PUNGGAWA
GLOBAL RESEARCH:
JURNAL MULTIDISIPLIN

Punggawa Global Research: Jurnal Multidisiplin
Volume 1, Nomor 5, 2026
E-ISSN: 3164-0117
Open Access: punggawajournal.com/pgr

Keterkaitan Antara GDP, FDI, Keterbukaan Perdagangan, dan Emisi Karbon Dioksida di Indonesia: Pendekatan VAR

Nyssa Juliyanti Akbar[1], Najwa Aulia Fadhilah[2], Nisrina Zahra Salsabila[3], Finkan Finky Salsabila[4]
[1, 2, 3, 4] Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia
Korespondensi: nyssajulianti532@gmail.com

Informasi Artikel

Riwayat artikel:
Received Sept 13th, 2026
Revised Oct 24th, 2026
Accepted Oct 28th, 2026

Keyword:
GDP, *Foreign Direct Investment* (FDI), keterbukaan perdagangan, emisi CO_2, *Vector Autoregression* (VAR)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis hubungan dinamis antara *Gross Domestic Product* (GDP), *Foreign Direct Investment* (FDI), Keterbukaan Perdagangan, dan Emisi Karbon Dioksida (CO_2) di Indonesia periode 1985–2024. Penelitian ini menggunakan metode *Vector Autoregression* (VAR), serta uji Kausalitas *Granger*, *Impulse Response Function* (IRF), dan *Variance Decomposition*. Uji *Granger* menunjukkan bahwa GDP memiliki keterkaitan prediktif terhadap CO_2 dan FDI, sedangkan pasangan variabel lainnya tidak signifikan. Estimasi VAR menunjukkan bahwa GDP berpengaruh positif dan signifikan terhadap CO_2, sedangkan FDI memiliki arah koefisien negatif dan keterbukaan perdagangan memiliki arah koefisien positif, namun keduanya tidak signifikan secara statistik. *Variance Decomposition* menunjukkan bahwa variasi perubahan CO_2 terutama dijelaskan oleh guncangan CO_2 itu sendiri, dengan GDP sebagai kontributor terbesar di antara variabel ekonomi.

© 2026 The Authors. Published by Punggawa Legacy Center. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

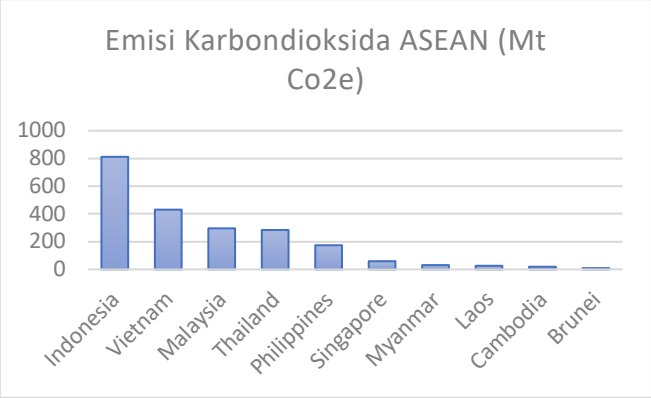
PENDAHULUAN

Meningkatnya aktivitas ekonomi yang tidak disertai dengan penerapan prinsip kelestarian lingkungan dapat memberikan tekanan terhadap ekosistem dan memicu terjadinya kerusakan alam. Kondisi tersebut tercermin melalui degradasi lingkungan yang ditandai oleh menurunnya kualitas lingkungan. Permasalahan ini tidak hanya berdampak pada kondisi lingkungan, tetapi juga menjadi perhatian global karena memiliki keterkaitan dengan perubahan iklim. Fenomena perubahan iklim terjadi sebagai konsekuensi dari berbagai aktivitas manusia, khususnya kegiatan yang menggunakan bahan bakar fosil serta perubahan penggunaan lahan. Aktivitas tersebut menghasilkan dan meningkatkan pelepasan karbon dioksida (CO_2) ke atmosfer, sehingga menjadi salah satu sumber utama peningkatan emisi karbon dan turut memperburuk permasalahan perubahan iklim secara global (Amalina et al., 2023).

Karbon dioksida (CO_2) termasuk salah satu jenis gas rumah kaca yang berperan dalam terjadinya pemanasan global (Silaban et al., 2026). Keberadaan gas rumah kaca di atmosfer dapat memengaruhi proses masuk dan keluarnya radiasi dari permukaan bumi, sehingga panas lebih banyak terperangkap di atmosfer. Kondisi tersebut menyebabkan peningkatan suhu bumi secara bertahap dan pada akhirnya dapat memicu berbagai perubahan lingkungan. Dengan demikian, peningkatan emisi CO_2 menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan perubahan kondisi lingkungan secara luas (Vitianingsih et al., 2021).

