

**IMPLEMENTASI *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM)
PADA DATA *BI RATE*, INFLASI, DAN JAKARTA *INTERBANK SPOT*
DOLLAR RATE (JISDOR)**

(Skripsi)

Oleh

YUNIAR

NPM 2217031049



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

IMPLEMENTASI *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM) PADA DATA *BI RATE*, INFLASI, DAN JAKARTA *INTERBANK SPOT DOLLAR RATE* (JISDOR)

Oleh

YUNIAR

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan jangka pendek maupun jangka panjang antara *BI rate*, Inflasi, dan Jakarta *Interbank Spot Dollar Rate* (JISDOR) menggunakan pendekatan *Vector Error Correction Model* (VECM). Data yang digunakan merupakan data *time series* periode Mei 2013 – Juni 2024 yang dieproleh dari Bank Indonesia. Metode analisis yang digunakan meliputi uji stasioneritas dengan *Augmented Dickey-Fuller* (ADF), penentuan *lag* optimum, uji stabilitas, uji kointegrasi Johansen, estimasi model VECM dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE), uji kausalitas Granger, serta analisis *Impulse Response Function* (IRF) dan *Variance Decomposition* (VD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh variabel tidak stasioner pada tingkat level, namun menjadi stasioner pada *differencing* pertama. Penentuan *lag* optimum menunjukkan *lag* optimal pada *lag* ke-2. Hasil uji kointegrasi menunjukkan adanya satu kointegrasi yang menandakan adanya keseimbangan jangka panjang antar variabel, sehingga model yang digunakan adalah VECM(1). Estimasi model menunjukkan adanya mekanisme penyesuaian jangka pendek menuju keseimbangan jangka panjang. Hasil analisis IRF menunjukkan bahwa respon masing-masing variabel terhadap *shock* bersifat sementara dan cenderung menurun hingga kembali menuju titik keseimbangan dalam beberapa periode. Sementara itu, hasil *Variance Decomposition* menunjukkan pada periode awal variasi masing-masing variabel lebih dominan dijelaskan oleh variabel itu sendiri, namun dalam jangka panjang kontribusi variabel lain mulai meningkat.

Kata kunci: VECM, *BI rate*, Inflasi, JISDOR, *time series*, kointegrasi, IRF, *Variance Decomposition*

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF THE VECTOR ERROR CORRECTION MODEL (VECM) ON BI RATE, INFLATION, AND JAKARTA INTERBANK SPOT DOLLAR RATE (JISDOR) DATA

By

YUNIAR

This study aims to analyze the short-term and long-term relationships between the BI rate, inflation, and the Jakarta Interbank Spot Dollar Rate (JISDOR) using the Vector Error Correction Model (VECM) approach. The data used consists of time series data for the period May 2013–June 2024, obtained from Bank Indonesia. The analytical methods employed include a stationarity test using the Augmented Dickey-Fuller (ADF) test, determination of the optimal lag, a stability test, a Johansen cointegration test, VECM model estimation using the Maximum Likelihood Estimation (MLE) method, a Granger causality test, as well as Impulse Response Function (IRF) and Variance Decomposition (VD) analyses. The results of the study indicate that all variables are non-stationary at the original level but become stationary after first differencing. The determination of the optimal lag indicates that the optimal lag is at the second lag. The results of the cointegration test indicate the presence of one cointegration, signifying long-term equilibrium among the variables; therefore, the model used is VECM(1). The model estimates indicate the presence of a short-run adjustment mechanism toward long-run equilibrium. The results of the IRF analysis show that the response of each variable to a shock is temporary and tends to decline until it returns to the equilibrium point within a few periods. Meanwhile, the results of the variance decomposition show that in the early periods, the variation in each variable is predominantly explained by the variable itself, but in the long run, the contribution of other variables begins to increase.

Keywords: VECM, BI rate, inflation, JISDOR, time series, cointegration, IRF, Variance Decomposition

**IMPLEMENTASI *VECTOR ERROR CORRECTION MODEL* (VECM)
PADA DATA *BI RATE*, INFLASI, DAN JAKARTA *INTERBANK SPOT*
DOLLAR RATE (JISDOR)**

Oleh

YUNIAR

Skripsi

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

Pada

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



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Skripsi : **IMPLEMENTASI VECTOR ERROR CORRECTION MODEL (VECM) PADA DATA BI RATE, INFLASI, DAN JAKARTA INTERBANK SPOT DOLLAR RATE (JISDOR)**

Nama Mahasiswa : **Yuniar**

Nomor Pokok Mahasiswa : **2217031049**

Jurusan/Program Studi : **Matematika/S1-Matematika**

Falkutas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**




1. Komisi Pembimbing


Drs. Nusyirwan, M.Si.
NIP 196610101992031028


Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si.
NIP 199306012019032021


2. Ketua Jurusan Matematika


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

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Drs. Nusyirwan, M.Si.



Sekretaris : Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si.



Anggota : Widiarti, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 20 Mei 2026

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yuniar
Nomor Pokok Mahasiswa : 2217031049
Jurusan : Matematika
Judul Skripsi : Implementasi *Vector Error Correction Model* (VECM) pada Data *BI Rate*, Inflasi, dan Jakarta *Interbank Spot Dollar Rate* (JISDOR)

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Mei 2026

Yang Menyatakan



Yuniar

NPM 2217031049

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Yuniar, lahir di Bangun Jaya, pada tanggal 02 Juni 2004. Penulis merupakan anak keempat dari empat bersaudara pasangan Bapak Busri dan Ibu Mashayati.

Penulis memulai pendidikan di TK Raudhatul Athfal An-Nuur Negararatu pada tahun 2009 – 2010. Pendidikan dasar diselesaikan di MIN 6 Lampung Utara pada tahun 2010 – 2016. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan di MTs N 3 Lampung Utara pada tahun 2016 dan menyelesaikan pendidikan di SMP Muhammadiyah 1 Tanjung Enim pada tahun 2017 – 2019. Pendidikan menengah atas ditempuh di SMAN 1 Unggulan Muara Enim pada tahun 2019 – 2022.

Pada tahun 2022, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa organisasi kemahasiswaan seperti UKM Tapak Suci sebagai sekretaris Departemen Rumah Tangga Organisasi (RTO) pada tahun 2023, anggota departemen Keilmuan dan Prestasi pada tahun 2024, dan Ketua Departemen RTO pada tahun 2025. Aktif di UKM catur sebagai anggota Kaderisasi pada tahun 2023 dan sebagai Bendahara Umum pada tahun 2024. Penulis juga aktif mengikuti perlombaan di bidang non akademik seperti Pencak Silat dan Catur.

Pada bulan Desember 2024 hingga Februari 2025, penulis melakukan Kerja Praktik (KP) di PT. PLN (Persero) Uni Induk Distribusi (UID) Lampung. Selanjutnya, pada bulan Juli hingga Agustus 2025 melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Perumnas Way Halim, Kecamatan Way Halim, Kota Bandar Lampung, Provinsi Lampung.

KATA INSPIRASI

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.
Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.
Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan),
tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain).
Dan hanya kepada tuhanmulah engkau berharap”.

(Q.S Al-Insyirah 5-6)

“Mengapa menyerah ?

Sementara Allah menyemangatiimu
Dengan “**hayya alal falah**” bahwa
Kemenangan hanya berkisar
antara kening dan sajadah”.

(Ust. Adi Hidayat)

“Melamban bukanlah hal yang tabu.
Kadang itu yang kau butuh”.

(33x Perunggu)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, puji syukur ke hadirat Allah SWT. atas segala rahmat, nikmat, dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Berbagai rintangan dan keraguan yang telah dilalui, namun atas izin Allah SWT. penulis mampu sampai pada titik ini. Dengan penuh rasa syukur, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

Ayah dan Ibu Tercinta

Atas cinta yang tidak pernah habis, doa yang tidak pernah putus, serta perjuangan yang tak mengenal lelah demi masa depan penulis. Terima kasih telah menjadi tempat pulang ternyaman dan alasan terbesar penulis untuk terus berjuang. Tidak ada kata yang cukup untuk membalas semua cinta dan ketulusan yang telah diberikan. Semoga karya kecil ini menjadi langkah awal untuk membahagiakan dan membanggakan kalian.

