabel lain dalam sistem. Dalam IRF, selain memberikan informasi mengenai estimasi dampak gangguan suatu variabel terhadap variabel lain, juga dapat diketahui durasi atau lama pengaruh atau dampak gangguan suatu variabel terhadap variabel lain, serta mengidentifikasi variabel mana yang akan menunjukkan reaksi paling signifikan (Batubara & Saskara, 2015).

IRF digunakan untuk mempelajari efek guncangan atau impuls dalam sistem VAR atau VECM. Ini menelusuri satu unit atau satu guncangan deviasi standar ke suatu variabel endogen dan pengaruhnya terhadap semua variabel endogen dalam VAR atau VECM (Rehal, 2022). Sebagaimana dinyatakan oleh Enders (2004), model struktural VAR dengan dua variabel endogen dan selanjutnya ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut:

$$y_t = b_{10} - b_{12}z_t + \gamma_{11}y_{t-1} + \gamma_{12}z_{t-1} + \epsilon_{yt} \quad (25)$$

$$z_t = b_{20} - b_{21}y_t + \gamma_{21}y_{t-1} + \gamma_{22}z_{t-1} + \epsilon_{zt} \quad (26)$$

Diasumsikan variabel  $y_t$  dan  $z_t$  adalah stasioner, serta  $\epsilon_{yt}$  dan  $\epsilon_{zt}$  adalah *white noise*. Persamaan (25) dan (26) dalam bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{12} \\ b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{10} \\ b_{20} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{t-1} \\ z_{t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \epsilon_{yt} \\ \epsilon_{zt} \end{bmatrix} \quad (27)$$

Atau

$$Bx_t = \Gamma_0 + \Gamma_1x_{t-1} + \epsilon_t \quad (28)$$

Dimana

$$B = \begin{bmatrix} 1 & b_{12} \\ b_{21} & 1 \end{bmatrix} \quad x_t = \begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} \quad \Gamma_0 = \begin{bmatrix} b_{10} \\ b_{20} \end{bmatrix}$$

$$\Gamma_1 = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \quad \epsilon_t = \begin{bmatrix} \epsilon_{yt} \\ \epsilon_{zt} \end{bmatrix}$$

Dengan melakukan perkalian nilai  $B^{-1}$  dengan bentuk persamaan pada (28) didapatkan model restriksi VAR dalam bentuk lain, yaitu bentuk *standard form* sebagai berikut:

$$B^{-1}Bx_t = B^{-1}\Gamma_0 + B^{-1}\Gamma_1x_{t-1} + B^{-1}\epsilon_t \quad (29)$$

Dimana

$$A_0 = B^{-1}\Gamma_0$$

$$A_1 = B^{-1}\Gamma_1$$

$$e_t = B^{-1}\epsilon_t$$

Dengan melakukan substitusi nilai yang dimiliki dari masing-masing  $A_0, A_1$  dan  $e_t$  pada Persamaan (29) diperoleh persamaan:

$$x_t = A_0 + A_1x_{t-1} + e_t \quad (30)$$

$$x_{t-1} = A_0 + A_1x_{t-2} + e_{t-1} \quad (31)$$

Persamaan (30) dan (31) dengan dua variabel ditulis sebagai berikut:

$$y_t = a_{10} + a_{11}y_{t-1} + a_{12}z_{t-1} + e_{1t} \quad (32)$$

$$z_t = a_{20} + a_{21}y_{t-1} + a_{22}z_{t-1} + e_{2t} \quad (33)$$

Persamaan (25) dan (26) berbeda dari persamaan (32) dan (33) dalam hal bahwa persamaan (25) dan (26) merupakan model VAR struktural, sementara persamaan (32) dan (33) adalah model VAR dalam *standard form*.

Simbol  $e_{1t}$  dan  $e_{2t}$  adalah gabungan dari dua guncangan  $\epsilon_{yt}$  dan  $\epsilon_{zt}$ . Karena  $e_t = B^{-1}\epsilon_t$  didapatkan:

$$e_{1t} = \frac{\epsilon_{yt} - b_{12}\epsilon_{zt}}{1 - b_{12}b_{21}} \quad (34)$$

$$e_{2t} = \frac{\epsilon_{zt} - b_{21}\epsilon_{yt}}{1 - b_{12}b_{21}} \quad (35)$$

Persamaan (31) disubstitusikan ke persamaan (30), maka didapatkan

$$x_t = A_0 + A_1(A_0 + A_1x_{t-2} + e_{t-1}) + e_t$$

$$x_t = (I + A_1)A_0 + A_1^2x_{t-2} + A_1e_{t-1} + e_t$$

Persamaan (30) dalam hal ini memiliki  $A_1$  sebagai matriks koefisien *autoregressive*, yang dimana stabilitas VAR membutuhkan nilai-nilai eigen dari

matriks  $A_1$  lebih kecil dari satu, sehingga diperlukan iterasi untuk mengoptimalkan perkiraan variabel-variabel dalam sistem sehingga solusi akhir yang ditemukan lebih mendekati kondisi stabilitas. Iterasi digunakan jika metode langsung yang disebut sebagai *brute force* tidak memberikan hasil yang memadai dalam mencapai stabilitas. Maka setelah  $n$  iterasi, diperoleh:

$$x_t = (I + A_1 + \dots + A_1^n)A_0 + \sum_{i=0}^n A_1^i e_{t-i} + A_1^{n+1} x_{t-n-1} \quad (36)$$