Pembangunan ekonomi yang ditandai dengan meningkatnya aktivitas produksi dan penggunaan sumber daya alam dapat memberikan tekanan terhadap kualitas lingkungan. Perkembangan sektor industri, investasi, dan perdagangan menjadi bagian dari aktivitas ekonomi yang berpotensi meningkatkan pelepasan karbon dioksida (CO_2) ke atmosfer. Dengan demikian, semakin intensif pembangunan ekonomi berlangsung, semakin besar pula potensi peningkatan emisi CO_2 yang

dihasilkan dari berbagai kegiatan ekonomi (Winda & Falianty, 2023). Kondisi tersebut menjadikan pencemaran dan degradasi lingkungan sebagai salah satu permasalahan yang perlu diperhatikan dalam proses pembangunan ekonomi.



Gambar 1. Jumlah Emisi Karbondioksida (CO_2) ASEAN Tahun 2024
Sumber: *Worldbank*

Berdasarkan data World Bank tahun 2024 (Worldbank, 2024), Indonesia menempati peringkat pertama di ASEAN dalam emisi karbon dioksida (CO_2) dengan jumlah emisi sekitar 812,20 Mt CO_2e, lebih tinggi dibandingkan negara ASEAN lainnya seperti Vietnam, Malaysia, dan Thailand. Temuan ini sejalan dengan data *Worldometer* tahun 2022 (Worldometer, 2022) yang menempatkan Indonesia sebagai penyumbang emisi karbon terbesar ke-6 di dunia, dengan emisi mencapai sekitar 692,24 juta ton atau sekitar 1,80% dari total emisi dunia dan emisi per kapita sebesar 2,48 ton. Bahkan, Indonesia tercatat mengalami peningkatan emisi sebesar 13,41% dibandingkan tahun sebelumnya. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya mengkaji faktor-faktor ekonomi yang dapat memengaruhi peningkatan emisi CO_2, sehingga keterkaitan antara perkembangan aktivitas ekonomi dan lingkungan di Indonesia dapat dipahami dengan lebih jelas.

Peningkatan aktivitas ekonomi dan industrialisasi di Indonesia mendorong konsumsi energi yang berpotensi meningkatkan emisi CO_2 (Wahyudi & Chaidir, 2026). Dengan demikian, peningkatan *Gross Domestic Product* (GDP) sebagai cerminan aktivitas ekonomi dapat menjadi salah satu faktor yang mendorong peningkatan emisi CO_2. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Suhartoko & Ekaristi (2023), yang menunjukkan bahwa GDP memiliki hubungan positif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO_2). Namun berbeda dengan penelitian oleh A'yun & Khasanah (2022) yang mengungkapkan bahwa GDP berpengaruh negatif terhadap emisi karbondioksida. Hubungan negatif tersebut dapat terjadi apabila peningkatan aktivitas ekonomi disertai dengan penggunaan teknologi yang lebih ramah lingkungan dan peningkatan efisiensi energi, sehingga aktivitas produksi dapat berkembang tanpa diikuti peningkatan emisi CO_2 secara proporsional.

Selain GDP, *Foreign Direct Investment* (FDI) juga dapat menjadi salah satu faktor yang memengaruhi peningkatan emisi karbon dioksida (CO_2). Berdasarkan Hipotesis *Pollution Haven*, perusahaan yang mencari peluang investasi cenderung memilih negara berkembang karena negara tersebut menawarkan pajak yang lebih rendah dan regulasi emisi CO_2 yang relatif kurang ketat (Suhartoko & Ekaristi, 2023). Kondisi tersebut dapat mendorong masuknya investasi pada sektor-sektor yang membutuhkan energi tinggi dan menghasilkan emisi. Penelitian yang dilakukan oleh Sumiyati (2025) mendukung hal tersebut dengan menyatakan bahwa FDI berpengaruh positif signifikan terhadap emisi karbondioksida di negara ASEAN-China FTA. Berbeda dengan temuan sebelumnya, penelitian oleh Suhartoko & Ekaristi (2023) yang menunjukkan bahwa FDI berpengaruh negatif terhadap emisi CO_2. Hasil ini sejalan dengan Hipotesis *Pollution Halo*, yang menyatakan bahwa FDI dapat meningkatkan efisiensi energi, mendorong transfer teknologi, dan menerapkan praktik manajemen yang lebih baik sehingga membantu mengurangi pencemaran lingkungan.