Saudara dan Keluarga Tersayang

Atas dukungan, doa, dan kasih sayang. Kehadiran kalian menjadi tempat pulang, penguat, dan pengingat bagi penulis untuk tidak menyerah dalam menghadapi setiap kesulitan proses yang penulis jalani.

Dosen Pembimbing dan Pembahas

Atas ilmu, bimbingan, arahan, kesabaran, saran, dan waktu yang telah diberikan.

Almamater Tercinta, Universitas Lampung

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT., atas segala rahmat, karunia, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Implementasi *Vector Error Correction Model* (VECM) pada Data BI Rate, Inflasi, dan Jakarta *Interbank Spot Dollar Rate* (JISDOR)”.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya bantuan, bimbingan, dukungan, doa dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Drs. Nusyirwan, M.Si. selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan arahan, saran, dan motivasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Siti Laelatul Chasanah, S.Pd., M.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, dan bersedia meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Widiarti, S.Si., M.Si. selaku dosen pembahas yang telah memberikan kritik, saran, dan evaluasi yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Tiryono, M.Sc., Ph.D. selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan, nasihat dan motivasi selama masa perkuliahan.
5. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika Falkutas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Bapak Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Falkutas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Seluruh dosen, staf, dan karyawan Jurusan matematika falkutas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung atas ilmu, bantuan, dan pelayanan yang diberikan kepada penulis selama menempuh pendidikan.

8. Kedua orang tua tercinta, Bapak Busri dan Ibu Mashayati yang selalu memberikan doa, dukungan pengorbanan, cinta, kasih sayang, dan motivasi yang tiada henti kepada penulis. Saudara-saudara penulis Aaq, Cicik, Ngah, Kakak ipar ayuk Aisyah, Alm mas Aan dan ayuk Nunah, serta keponakan tersayang Nabil, Ashraf, dan Ameera, yang selalu memberikan semangat, doa, dan kebahagiaan bagi penulis.
9. Teman sekaligus saudara di perantauan, Puspita Dewi yang telah menemani, membantu, dan kebersamai penulis sejak awal hingga akhir masa perkuliahan. Syaefi Nurul Hikmah dan Amalia Soleha yang selalu bersedia mendengarkan keluh kesah penulis dan memberikan dukungan serta motivasi.
10. Teman-teman pengurus UKM Tapak Suci dan UKM Catur yang telah menjadi keluarga kedua bagi penulis selama perkuliahan, serta memberikan banyak pengalaman, pembelajaran, dan ruang untuk bertumbuh menjadi pribadi yang lebih mandiri dan bertanggung jawab.
11. Teman-teman Matematika angkatan 2022, teman bimbingan Bapak Nusyirwan dan Ibu Siti serta teman-teman KKN Perumnas Way Halim yang telah menjadi bagian dari perjalanan akademik penulis.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat untuk semua pihak yang membacanya.

Bandar Lampung, 20 Mei 2026

Penulis

Yuniar

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Analisis Deret Waktu	5
2.2 Stasioneritas	6
2.3 Uji <i>Lag</i> Optimal	7
2.4 <i>Vector Autoregressive</i> (VAR)	8
2.5 Uji Kointegrasi	10
2.6 <i>Vector Error Correction Model</i> (VECM)	11
2.7 Uji Kausalitas Granger	15
2.8 <i>Impulse Response Function</i> (IRF)	16
2.9 <i>Variance Decomposition</i> (VD)	17
2.10 <i>BI Rate</i>	18
2.11 Inflasi	19
2.12 <i>Jakarta Interbank Spot Dollar Rate</i> (JISDOR)	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	21
3.2 Data Penelitian	21
3.3 Metode Penelitian	21

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	23
4.1 Deskripsi Data.....	23
4.2 Uji Stasioneritas	26
4.3 Uji <i>Lag</i> Optimal	27
4.4 Uji Stabilitas.....	28
4.5 Uji Kointegrasi.....	30
4.6 Estimasi Model VECM.....	31
4.7 Uji Kausalitas Granger.....	35
4.8 Analisis IRF dan <i>Variance Decomposition</i>	37
V. KESIMPULAN	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Statistika deskriptif data penelitian	23
2. Hasil uji ADF	26
3. Hasil uji ADF setelah <i>differencing</i> pertama.....	27
4. Hasil uji kriteria nilai AIC.....	27
5. Hasil uji stabilitas VAR menggunakan uji akar unit.....	29
6. Hasil statistik uji <i>trace</i>	31
7. Nilai estimasi parameter jangka panjang model VECM(1)	31
8. Nilai estimasi parameter jangka pendek model VECM(1)	32
9. Hasil uji kausalitas Granger	36
10. Hasil <i>variance decomposition</i> pada BI rate	41
11. Hasil <i>variance decomposition</i> pada Inflasi	42
12. Hasil <i>variance decomposition</i> pada JISDOR.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Plot statistik data <i>BI rate</i> periode Mei 2013 – Juni 2024.....	24
2. Plot statistik data Inflasi periode Mei 2013 – Juni 2024.....	25
3. Plot statistik data JISDOR periode Mei 2013 – Juni 2024.....	25
4. Plot hasil uji stabilitas VAR menggunakan uji akar unit.....	30
5. Plot hasil IRF <i>BI rate</i> terhadap <i>BI rate</i>	37
6. Plot hasil IRF <i>BI rate</i> terhadap Inflasi.....	37
7. Plot hasil IRF <i>BI rate</i> terhadap JISDOR.....	38
8. Plot hasil IRF Inflasi terhadap <i>BI rate</i>	38
9. Plot hasil IRF Inflasi terhadap Inflasi.....	39
10. Plot hasil IRF Inflasi terhadap JISDOR.....	39
11. Plot hasil IRF JISDOR terhadap <i>BI rate</i>	40
12. Plot hasil IRF JISDOR terhadap Inflasi.....	40
13. Plot hasil IRF JISDOR terhadap JISDOR.....	41
14. Grafik hasil <i>variance decomposition</i> pada <i>BI rate</i>	42
15. Grafik hasil <i>variance decomposition</i> pada Inflasi.....	43
16. Grafik hasil <i>variance decomposition</i> pada JISDOR.....	44

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Deret waktu atau biasa disebut juga *time series* merupakan urutan observasi sesuai kronologis terhadap suatu variabel yang menjadi penelitian (Montgomery dkk., 2008). Analisis deret waktu melibatkan eksplorasi, pemodelan, dan interpretasi data untuk mengungkap informasi yang terkandung dalam data deret waktu serta mengungkap hubungan antara observasi yang terjadi dalam interval waktu tersebut. Selain itu, analisis data deret waktu biasanya digunakan pada data yang dikumpulkan sesuai urutan waktu seperti ekonomi, meteorologi, keuangan, dan data kesehatan (Dewanti, 2025).

Salah satu pendekatan dalam analisis deret waktu adalah deret waktu multivariat. Deret waktu multivariat melibatkan beberapa variabel deret waktu untuk memodelkan interaksi dan pergerakan antar variabel, terutama pada data yang berkorelasi (Wei, 2006). Model analisis deret waktu multivariat diantaranya adalah *Vector Autoregressive (VAR)* dan *Vector Error Correction Model (VECM)*. Model VAR merupakan model multivariat yang dapat menangkap hubungan timbal balik yang dinamis antarvariabel dan dapat diterapkan jika semua variabel stasioner, sedangkan VECM digunakan untuk variabel tidak stasioner dengan syarat adanya satu atau lebih hubungan kointegrasi antarvariabel (Lutkepohl, 2005). Oleh karena itu, VECM diartikan juga turunan dari model VAR yang terestriksi atau VAR terbatas yang dirancang khusus untuk data non-stasioner dengan kointegrasi (Rahayu dkk., 2021).