Dari persamaan (36), maka  $A_1^n$  diperlukan hilang saat  $n$  menjadi sangat besar agar solusi sistem konvergen tanpa terus menerus dipengaruhi oleh pangkat yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa suku tersebut jika tetap ada dengan  $n$  yang mendekati tak hingga mengakibatkan matriks koefisien autoregressive tersebut menjadi mendominasi dan tidak mengarah ke solusi yang stabil. Ini bisa juga diartikan bahwa pengaruh atau kontribusi  $A_1$  terhadap sistem semakin berkurang seiring berjalannya waktu atau iterasi dalam mencapai kestabilan. Dengan asumsi bahwa kondisi stabilitas sudah terpenuhi, maka didapatkan :

$$x_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} A_1^i e_{t-i} \quad (37)$$

Persamaan tersebut merupakan representasi yang lebih sederhana dan umum dari proses *autoregressive* yang hanya bergantung pada nilai-nilai sebelumnya dari variabel residual. Nilai *mean* merupakan nilai rata-rata dari proses *autoregressive* tersebut yang bersifat stabilitas jangka panjang atau kondisi *mean* yang dicapai oleh sistem ketika kondisi stabilitas telah tercapai. Persamaan (37) dinyatakan dalam bentuk vektor.

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} e_{1t-i} \\ e_{2t-i} \end{bmatrix} \quad (38)$$

Vektor residual ( $e_t$ ) dapat dituliskan:

$$\begin{bmatrix} e_{1t} \\ e_{2t} \end{bmatrix} = \frac{1}{\det(A_1)} \text{adj}(A_1) \begin{bmatrix} \epsilon_{yt} \\ \epsilon_{zt} \end{bmatrix} = \frac{1}{1 - b_{12}b_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{yt} \\ \epsilon_{zt} \end{bmatrix} \quad (39)$$

Persamaan (38) dan (39) dikombinasikan menjadi persamaan dalam bentuk berikut.

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \frac{1}{\det(A_1)} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \text{adj}(A_1) \begin{bmatrix} \epsilon_{1t-i} \\ \epsilon_{2t-i} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \frac{1}{1 - b_{12}b_{21}} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{yt} \\ \epsilon_{zt} \end{bmatrix} \quad (40)$$

Karena notasi semakin kompleks, maka disederhanakan dengan mendefinisikan suatu matriks  $\phi_i$  dengan ukuran 2x2 dengan elemen  $\phi_{jk}(i)$

$$\phi_i = \frac{A_1^i}{1 - b_{12}b_{21}} \begin{bmatrix} 1 & -b_{12} \\ -b_{21} & 1 \end{bmatrix} \quad (41)$$

Oleh karena itu, representasi rata-rata bergerak dari (38) dan (39) dapat dituliskan dalam ketentuan barisan  $\epsilon_{yt}$  dan  $\epsilon_{zt}$ :

$$\begin{bmatrix} y_t \\ z_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{y} \\ \bar{z} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \phi_{11}(i) & \phi_{12}(i) \\ \phi_{21}(i) & \phi_{22}(i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_{yt-i} \\ \epsilon_{zt-i} \end{bmatrix} \quad (42)$$

Dari kombinasi matriks, diperoleh representasi rata-rata bergerak. Hal ini penting untuk menguji interaksi antara dua variabel. Koefisien  $\phi_i$  mampu menghasilkan efek guncangan  $\epsilon_{yt}$  dan  $\epsilon_{zt}$  setiap waktu pada barisan  $y_t$  dan  $z_t$ .

Dari notasi dapat direpresentasikan bahwa koefisien  $\phi_{12}(0)$  merupakan dampak dari perubahan  $\epsilon_{zt}$  pada  $y_t$ . Begitu juga dengan  $\phi_{11}(1)$  dan  $\phi_{12}(1)$  merupakan dampak dari perubahan  $\epsilon_{yt-1}$  dan  $\epsilon_{zt-1}$  pada  $y_t$  dan seterusnya.

Akumulasi efek impuls dalam  $\epsilon_{yt}$  dan  $\epsilon_{zt}$  bisa diperoleh berdasarkan penjumlahan dari koefisien yang sesuai. Perhatikan bahwa setelah n periode, pengaruh  $\epsilon_{zt}$  pada nilai  $y_{t+n}$  adalah  $\phi_{12}(n)$ . Jadi setelah n periode, akumulasi keseluruhan dari efek  $\epsilon_{zt}$  pada  $y_t$  adalah

$$\sum_{i=0}^n \phi_{12}(i) \quad (43)$$

$\phi_{11}(i), \phi_{12}(i), \phi_{21}(i)$ , dan  $\phi_{22}(i)$  merupakan koefisien yang disebut sebagai *Impulse Respon Function* (IRF) (Enders, 2004).