Selain GDP dan FDI, keterbukaan perdagangan juga dapat memengaruhi tingkat emisi karbon dioksida (CO_2). Peningkatan intensitas perdagangan dapat mendorong penggunaan bahan bakar fosil dalam proses produksi dan transportasi serta meningkatkan pemanfaatan sumber daya alam untuk memenuhi kebutuhan pasar (Puspita & Hartono, 2021). Kondisi tersebut pada akhirnya dapat meningkatkan aktivitas yang menghasilkan polusi dan berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO_2. Sejalan dengan hal ini, penelitian yang dilakukan oleh Herianto et al., (2025) menyatakan bahwa

keterbukaan perdagangan berpegaruh positif terhadap emisi karbondioksida di negara anggota OKI. Sementara itu, penelitian oleh Widyawati et al., (2021) menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan berpengaruh negatif terhadap emisi CO_2. Pengaruh tersebut dapat terjadi karena keterbukaan perdagangan mendorong limpahan pengetahuan dan persaingan yang memicu adopsi teknologi yang lebih ramah lingkungan dan efisien.

Penelitian terdahulu mengenai hubungan GDP, FDI, dan keterbukaan perdagangan terhadap emisi CO_2 masih menunjukkan hasil yang beragam, baik dari segi arah hubungan maupun signifikansi pengaruhnya. Selain itu, penelitian yang mengkaji hubungan antarvariabel tersebut umumnya berfokus pada pengaruh langsung, sedangkan kajian yang menggunakan pendekatan *Vector Autoregression* (VAR) untuk menganalisis keterkaitan dinamis antarvariabel masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode VAR dengan data tahunan Indonesia periode 1985–2024 untuk menganalisis hubungan timbal balik antara GDP, FDI, keterbukaan perdagangan, dan emisi CO_2 dalam rentang pengamatan yang panjang. Melalui uji Kausalitas *Granger*, *Impulse Response Function* (IRF), dan *Variance Decomposition*, penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi arah hubungan antarvariabel, tetapi juga menganalisis respons emisi CO_2 terhadap guncangan variabel ekonomi serta kontribusi relatif masing-masing variabel terhadap perubahan emisi CO_2.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu suatu pendekatan penelitian yang bertujuan untuk mengukur serta menganalisis hubungan antarvariabel secara objektif berdasarkan data numerik (Waruwu et al., 2025). Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk menguji hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya melalui analisis statistik yang terukur. Dengan kata lain, penelitian kuantitatif berupaya menjelaskan suatu fenomena melalui penggunaan angka dan model matematis yang dapat diuji secara empiris. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder, Data sekunder adalah sumber data penelitian yang diperoleh secara tidak langsung melalui media perantara (Batubara et al., 2023). Artinya, data ini tidak dikumpulkan langsung oleh peneliti melainkan dari sumber yang telah ada sebelumnya, seperti dokumen, literatur, atau data yang dikumpulkan oleh pihak lain. Dalam hal ini, sumber utama berasal dari publikasi *World Bank*. Jenis data yang digunakan adalah data deret waktu (*time series*) tahunan yang mencakup periode tahun 1985 hingga 2024 dengan objek penelitian yaitu negara Indonesia.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Vector Autoregression* (VAR) dengan menggunakan *software Eviews* 12. Metode *Vector Autoregression* (VAR) dipilih karena memiliki kemampuan yang unggul dalam menggambarkan hubungan dinamis antarvariabel yang saling memengaruhi secara timbal balik (*reciprocal relationship*) (Bilkhist et al., 2026). Model ini sangat relevan digunakan ketika variabel-variabel yang diteliti dianggap memiliki keterkaitan dua arah, sehingga tidak dapat ditetapkan secara kaku mana yang berperan sebagai variabel independen maupun dependen. Dalam sistem VAR, seluruh variabel diperlakukan sebagai variabel endogen, artinya setiap variabel berpotensi dipengaruhi oleh nilai masa lalunya sendiri (*lag*) maupun oleh nilai masa lalu dari variabel lain di dalam sistem. Dengan karakteristik tersebut, model VAR mampu menangkap pola keterkaitan ekonomi yang kompleks dan dinamis, di mana satu variabel dapat menjadi penyebab sekaligus akibat bagi variabel lain pada periode yang berbeda. Model dasar yang digunakan dalam penelitian ini dapat dituliskan sebagai:

$$CO_{2_t} = c + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \, CO_{2_{t-i}} + \sum_{i=1}^{p} \beta_i \, FDI_{t-i} + \sum_{i=1}^{p} \delta_i \, GDP_{t-i} + \sum_{i=1}^{p} \phi_i \, TO_{t-i} + \varepsilon_t$$