Dalam analisis deret waktu multivariat, model VECM sering diterapkan pada data ekonomi seperti pergerakan nilai tukar rupiah terhadap dolar AS, yang merupakan salah satu indikator makroekonomi yang penting bagi perekonomian Indonesia. Nilai tukar yang bergejolak dapat mempengaruhi neraca perdagangan, arus modal, dan stabilitas harga dalam negeri (Valentika dkk., 2021). Salah satu indikator resmi yang menggambarkan nilai tukar di pasar antarbank Indonesia adalah Jakarta *Interbank Spot Dollar Rate* (JISDOR). Menurut Ningrum & Hisani (2024), Bank Indonesia menyatakan JISDOR merupakan harga *spot* USD/IDR yang disusun berdasarkan kurs transaksi USD/IDR terhadap rupiah antar bank di pasar valuta asing. JISDOR digunakan sebagai acuan transaksi valas dan sebagai informasi kebijakan moneter. Pergerakan nilai tukar JISDOR sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor ekonomi makro, termasuk *BI rate* dan inflasi.

BI rate merupakan suku bunga dengan tenor satu bulan yang diumumkan oleh Bank Indonesia secara periodik untuk jangka waktu tertentu yang berfungsi sebagai sinyal (*stance*) kebijakan moneter (Siamat, 2005). Sedangkan, inflasi adalah kenaikan harga barang dan jasa secara umum dan terus menerus dalam jangka waktu tertentu (Suseno & Astiyah, 2009). Kenaikan harga dari satu atau dua barang saja tidak dapat disebut inflasi kecuali bila kenaikan itu meluas atau mengakibatkan kenaikan harga pada barang lainnya.

Beberapa penelitian terdahulu yang mengkaji VECM yaitu Valentika dkk. (2021) yang memodelkan keterkaitan suku bunga, kurs rupiah, impor, dan ekspor dengan metode VECM menggunakan data bulanan Januari 2009 – Desember 2019 dan memperoleh model terbaik VECM dengan *lag* 2. Sementara itu, Loves dkk. (2021) meneliti hubungan harga saham PT Kalbe Farma Tbk (KLBF) dan PT Kimia Farma (Persero) Tbk (KAEF) dengan pendekatan VECM menggunakan data mingguan Januari 2010 – Juni 2020. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa VECM relatif menangkap hubungan jangka panjang maupun jangka pendek antarvariabel pasar modal.

Fitri dkk. (2023) menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi pertumbuhan ekonomi Indonesia pada masa pandemi dengan pendekatan VECM menggunakan

variabel inflasi, BI *rate*, cadangan devisa, dan kurs tengah BI. Hasil penelitian menunjukkan adanya kointegrasi antara variabel tersebut. Sementara itu, Ambarwati dkk. (2021) meneliti pengaruh Jumlah Uang Beredar (JUB), BI *rate*, dan inflasi terhadap pertumbuhan ekonomi Indonesia periode 2009–2018 dengan regresi linier berganda. Penelitian ini menemukan bahwa JUB dan BI *rate* berpengaruh positif terhadap pertumbuhan ekonomi, sementara inflasi berpengaruh negatif.

Rahayu dkk. (2021) meneliti hubungan inflasi dan BI *rate* menggunakan VECM dengan data bulanan periode 2010–2017. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua variabel tersebut sama-sama bersifat $I(1)$ dan berkointegrasi, sehingga terdapat hubungan jangka panjang. Sementara itu, Saputra & Sukmawati (2021) menerapkan VECM untuk menganalisis keterkaitan antara pertumbuhan ekonomi dan sektor pariwisata di Provinsi Kepulauan Riau. Hasil penelitian menunjukkan tidak terdapat kausalitas Granger langsung antara pertumbuhan ekonomi dan sektor pariwisata, namun dalam jangka pendek tingkat penghunian kamar dan investasi asing berpengaruh signifikan terhadap PDRB.

Ningrum & Hisani (2024) membandingkan kinerja ARIMA dan LSTM dalam memprediksi kurs JISDOR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa LSTM memiliki performa lebih baik dibandingkan ARIMA dengan nilai RMSE (75,807) dan MAPE (0,4152) yang lebih rendah. Penelitian selanjutnya, Ningrum dkk. (2025) menggunakan metode *Long Short-Term Memory* (LSTM) dengan empat algoritma optimisasi (Adam, Nadam, RMSProp, SGD) untuk meramalkan kurs JISDOR. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Nadam memberikan performa terbaik dengan RMSE (62,767) dan MAPE (0,003).

Berdasarkan penelitian terdahulu terlihat bahwa VECM telah banyak digunakan untuk menganalisis keterkaitan antarvariabel makroekonomi. Hasilnya konsisten menunjukkan bahwa VECM mampu menjelaskan hubungan jangka panjang melalui kointegrasi serta dinamika jangka pendek melalui *error correction*. Namun, penelitian spesifik mengenai data BI *rate*, Inflasi dan JISDOR masih jarang diteliti.

Oleh karena itu, penulis tertarik untuk meneliti lebih lanjut tentang implementasi VECM pada data BI *rate*, Inflasi dan JISDOR.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis hubungan BI *rate*, Inflasi, dan JISDOR baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang dengan mengimplementasikan VECM.
2. Menganalisis respon dinamis masing-masing variabel terhadap *shock* pada variabel lain serta mengukur kontribusi relatif setiap variabel.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui hubungan kointegrasi antara BI *rate*, Inflasi dan JISDOR.
2. Menambah wawasan dan pengetahuan bagi penulis maupun pembaca dalam pengaplikasian ilmu matematika dan statistika, literatur ekonometri di Indonesia, khususnya implementasi VECM.
3. Sebagai referensi bagi akademisi untuk mengembangkan penelitian dan menjadi pembanding untuk penelitian selanjutnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Deret Waktu

Deret waktu atau biasa disebut juga *time series* merupakan urutan observasi sesuai kronologis terhadap suatu variabel yang menjadi penelitian (Montgomery dkk., 2008). Sedangkan menurut Gujarati & Porter (2009), deret waktu adalah pengamatan terhadap nilai yang diambil oleh suatu variabel meliputi beberapa periode waktu yaitu harian, bulanan, mingguan, tahunan, dan lain-lain. Analisis deret waktu melibatkan eksplorasi, pemodelan, dan interpretasi data untuk mengungkap informasi yang terkandung dalam data deret waktu serta mengungkap hubungan antara observasi yang terjadi dalam interval waktu tersebut. Selain itu, analisis data deret waktu biasanya digunakan pada data yang dikumpulkan sesuai urutan waktu seperti ekonomi, meteorologi, keuangan, dan data kesehatan (Dewanti, 2025).

Wahyudi (2024) menyatakan bahwa analisis deret waktu mencoba memodelkan struktur yang mendasari pengamatan diambil dari waktu ke waktu. Model deret waktu linear dituliskan $Y = a + bx$ dengan urutan nilai yang sama dari waktu ke waktu. Menurut Wei (2006), analisis deret waktu berdasarkan variabel terdiri dari univariat dan multivariat, yaitu:

1. Deret waktu univariat adalah analisis deret waktu yang hanya mengamati satu variabel atau individu deret waktu.
2. Deret waktu multivariat melibatkan beberapa variabel deret waktu untuk memodelkan interaksi dan pergerakan antarvariabel, terutama pada data berkorelasi yang tercatat deret waktu.

2.2 Stasioneritas

Thomas (1996) menyatakan bahwa data stasioner adalah data yang tidak mengalami perubahan signifikan, pergerakan data deret waktu berada disekitar nilai rata-rata, varian, dan kovariannya tetap konstan sepanjang waktu. Sebuah deret waktu X_t dikatakan stasioner jika $E(X_t)$, $Var(X_t)$, dan $Cov(X_t, X_{t+k})$ konstan untuk semua t dan semua $k \neq 0$.

Jika estimasi dilakukan dengan menggunakan data yang tidak stasioner, maka akan memberikan hasil regresi yang palsu (*spurious regression*). Uji stasioneritas dapat dilakukan uji akar unit atau *unit root test* dengan statistik uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) menggunakan proses *autoregressive* (AR) orde pertama:

$$X_t = \alpha + \phi X_{t-1} + u_t$$

dengan:

- X_t : nilai variabel pada waktu ke- t
- α : konstanta atau *intercept*
- X_{t-1} : nilai variabel satu periode sebelumnya
- u_t : *error* yang bersifat *white noise*
- ϕ : koefisien *autoregressive*

1. Hipotesis yang digunakan

$H_0 : \phi = 1$ (mengandung *unit root*, data tidak stasioner)

$H_1 : \phi < 1$ (tidak mengandung *unit root*, data stasioner)

2. Statistik uji

$$TS = \frac{\phi^*}{S_{\hat{\phi}}}$$

dengan:

$$\phi^* : \hat{\phi} - 1$$

$S_{\hat{\phi}}$: penduga standar *error* dari $\hat{\phi}$.

3. Uji kriteria

H_0 ditolak jika nilai $|t_{hitung}| < t_{tabel}$ atau $p\text{-value} < \alpha = 5\%$.

H_1 diterima jika nilai $|t_{hitung}| > t_{tabel}$ atau $p\text{-value} > \alpha = 5\%$.

Makridakis dkk. (1998) menyatakan apabila data tidak memiliki sifat stasioner, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *differencing*. Proses *differencing* menggunakan langkah *backward shift* dengan persamaan

$$B^k Y_t = Y_{t-k} \quad , k = 1, 2, \dots$$

dengan:

$$B Y_t = Y_{t-1}$$

$$B^2 Y_t = Y_{t-2}$$

Persamaan untuk *first differencing*:

$$\begin{aligned} \Delta Y_t &= Y_t - Y_{t-1} \\ &= Y_t - B Y_t \\ &= (1 - B) Y_t \end{aligned} \tag{2.1}$$

Selanjutnya *second differencing* menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} \Delta^2 Y_t &= \Delta(\Delta Y_t) \\ &= (Y_t - Y_{t-1}) - (Y_{t-1} - Y_{t-2}) \\ &= Y_t - 2Y_{t-1} + Y_{t-2} \\ &= (1 - 2B + B^2) Y_t \\ &= (1 - B)^2 Y_t \end{aligned} \tag{2.2}$$

Dari persamaan (2.1) dan (2.2) disimpulkan apabila melakukan *differencing* pada orde ke- d ($l(d)$) maka digunakan persamaan

$$\Delta^d Y_t = (1 - B)^d Y_t$$

dengan:

$\Delta^d Y_t$: *differencing* ke- d periode ke- t

$(1 - B)^d$: operator *differencing* orde ke- d

Y_t : data periode ke- t

(Cryer & Chan, 2008).

2.3 Uji Lag Optimal

Menurut Kirchgassner & Wolters (2007), *lag* adalah perbedaan waktu antara dua peristiwa atau kejadian yang saling berkaitan. Penentuan *lag* optimal bertujuan untuk memastikan bahwa model dapat menjelaskan secara dinamis, menyeluruh

dan efisien. Prosedur pemilihan *lag* optimal dalam model dapat menggunakan kriteria informasi. Kriteria informasi yang sering digunakan, yaitu *Akaike Information Criteria (AIC)* dituliskan pada persamaan (2.3).

$$\ln(AIC) = \ln \frac{\sum \hat{u}_i^2}{n} + \frac{2k}{n} \quad (2.3)$$

Dengan \hat{u}_i^2 adalah kuadrat residual model, k adalah jumlah variabel bebas, dan n adalah jumlah observasi. Kriteria yang mempunyai nilai AIC paling kecil merupakan *lag* yang digunakan (Enders, 2015).

2.4 *Vector Autoregressive (VAR)*

Model VAR diperkenalkan oleh Christopher A.Sims pada tahun 1980. Sims mengembangkan pendekatan VAR sebagai alternatif terhadap pendekatan sistem persamaan simultan. Semua variabel bersifat endogen dan stasioner secara bersama-sama. Oleh karena itu, dalam $VAR(p)$ setiap komponen vektor X bergantung secara linear pada nilai *lag* hingga orde p (Kirchagassner & Wolters, 2007). Sedangkan menurut Zivot & Wang (2006), model *Vector Autoregressive (VAR)* merupakan salah satu model yang paling sukses, fleksibel, dan mudah digunakan untuk analisis deret waktu multivariat. Model ini merupakan perluasan dari model *autoregressive* univariat ke deret waktu multivariat dinamis. Menurut Lutkepohl (2005), misalkan $\mathbf{Y}_t = (y_{1t}, y_{2t}, \dots, y_{nt})$ merupakan vektor ($k \times 1$) dari variabel deret waktu. Bentuk umum model VAR (p) adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{Y}_t = \boldsymbol{\phi}_1 \mathbf{y}_{t-1} + \boldsymbol{\phi}_2 \mathbf{y}_{t-2} + \boldsymbol{\phi}_3 \mathbf{y}_{t-3} + \dots + \boldsymbol{\phi}_p \mathbf{y}_{t-p} + \boldsymbol{\varepsilon}_t$$

dengan:

\mathbf{Y}_t : vektor pengamatan data berukuran $k \times 1$ pada waktu ke- t

\mathbf{y}_{t-p} : vektor pengamatan data berukuran $k \times 1$ pada waktu ke- $t - p$

$\boldsymbol{\phi}_p$: matriks parameter vektor *autoregressive* pada lag ke- p berukuran $k \times k$.

$\boldsymbol{\varepsilon}_t$: vektor *error* pada waktu ke- t berukuran $k \times 1$

p : panjang *lag*.

Pada tahap selanjutnya, dapat ditentukan pemodelan VAR(p) dengan banyak variabel berjumlah k sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Y_{1,t} &= \phi_{11}y_{1,t-1} + \phi_{12}y_{2,t-2} + \phi_{13}y_{3,t-3} + \dots + \phi_{1p}y_{k,t-p} + \varepsilon_{1,t} \\ Y_{2,t} &= \phi_{21}y_{1,t-1} + \phi_{22}y_{2,t-2} + \phi_{23}y_{3,t-3} + \dots + \phi_{2p}y_{k,t-p} + \varepsilon_{2,t} \\ &\vdots \\ Y_{k,t} &= \phi_{k1}y_{1,t-1} + \phi_{k2}y_{2,t-2} + \phi_{k3}y_{3,t-3} + \dots + \phi_{kp}y_{k,t-p} + \varepsilon_{k,t} \end{aligned}$$

Atau

$$\begin{bmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \\ \vdots \\ Y_{k,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \dots & \phi_{1p} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \dots & \phi_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{k1} & \phi_{k2} & \dots & \phi_{kp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-2} \\ \vdots \\ y_{k,t-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,t} \end{bmatrix}.$$

Apabila data yang digunakan stasioner dalam tingkat *differencing* yang sama dan memiliki hubungan kointegrasi, maka model VAR dapat dikombinasikan dengan *Error Correction Model* (ECM) menjadi *Vector Error Correction Model* (VECM). Untuk tahap selanjutnya dari model VAR ke VECM maka dilakukan terlebih dahulu uji stabilitas. Uji stabilitas bertujuan untuk memastikan model dapat merepresentasikan dinamika hubungan antarvariabel secara konsisten sepanjang periode analisis (Enders, 2015).

Model *vector autoregressive* dengan dasar p -lag (VAR(p)) memiliki bentuk:

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 y_{t-1} + \phi_2 y_{t-2} + \dots + \phi_p y_{t-p} + \varepsilon_t \quad ; t = 1, \dots, T$$

dengan:

ϕ_0 : vektor konstanta berukuran $k \times 1$.

Misalkan tahapan dimulai pada saat $t = 1$, maka:

$$Y_1 = \phi_0 + \phi_1 y_0 + \varepsilon_1$$

$$Y_2 = \phi_0 + \phi_1 Y_1 + \varepsilon_2$$

$$= \phi_0 + \phi_1(\phi_0 + \phi_1 y_0 + \varepsilon_1) + \varepsilon_2$$

$$= \phi_0 + \phi_1 \phi_0 + \phi_1^2 y_0 + \phi_1 \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

$$= (\mathbf{I}_k + \phi_1) \phi_0 + \phi_1^2 y_0 + \phi_1 \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

\vdots

$$Y_t = (\mathbf{I}_k + \phi_1 + \dots + \phi_1^{t-1}) \phi_0 + \phi_1^t y_0 + \sum_{i=0}^{t-1} \phi_1^i \varepsilon_{t-i}. \quad (2.4)$$

Uji stabilitas VAR dilakukan dengan mengevaluasi *inverse roots* dari AR *characteristic polynomial*. Pengujian kestabilan VAR dapat dilihat juga dari polinomial determinan operator VAR yang memiliki akar pada lingkaran unit dan semua nilai *eigenvalue* dari ϕ_p memiliki nilai modulus kurang dari satu. Model VAR(p) pada persamaan (2.4) dapat dianggap stabil jika polinomial yang didefinisikan oleh $\det(\mathbf{I}_k - \mathbf{A}_1 z - \dots - \mathbf{A}_p z^p) \neq 0$ for $|z| \leq 1$, tidak memiliki akar di dalam dan pada lingkaran unit kompleks (Lutkepohl, 2005).