(Persamaan 1)

Keterangan:

CO2t	: CO2 pada tahun ke *t*
FDIt	: Nilai FDI pada tahun ke *t*
GDPt	: Nilai GDP pada tahun ke *t*
TOt	: Nilai TO pada tahun ke *t*
c	: Konstanta
p	: Panjang lag optimum/model VAR
α, β, δ, Ø	: Nilai Parameter

i : Indeks Lag

ε_t : Error term

Penelitian ini berfokus pada persamaan CO_2 sebagai salah satu variabel endogen, dengan FDI, GDP, dan TO sebagai variabel endogen lainnya dalam sistem VAR, serta memasukkan nilai lag dari variabel-variabel tersebut sebagai variabel penjelas.

Tabel 1 Operasional Variabel

Variabel	Kode	Kode *Worldbank*	Satuan/Jenis Data	Definisi	Sumber Data
Emisi Karbon Dioksida	CO2	EN.GHG. CO2.MT.CE.AR5	Mt CO2e	Jumlah emisi CO_2 yang dihasilkan suatu negara, tidak termasuk emisi dari penggunaan lahan, perubahan penggunaan lahan, dan kehutanan	*World bank*
Gross Domestic Product	GDP	NY.GDP.MKTP.CD	Cureent US$ (Miliar USD)	Nilai total barang dan jasa yang dihasilkan dalam suatu negara selama periode tertentu.	*World bank*
Foreign Direct Investment	FDI	BX.KLT.DINV.CD.WD	Current US$ (Miliar USD)	Arus masuk bersih investasi asing langsung ke suatu negara dalam bentuk penanaman modal oleh pihak asing, setelah memperhitungkan arus investasi yang keluar.	*World bank*
Trade Openness (Keterbukaan Perdagangan)	TO	NE.TRD.GNFS.ZS	% of GDP	Tingkat keterbukaan perdagangan suatu negara yang menunjukkan aktivitas perdagangan barang dan jasa terhadap ukuran perekonomian negara. Data diukur berdasarkan persentase total ekspor dan impor terhadap GDP.	*World Bank*

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Uji Stationeritas

Uji yang dilakukan untuk melihat apakah data stasioner atau tidak digunakan *Augmented Dickey Fuller*, untuk data yang mengandung akar unit atau belum stasioner pada tahap level, maka akan dilakukan uji lagi pada tahap diferensi pertama (*first difference*). Setiap variabel dapat dikatakan stasioner apabila nilai probabilitas kurang dari alpha 5 persen (Prob > α 0,05) (Novia et al., 2021).

Tabel 2 Uji Stationeritas

Variabel	No Trend	No Trend
	First Difference	*Level*
CO2	0.0000	1.0000
GDP	0.0007	0.9993
FDI	0.0000	0.6288
TO	0.0000	0.0584

Sumber: Hasil Olah Statistik, 2026

Tabel 2 menunjukan bahwa pada tingkat level nilai probabilitas ADF untuk variabel CO2, GDP, FDI, dan TO seluruhnya lebih besar dari 0,05, sehingga belum stasioner, dan dilakukan tahapan diferensi pertama (*first difference*). Hasil uji pada tingkat *first difference* menunjukkan bahwa seluruh variabel telah stasioner. Dari 40 observasi tahunan selama periode 1985–2024, proses diferensiasi pertama mengurangi jumlah observasi menjadi 39 karena satu observasi awal digunakan untuk menghitung perubahan antarperiode.

2. Uji Lag Optimum

Tahap ini merupakan proses penentuan lag terbaik, yang ditetapkan berdasarkan beberapa kriteria informasi, yaitu *Final Prediction Error* (FPE), *Akaike Information Criterion* (AIC), *Schwarz Criterion* (SC), dan *Hannan-Quinn* (HQ) (Gunawan & Suripto, 2023). Tabel 3 menunjukkan bahwa LR, FPE, dan AIC memilih lag 1, sedangkan SC dan HQ memilih lag 0. Lag 1 dipilih berdasarkan mayoritas kriteria dan pemilihan ini juga didukung oleh hasil uji autokorelasi residual menggunakan *VAR Residual Serial Correlation LM Test* dengan probabilitas 0,7863 > 0,05, yang menunjukkan tidak adanya bukti

autokorelasi pada lag 1. Dengan demikian, lag 1 digunakan dalam analisis VAR dengan 38 observasi efektif.