2.5 Uji Kointegrasi

Suminto & Huda (2025) menyatakan kointegrasi digunakan untuk mengetahui hubungan jangka panjang antarvariabel pada data tidak stasioner. Pengujian kointegrasi dapat menggunakan metode kointegrasi Johansen yang biasanya diterapkan pada variabel yang menunjukkan kointegrasi pada orde nol dan orde satu, yakni $I(0)$ dan $I(1)$.

R.F Engle dan C.W.J. Granger pada tahun 1987 mendefinisikan kointegrasi sebagai elemen vektor k dimensi Y dikatakan kointegrasi orde (d, c) , $Y \sim CI(d, c)$, jika semua elemen dari Y terintegrasi orde d , $I(d)$, dan jika terdapat setidaknya satu kombinasi linier non-trivial z dari variabel yang merupakan $I(d - c)$, dimana $d \geq c > 0$ berlaku jika dan hanya jika $\beta' Y_t = z_t \sim I(d - c)$. Vektor β disebut sebagai vektor kointegrasi. Peringkat kointegrasi r sama dengan jumlah vektor kointegrasi linier independen. Vektor kointegrasi merupakan kolom dari matriks kointegrasi β dengan $\beta' Y_t = Z_t$ (Kirchagassner & Wolters, 2007). Secara umum model VECM(p) adalah:

$$\Delta Y_t = \Pi y_{t-1} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2.5)$$

dengan: $\Pi = \sum_{i=1}^p A_i + l$ dan $\Gamma_i = -\sum_{j=1}^p A_j$.

Persamaan (2.5) mengandung informasi penyesuaian jangka panjang dan jangka pendek terhadap perubahan Y_t . Prosedur uji kointegrasi Johansen menggunakan

eigenvalue (λ_i) yang dapat diperoleh dari *varians covariance* matriks antara $\Delta \mathbf{Y}_t$ dan \mathbf{y}_{t-1} . Metode pengujian peringkat kointegrasi menggunakan uji *trace*.

a. Hipotesis

$H_0 : r \leq r_0$ (terdapat paling banyak r_0 vektor kointegrasi)

$H_1 : r \geq r_0$ (terdapat lebih dari r_0 vektor kointegrasi)

b. Statistik uji

$$LR_{tr}(r|k) = -T \sum_{i=r+1}^k \log(1 - \lambda_i)$$

c. Uji kriteria

H_0 ditolak jika nilai statistik uji *trace* lebih besar dari nilai kritis 5%, pengujian dimulai dari $r_0 = 0, 1, \dots, k - 1$.

2.6 Vector Error Correction Model (VECM)

Vector error correction model (VECM) merupakan bentuk VAR terestriksi. Striksi diberikan karena data yang tidak stasioner, namun terkointegrasi. Karena itu VECM sering disebut sebagai desain VAR bagi data tidak stasioner yang memiliki hubungan kointegrasi (Suminto & Huda, 2025).

Sebelum konsep kointegrasi diperkenalkan, model ECM erat kaitannya dalam literatur ekonometrika. Dalam ECM perubahan pada suatu variabel bergantung pada penyimpangan dari hubungan keseimbangan tertentu. Secara umum model VECM, $\Delta \mathbf{y}_{it}$ juga dapat bergantung pada perubahan sebelumnya dapat dituliskan pada persamaan berikut

$$\Delta Y_{i,t} = \sum_{j=1}^k \alpha_{ij} (\beta_j' \mathbf{y}_{t-1}) + \sum_{l=1}^{p-1} \sum_{m=1}^n \Gamma_{ij,l} \Delta \mathbf{y}_{l,t-i} + \varepsilon_{i,t} \quad (2.6)$$

Dalam notasi vektor dan matriks persamaan (2.6) dapat ditulis sebagai

$$\Delta \mathbf{Y}_t = \boldsymbol{\alpha} \boldsymbol{\beta}' \mathbf{y}_{t-1} + \boldsymbol{\Gamma}_1 \Delta \mathbf{y}_{t-1} + \boldsymbol{\Gamma}_2 \Delta \mathbf{y}_{t-2} + \dots + \boldsymbol{\Gamma}_{p-1} \Delta \mathbf{y}_{t-p+1} + \boldsymbol{\varepsilon}_t$$

Atau

$$\begin{bmatrix} \Delta Y_{1,t} \\ \Delta Y_{2,t} \\ \vdots \\ \Delta Y_{k,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_k \end{bmatrix} [\beta_1 \quad \beta_2 \quad \dots \quad \beta_k] \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \\ \vdots \\ y_{k,t-1} \end{bmatrix} + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \begin{bmatrix} \Delta y_{1,t-1} \\ \Delta y_{2,t-1} \\ \vdots \\ \Delta y_{k,t-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,t} \end{bmatrix}$$

dengan:

Δ : operator *differencing*, dengan $\Delta Y_t = y_t - y_{t-1}$

y_{t-1} : vektor variabel endogen dengan *lag* pertama

α : matriks *adjustment* atau matriks penyesuaian keseimbangan jangka pendek

β : matriks koefisien jangka panjang yang mengandung vektor kointegrasi

Γ_i : matriks koefisien variabel endogen ke- i

ε_t : vektor residual berukuran $k \times 1$.

Lutkepohl (2005) menyatakan jika semua variabel individu adalah $I(1)$ atau $I(0)$. Proses VAR(p) berdimensi k disebut terkointegrasi dengan rank r jika $\Pi = -(I_k - A_1 - \dots - A_p)$ memiliki peringkat r , sehingga Π dapat ditulis sebagai hasil kali matriks $\alpha\beta'$ dengan α dan β berdimensi $(k \times r)$ dan memiliki peringkat r . Sehingga dari proses representasi VAR(p) dapat dibentuk model VECM($P - 1$) seperti pada persamaan (2.7)

$$\Delta Y_t = \Pi y_{t-1} + \Gamma_1 \Delta y_{t-1} + \Gamma_2 \Delta y_{t-2} + \dots + \Gamma_{p-1} \Delta y_{t-p+1} + \varepsilon_t \quad (2.7)$$

dengan:

Π : $-(I_k - A_1 - \dots - A_p)$ matriks kointegrasi berukuran $k \times k$

Γ_i : $-(A_{i+1} + \dots + A_p)$, untuk $i = 1, 2, \dots, p - 1$, matriks koefisien parameter $k \times k$

Menurut Lutkepohl (2005) untuk melakukan estimasi parameter model VECM dapat dilakukan dengan metode *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan mempertimbangkan pembatasan peringkat untuk $\Pi = \alpha\beta'$. Fungsi *log-likelihood* untuk sampel berukuran T adalah

$$\begin{aligned} \ln l = & -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ & - \frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - \Gamma\Delta X)' \Sigma_u^{-1} (\Delta Y - \alpha\beta'Y_{-1} - \Gamma\Delta X)] \end{aligned} \quad (2.8)$$

MLE tidak mengasumsikan bahwa β normal tetapi, diasumsikan $rk(\Pi) = r$ yang berarti matriks dapat diwakili sebagai $\Pi = \alpha\beta'$, dimana α dan β adalah $(K \times r)$ dengan $rk(\alpha) = rk(\beta) = r$.

Misalkan:

$$M = l_T - \Delta X'(\Delta X \Delta X')^{-1} \Delta X,$$

$$R_0 = \Delta Y M, \text{ dan}$$

$$R_1 = Y_{-1} M.$$

$$\text{Didefinisikan } S_{ij} = \frac{R_i R_j'}{T}, i = 0, 1, \dots$$

$\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_k$ adalah *eigenvalues* dari $S_{11}^{-1/2} S_{10} S_{00}^{-1} S_{01} S_{11}^{-1/2}$ dan $v_1 \dots v_k$ adalah vektor eigen ortonormal yang sesuai.

Fungsi *log-likelihood* pada persamaan (2.8) dimaksimalkan untuk

$$\beta = \hat{\beta} = [v_1 \dots v_k]' S_{11}^{-\frac{1}{2}}$$

$$\alpha = \hat{\alpha} = \Delta Y M Y_{-1}' \hat{\beta} (\hat{\beta}' Y_{-1} M Y_{-1}' \hat{\beta})^{-1} = S_{01} \hat{\beta} (\hat{\beta}' S_{11} \hat{\beta})^{-1}$$

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

$$\Sigma_u = \hat{\Sigma}_u = \frac{(\Delta Y - \hat{\alpha} \hat{\beta}' Y_{-1} - \hat{\Gamma} \Delta X)(\Delta Y - \hat{\alpha} \hat{\beta}' Y_{-1} - \hat{\Gamma} \Delta X)'}{T}$$

Dengan nilai *maximum*

$$\max \ln l = -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \left[\ln |S_{00}| + \sum_{i=1}^r \ln(1 - \lambda_i) \right] - \frac{KT}{2}.$$

Diketahui bahwa untuk sembarang α dan β tetap $\max \ln l$ tercapai untuk

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

Oleh karena itu, dengan mengubah Γ pada persamaan (2.8) dengan $\hat{\Gamma}(\alpha\beta')$ didapatkan *log-likelihood* yang terkointegrasi yaitu

$$\ln l = -\frac{KT}{2} \ln 2\pi - \frac{T}{2} \ln |\Sigma_u|$$

$$-\frac{1}{2} \text{tr}[(\Delta Y M - \alpha\beta' Y_{-1} - M)' \Sigma_u^{-1} (\Delta Y M - \alpha\beta' Y_{-1} - M)]$$

Selanjutnya memaksimumkan terhadap α, β dan Σ_u .

Jika untuk α dan β tetap maka nilai maksimum tercapai jika disubstitusikan oleh estimasi kovarians residual, yaitu $\hat{\Sigma}(\alpha\beta') = \frac{(\Delta Y_M - \alpha\beta'Y_{-1}M)(\Delta Y_M - \alpha\beta'Y_{-1}M)'}{T}$. Oleh karena itu, Σ_u diganti dengan $\hat{\Sigma}(\alpha\beta')$ diperoleh bentuk fungsi *log-likelihood*

$$\begin{aligned}\ln l &= -\frac{T}{2} \ln |\Sigma_u| \\ &= -\frac{T}{2} \ln \left| \frac{(\Delta Y_M - \alpha\beta'Y_{-1}M)(\Delta Y_M - \alpha\beta'Y_{-1}M)'}{T} \right|\end{aligned}$$

Atau ekuivalen dengan meminimumkan determinan dari matriks kovarians residual terhadap parameter α dan β .

Bentuk VECM (3) dengan variabel berjumlah k dapat dituliskan model seperti:

$$\begin{aligned}\Delta Y_{1,t} &= \Pi_{11}y_{1,t-1} + \Pi_{12}y_{2,t-1} + \dots + \Pi_{1k}y_{k,t-1} + \Gamma_{111}\Delta y_{1,t-1} \\ &\quad + \Gamma_{112}\Delta y_{2,t-1} + \dots + \Gamma_{11k}\Delta y_{k,t-1} + \Gamma_{211}\Delta y_{1,t-2} \\ &\quad + \Gamma_{212}\Delta y_{2,t-2} + \dots + \Gamma_{21k}\Delta y_{k,t-2} + \varepsilon_{1,t} \\ \Delta Y_{2,t} &= \Pi_{21}y_{1,t-1} + \Pi_{22}y_{2,t-1} + \dots + \Pi_{2k}y_{k,t-1} + \Gamma_{121}\Delta y_{1,t-1} \\ &\quad + \Gamma_{122}\Delta y_{2,t-1} + \dots + \Gamma_{12k}\Delta y_{k,t-1} + \Gamma_{221}\Delta y_{1,t-2} \\ &\quad + \Gamma_{222}\Delta y_{2,t-2} + \dots + \Gamma_{22k}\Delta y_{k,t-2} + \varepsilon_{2,t} \\ &\quad \vdots \\ \Delta Y_{k,t} &= \Pi_{k1}y_{1,t-1} + \Pi_{k2}y_{2,t-1} + \dots + \Pi_{kk}y_{k,t-1} + \Gamma_{1k1}\Delta y_{1,t-1} \\ &\quad + \Gamma_{1k2}\Delta y_{2,t-1} + \dots + \Gamma_{1kk}\Delta y_{k,t-1} + \Gamma_{2k1}\Delta y_{1,t-2} \\ &\quad + \Gamma_{2k2}\Delta y_{2,t-2} + \dots + \Gamma_{2kk}\Delta y_{k,t-2} + \varepsilon_{k,t}\end{aligned}$$

Atau

$$\begin{aligned}\begin{bmatrix} \Delta y_{1,t} \\ \Delta y_{2,t} \\ \vdots \\ \Delta y_{k,t} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \Pi_{11} & \Pi_{12} & \dots & \Pi_{1k} \\ \Pi_{21} & \Pi_{22} & \dots & \Pi_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Pi_{k1} & \Pi_{k2} & \dots & \Pi_{kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-1} \\ \vdots \\ y_{k,t-1} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} \Gamma_{111} & \Gamma_{112} & \dots & \Gamma_{11k} \\ \Gamma_{121} & \Gamma_{122} & \dots & \Gamma_{12k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma_{1k1} & \Gamma_{1k2} & \dots & \Gamma_{1kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y_{1,t-1} \\ \Delta y_{2,t-1} \\ \vdots \\ \Delta y_{k,t-1} \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} \Gamma_{211} & \Gamma_{212} & \dots & \Gamma_{21k} \\ \Gamma_{221} & \Gamma_{222} & \dots & \Gamma_{22k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Gamma_{2k1} & \Gamma_{2k2} & \dots & \Gamma_{2kk} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta y_{1,t-2} \\ \Delta y_{2,t-2} \\ \vdots \\ \Delta y_{k,t-2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,t} \end{bmatrix}.\end{aligned}$$

2.7 Uji Kausalitas Granger

Gujarati & Porter (2009) menyatakan uji kausalitas Granger atau *Granger causality test* bertujuan untuk melihat hubungan antara variabel X dan Y berdasarkan data deret waktu dalam estimasi model. Hasil dari estimasi akan menunjukkan kemungkinan-kemungkinan:

- Hubungan kausalitas satu arah atau *unidirectional causality* dari Y_t ke X_t .
- Hubungan kausalitas satu arah dari X_t ke Y_t .
- Kausalitas dua arah atau saling mempengaruhi (*bilateral causality or feedback*).
- Tidak terdapat hubungan kausalitas (*no causality*).

Uji kausalitas Granger dilakukan dengan melakukan uji F untuk menilai apakah perubahan pada suatu variabel dapat dijelaskan oleh perubahan pada variabel lainnya.

- Hipotesis yang digunakan

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0$ (tidak ada hubungan kausalitas)

$H_1 : \text{paling sedikit terdapat } \beta_n \neq 0, \text{ (ada hubungan kausalitas)}$

- Statistik uji

$$F = \frac{(RSS_R - RSS_{UR})/m}{RSS_{UR}/(n - k)}$$

dengan:

$$RSS_R = \sum_i^n (y_i - \hat{y}_{iR})^2 = \sum_i^n u_{iR}^2$$

$$RSS_{UR} = \sum_i^n (y_i - \hat{y}_{iUR})^2 = \sum_i^n u_{iUR}^2$$

keterangan:

RSS_R : *residual sum of square* dari persamaan *restricted*

RSS_{UR} : *residual sum of square* dari persamaan *unrestricted*

n : banyaknya data pengamatan

m : panjang *lag*

k : jumlah variabel endogen

- Uji kriteria

H_0 ditolak jika nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ atau nilai $p - value < \alpha = 5\%$.