Tabel 3 Uji Lag Optimum.

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-608.6070	NA	2.83e+09	33.11389	33.28805*	33.17529*
1	-590.0489	32.10057*	2.48e+09*	32.97562*	33.84638	33.28260
2	-581.4201	13.05986	3.82e+09	33.37406	34.94144	33.92663

Sumber: Hasil Olah Statistik, (2026)

3. Uji Stabilitas VAR

Untuk memastikan apakah estimasi VAR yang diperoleh telah bersifat stabil, maka dilakukan *VAR condition stability check* melalui pemeriksaan *roots of characteristic polynomial*. Suatu model dinilai stabil apabila seluruh nilai root yang dihasilkan memiliki modulus kurang dari 1 (Setia Murningsih & Purwanto, 2020).

Tabel 4 Uji Stabilitas VAR

Root	Modulus
-0.433343	0.433343
0.080426 – 0.243882i	0.256800
0.080426 + 0.243882i	0.256800
-0.170900	0.170900

Sumber: Hasil Olah Statistik, 2026

Dari tabel dapat diketahui bahwa semua nilai modulus bernilai di bawah 1 dan titik-titik *inverse roots of AR characteristic polynomial* terdapat di dalam lingkaran satuan sehingga sistem VAR dianggap stabil.

4. Uji Kointegrasi

Uji kointegrasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji kointegrasi yang dikembangkan oleh *Johansen*. Uji *Johansen* menggunakan analisis *trace statistic* dan nilai kritis pada tingkat kepercayaan α = 5%. Apabila nilai *trace statistic* lebih besar dari nilai kritis atau nilai probabilitas lebih kecil dari 5%, maka terindikasi adanya kointegrasi.

Tabel 5 Uji Kointegrasi *Johansen Co-Integration test.*

Hypothesized No. of CE(s)	Eigenvalue	Trace Statistic	0.05 Critical Value	Prob.
None	0.409553	39.50369	47.85613	0.2408
At most 1	0.299152	19.48241	29.79707	0.4587
At most 2	0.093869	5.974782	15.49471	0.6985
At most 3	0.056972	2.229069	3.841465	0.1354

Sumber: Hasil Olah Statistik, 2026

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa variabel CO2, FDI, GDP, dan TO tidak terkointegrasi pada *Hypothesized None* sampai *At Most* 3. Hal ini terlihat dari nilai *Trace Statistic* yang lebih kecil daripada *Critical Value* 5%, serta nilai probabilitas yang berada di atas α = 0,05. Oleh karena itu, model yang digunakan adalah VAR pada *first difference.*

5. Uji Kausalitas Granger

Uji Kausalitas Granger digunakan untuk mengidentifikasi arah hubungan kausalitas antarvariabel. Pengujian dilakukan menggunakan pendekatan *Pairwise Granger Causality Test*, yaitu dengan menguji hubungan kausalitas Granger antara dua variabel secara berpasangan.

Tabel 6 Uji Kausalitas Granger

Null Hypothesis	Obs	F-Statistic	Prob.	Hubungan Kausalitas
D(FDI) does not Granger Cause D(CO2)	38	0.32580	0.5718	Tidak terdapat hubungan kausalitas
D(CO2) does not Granger Cause D(FDI)		0.00330	0.9545	antara CO2 dan FDI
D(GDP) does not Granger Cause D(CO2)	38	4.66377	0.0377	Terdapat hubungan satu arah
D(CO2) does not Granger Cause D(GDP)		1.97916	0.1683	antara GDP dan CO2
D(TO) does not Granger Cause D(CO2)	38	0.82695	0.3694	Tidak terdapat hubungan kausalitas
D(CO2) does not Granger Cause D(TO)		0.02987	0.8638	antara TO dan CO2
D(GDP) does not Granger Cause D(FDI)	38	7.62770	0.0091	Terdapat hubungan satu arah
D(FDI) does not Granger Cause D(GDP)		3.95114	0.0547	antara GDP dan FDI
D(TO) does not Granger Cause D(FDI)	38	0.00336	0.9541	Tidak terdapat hubungan kausalitas
D(FDI) does not Granger Cause D(TO)		0.04174	0.8393	antara FDI dan TO