2.8 Impulse Response Function (IRF)

Kumar & Petersen (2012) menyatakan *Impulse Response Function* (IRF) mengukur efek *incremental* dari *shock* sebesar satu unit (atau satu standar deviasi) pada salah satu variabel terhadap nilai masa depan variabel endogen lainnya. IRF juga dapat dilihat sebagai selisih antara dua perkiraan. Perkiraan pertama berdasarkan kumpulan informasi yang tidak memperhitungkan *shock* pemasaran, dan perkiraan lain berdasarkan kumpulan informasi yang diperluas memperhitungkan tindakan. Analisis IRF dapat dituliskan dengan model VAR(p):

$$Y_t = A_0 + A_1 y_{t-1} + \varepsilon_t$$

dengan:

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

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

$$\varepsilon_t : B^{-1}e_t$$

Menulis model VAR dalam bentuk matriks dengan k variabel

$$\begin{bmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \\ \vdots \\ Y_{k,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_0 \\ \phi_1 \\ \vdots \\ \phi_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1p} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{k1} & \phi_{k2} & \cdots & \phi_{kp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{1,t-1} \\ y_{2,t-2} \\ \vdots \\ y_{k,t-p} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,t} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

Bentuk umum model VAR persamaan (2.9) diasumsikan mencapai kestabilan saat

$$\begin{bmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \\ \vdots \\ Y_{k,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{y}_{1,t} \\ \hat{y}_{2,t} \\ \vdots \\ \hat{y}_{k,t} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1p} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{k1} & \phi_{k2} & \cdots & \phi_{kp} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-i} \\ \varepsilon_{2,t-i} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,t-i} \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Vector error dapat ditulis dalam bentuk matriks

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t} \\ \varepsilon_{2,t} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,t} \end{bmatrix} = \frac{1}{\det(\phi_i)} \text{adj}(\phi_i) \begin{bmatrix} e_{1,t} \\ e_{2,t} \\ \vdots \\ e_{k,t} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Dari persamaan (2.10) dan (2.11) dapat digabung kedalam bentuk:

$$\begin{bmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \\ \vdots \\ Y_{k,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{y}_{1,t} \\ \hat{y}_{2,t} \\ \vdots \\ \hat{y}_{k,t} \end{bmatrix} + \frac{1}{\det(\phi_i)} \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1p} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{k1} & \phi_{k2} & \cdots & \phi_{kp} \end{bmatrix}^i \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-i} \\ \varepsilon_{2,t-i} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,t-i} \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

Penyederhanan dengan mendefinisikan nilai matriks ϕ dengan elemen $\phi_{jk}(i)$

$$\phi_i = \frac{\phi_1^i}{\det(\phi_i)} \text{adj}(\phi_i)$$

Oleh karena itu, representasi *vector moving average* (VMA) dari Persamaan (2.12) adalah

$$\begin{bmatrix} Y_{1,t} \\ Y_{2,t} \\ \vdots \\ Y_{k,t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{y}_{1,t} \\ \hat{y}_{2,t} \\ \vdots \\ \hat{y}_{k,t} \end{bmatrix} + \sum_{i=0}^{\infty} \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1p} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \phi_{k1} & \phi_{k2} & \cdots & \phi_{kp} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,t-i} \\ \varepsilon_{2,t-i} \\ \vdots \\ \varepsilon_{k,t-i} \end{bmatrix}$$

Atau

$$Y_t = \mu + \sum_{i=0}^{\infty} \phi_i \varepsilon_{t-i}$$

(Enders, 2015).

Representasi VMA merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis interaksi antara urutan ε_{xt} dan ε_{yt} . Koefisien ϕ_i dapat digunakan untuk menghitung dampak guncangan dari x_t dan y_t . Koefisien $\phi_{jk}(i)$ menjelaskan IRF dan dapat menggambarkan plot terbaik untuk menanggapi respon terhadap dampak dari guncangan variabel tertentu (Winarno dkk., 2021).

2.9 Variance Decomposition (VD)

Rahayu dkk. (2021) menyatakan *variance decomposition* atau disebut juga *forecast error variance decomposition* (FEVD) merupakan perangkat pada model VECM. Dengan menggunakan VECM, dapat dilihat proporsi dampak perubahan pada suatu

variabel jika mengalami *shock* atau perubahan terhadap variabel itu sendiri dalam suatu periode. Enders (2015) menyatakan *variance decomposition* merupakan perbandingan proporsi terhadap *shock y* dan *shock z*. *Shock* adalah gangguan yang terjadi pada setiap periode yang disebabkan oleh perubahan proporsi variabel lainnya. Dinotasikan FEVD periode n kedepan dari y_{t+n} sebagai $\sigma_y(n)^2$:

$$\begin{aligned}\sigma_y(n)^2 &= \sigma_y^2[\phi_{11}(0)^2 + \phi_{11}(1)^2 + \dots + \phi_{11}(n-1)^2] \\ &\quad + \sigma_z^2[\phi_{12}(0)^2 + \phi_{12}(1)^2 + \dots + \phi_{12}(n-1)^2]\end{aligned}$$

Karena nilai dari $\phi_{jk}(i)^2$ secara inheren tidak negatif, maka perkiraan FEVD meningkat seiring dengan perkiraan periode n . Proporsi $\sigma_x(n)^2$ yang disebabkan oleh *shock* dalam urutan ε_{yt} dan ε_{zt} dapat diuraikan menjadi persamaan

$$\varepsilon_{yt} = \frac{\sigma_y^2[\phi_{11}(0)^2 + \phi_{11}(1)^2 + \dots + \phi_{11}(n-1)^2]}{\sigma_y(n)^2}$$

Dan

$$\varepsilon_{zt} = \frac{\sigma_z^2[\phi_{12}(0)^2 + \phi_{12}(1)^2 + \dots + \phi_{12}(n-1)^2]}{\sigma_y(n)^2}$$

dengan:

σ_y^2 : varians dari *shock* variabel itu sendiri

σ_z^2 : varians dari *shock* variabel lain

$\phi_{1j}(i)$: koefisien IRF, $j = 1, 2$

n : periode waktu.

2.10 BI Rate

BI rate merupakan suku bunga dengan tenor satu bulan yang diumumkan oleh Bank Indonesia secara periodik untuk jangka waktu tertentu yang berfungsi sebagai sinyal (*stance*) kebijakan moneter (Siamat, 2005). Mulai 21 Desember 2023, istilah BI rate resmi digunakan sebagai suku bunga kebijakan menggantikan BI-7 Day Reverse Repo Rate (BI7DRR). Bank Indonesia pada 22 - 23 April 2025 memutuskan untuk mempertahankan BI rate sebesar 5,75%, suku bunga *deposit facility* sebesar 5,00%, dan suku bunga *lending facility* sebesar 6,50%. Keputusan ini konsisten dengan upaya menjaga prakiraan inflasi 2025 dan 2026 tetap

terkendali dalam sasaran $2,5\pm 1\%$. Mempertahankan stabilitas nilai tukar rupiah yang sesuai dengan fundamental di tengah meningkatnya ketidakpastian global, serta untuk turut mendukung pertumbuhan ekonomi (Bank Indonesia, 2025).

2.11 Inflasi

Menurut Suseno & Astiyah (2009), inflasi adalah kenaikan harga barang dan jasa secara umum dan terus menerus dalam jangka waktu tertentu. Kenaikan harga dari satu atau dua barang saja tidak dapat disebut inflasi kecuali bila kenaikan itu meluas atau mengakibatkan kenaikan harga pada barang lainnya. Untuk mengukur perubahan inflasi dari waktu ke waktu pada umumnya dipergunakan suatu angka indeks. Perubahan angka indeks dari satu waktu ke waktu yang lain, yang dinyatakan dalam angka persentase.

Tingkat inflasi dihitung dengan IHK, di Indonesia dihitung menggunakan formula Laspeyres yang dimodifikasi sebagai berikut:

$$I_n = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{P_{ni}}{P_{(n-1)i}} P_{(n-1)i} \times Q_{0,i}}{\sum_{i=1}^k P_{0,i} \times Q_{0,i}} \times 100$$

dimana:

I_n : indeks periode ke- n

P_{ni} : harga barang ke- i pada periode ke- n

$P_{(n-1)i}$: harga jenis barang ke- i periode ke- n

$P_{n,i}Q_i$: nilai konsumsi jenis barang ke- i pada periode ke- n

$P_{(n-1)i} \times Q_{0,i}$: nilai konsumsi barang ke- i pada periode ke- $(n - 1)$

K : jumlah jenis barang paket komoditi.

2.12 Jakarta *Interbank Spot Dollar Rate* (JISDOR)

Menurut Ningrum & Hisani (2024), Bank Indonesia menyatakan JISDOR merupakan harga *spot* USD/IDR yang disusun berdasarkan kurs transaksi USD/IDR terhadap rupiah antarbank di pasar valuta asing. JISDOR mulai diterbitkan sejak 20 Mei 2013 dan disusun melalui Sistem Monitoring Transaksi

Valuta Asing Terhadap Rupiah (SISMONTAVAR) di Bank Indonesia secara *real time*. JISDOR digunakan sebagai acuan transaksi valas dan sebagai informasi kebijakan moneter.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada semester ganjil tahun ajaran akademik 2025/2026, bertempat di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

3.2 Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Bank Indonesia. Variabel yang digunakan yaitu BI *rate*, Inflasi, dan JISDOR. Data penelitian berdasarkan data deret waktu bulanan dari Mei 2013 – Juni 2024. Sampel yang digunakan berjumlah 134 data. Data BI *rate* diperoleh dari laman: <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/BI-Rate.aspx>, data inflasi dari laman: <https://www.bi.go.id/id/statistik/indikator/data-inflasi.aspx>, dan data JISDOR dari laman: <https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/jisdor/Default.aspx>.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *Vector Error Correction Model* (VECM) dengan tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan data BI *rate*, inflasi, dan JISDOR dari Mei 2013 – Juni 2024.
2. Menguji stasioneritas dengan uji ADF dari masing-masing variabel. Jika variabel tidak stasioner, maka melakukan *differencing* hingga data stasioner.

3. Menentukan *lag* optimal untuk model dengan menggunakan kriteria informasi AIC dengan memilih nilai yang terkecil.
4. Menguji stabilitas model VAR dengan menduga apakah semua nilai eigen dari matriks koefisien AR dalam model VAR berada dalam satu *unit circle*. Apabila semua nilai eigen berada dalam satu *unit circle* atau memiliki nilai modulus kurang dari satu, maka model VAR dianggap stabil.
5. Melakukan uji kointegrasi menggunakan statistik uji *trace*. Jika tidak terdapat kointegrasi, maka analisis VECM tidak dapat dilanjutkan.
6. Melakukan estimasi parameter model VECM dengan *lag* dan *rank* berdasarkan hasil uji kointegrasi. Membentuk matriks koefisien kointegrasi (Π) dan matriks koefisien parameter (Γ).
7. Melakukan uji kausalitas Granger menggunakan statistik uji *F*.
8. Melakukan analisis IRF representasi grafik dari VMA yang akan menunjukkan respon suatu variabel akibat *shock*. Melakukan analisis *variance decomposition* untuk mengetahui kontribusi masing-masing variabel dan nilainya diukur dalam bentuk persentase.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil estimasi VECM menunjukkan bahwa BI *rate*, Inflasi, dan JISDOR memiliki hubungan jangka panjang yang stabil. Hal ini ditandai dengan keberadaan vektor kointegrasi sehingga ketiga variabel bergerak menuju keseimbangan jangka panjang. Dalam jangka pendek, hubungan antarvariabel bersifat dinamis dengan tingkat pengaruh dan kecepatan penyesuaian yang berbeda-beda tercermin dari tidak semua koefisien *lag* yang signifikan.
2. Hasil analisis IRF menunjukkan bahwa respon antarvariabel terhadap *shock* bersifat sementara dan cenderung menurun seiring waktu. Hal ini mengindikasikan sistem yang stabil serta adanya mekanisme penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang. Sementara itu, hasil *variance decomposition* menunjukkan bahwa variasi awal masing-masing variabel didominasi oleh *shock* variabel itu sendiri. Pada jangka menengah hingga panjang pengaruh antar BI *rate*, Inflasi, dan JISDOR semakin meningkat menandakan adanya interaksi dinamis antarvariabel.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarwati, A. D., Sara, M., & Aziz, I. S. 2021. Pengaruh Jumlah Uang Beredar (JUB), BI Rate dan Inflasi Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Indonesia Periode 2009 - 2018. *Warmadewa Economic Development Journal (WEDJ)*, 4(1):21-27.
- Bank Indonesia. 2025. *Laporan Kebijakan Moneter Triwulan I 2025*. <https://www.bi.go.id/id/publikasi/laporan/Pages/Laporan-Kebijakan-Moneter-Triwulan-I-2025.aspx>. Diakses pada 31 oktober 2025.
- Cryer, J. D., & Chan, K.-S. 2008. *Time Series Analysis with Applications in R Second Edition*. Springer, Iowa.
- Dewanti, D. 2025. *Metode Statistika Populer untuk Penelitian*. Exsight, Jakarta.
- Enders, W. 2015. *Applied Econometric Time Series Fourth edition*. Wiley, Hoboken.
- Fitri MY, R. F., Fitria, D., & Zilrahmi, S. 2023. Vector Error Correction Model for Cointegration Analysis of Factors Affecting Indonesia's Economic Growth during the Pandemic Period. *UNP Journal of Statistics and Data Science*, 1(3):140-148.
- Gujarati, D. N., & Porter, D. C. 2009. *Basic Econometric*. Douglas Reiner, New York.
- Kirchagassner, G., & Wolters, J. 2007. *Introduction to Modern Time Series Analysis*. Springer-verlag, Berlin Heidelberg.
- Kumar, V., & Petersen, J. A. 2012. *Statistical Methods in Customer Relationship Management*. A John Wiley & Sons Ltd, United Kingdom.

- Loves, L., M. U., Warsono, Widiarti, & E. R. 2021. Modeling Multivariate Time Series by Vector Error Correction Models (VECM) (Study: PT Kalbe Farma Tbk. and PT Kimia Farma (Persero) Tbk). *Journal of Physics : Conference Series*, 1751, 1742-6596.
- Lütkepohl, H. 2005. *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*. Springer-verlag, Berlin Heidelberg.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. 1998. *Forecasting Methods and Applications*. Wiley, New York.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. 2008. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.
- Ningrum, A. F., & Hisani, Z. A. 2024. Analisis Kinerja Model ARIMA dan LSTM dalam Memprediksi Jakarta Interbank Spot Dollar Rate (JISDOR), *Prosiding Seminar Nasional Sains Data (SENADA)*, Jawa Timur, hlm. 478-486.
- Ningrum, A. F., Purwanto, D., & Wardani, A. K. 2025. Evaluation of Deep Learning Optimizers for Predicting JISDOR Exchange Rates Using LSTM Networks. *Journal of Data Insights*, **3**(1):32-41.
- Rahayu, E., Yundari, & Martha, S. 2021. Analisis Tingkat Inflasi dan BI Rate Menggunakan Vector Error Correction Model. *Buletin Ilmiah Mat, Stat, dan Terapannya (Bimaster)*, **10**(1):51-60.
- Saputra, D. D., & Sukmawati, A. 2021. Pendekatan Analisis Vector Error Correction Model (VECM) dalam Hubungan Pertumbuhan Ekonomi dan Sektor Pariwisata. *Seminar Nasional Official Statistics*, 120-129.
- Siamat, D. 2005. *Manajemen Lembaga Keuangan: Kebijakan Moneter dan Perbankan*. Falkutas Ekonomi Universitas Indonesia, Jakarta.
- Suminto, A., & Huda, M. 2025. *Ekonometrika Dasar: Seti Analisis Regresi Linier, Regresi Data Panel, ECM, VAR/VECM dan ARDL*. Madza Media, Malang.
- Suseno, & Astiyah, S. 2009. *Inflasi*. Pusat Pendidikan dan Studi Kebanksentralan (PPSK) Bank Indonesia, Jakarta.
- Thomas, R. L. 1996. *Modern Econometrics*. Addison Wesley Longman, Englad.