D(TO) does not Granger Cause D(GDP)	38	0.03145	0.8603	Tidak terdapat hubungan kausalitas
D(GDP) does not Granger Cause D(TO)		0.23806	0.6287	antara GDP danTO

Sumber: Hasil Olah Statistik, 2026

Berdasarkan hasil uji Kausalitas Granger pada tingkat *first difference* dengan lag 1, ditemukan hubungan kausalitas satu arah dari GDP terhadap emisi CO_2 dengan nilai probabilitas sebesar 0,0377 < 0,05. Selain itu, terdapat hubungan kausalitas satu arah dari GDP terhadap FDI dengan nilai probabilitas sebesar 0,0091 < 0,05. Temuan tersebut menunjukkan bahwa informasi mengenai perubahan GDP pada periode sebelumnya dapat digunakan untuk membantu memperkirakan perubahan emisi CO_2 dan FDI pada periode berjalan. Sementara itu, hubungan kausalitas Granger pada pasangan variabel lainnya tidak menunjukkan hasil yang signifikan pada tingkat signifikansi 5%, karena seluruh nilai probabilitasnya lebih besar dari 0,05. Dengan demikian, GDP menjadi variabel yang menunjukkan hubungan kausalitas Granger paling menonjol dalam pengujian ini.

7. Uji Variance Decomposition

Tabel 7 Uji *Variance Decomposition*

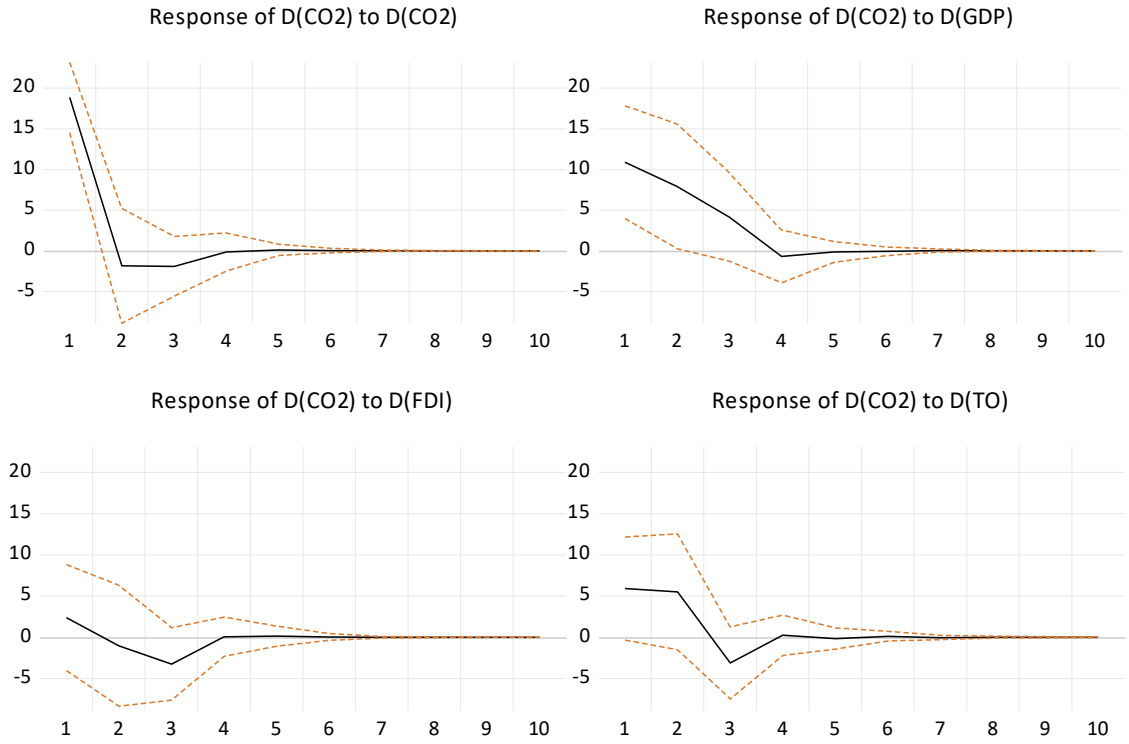
Variance Decomposition of D(CO2):					
Period	S.E	D(CO2)	D(GDP)	D(FDI)	D(TO)
1	22,66610	69.05031	23.06173	1.107230	6.780732
2	24,71610	58.62125	29.61466	1.106137	10.65795
3	25,53381	55.48912	30.38681	2.645341	11.47872
4	25,54473	55.44472	30.43421	2.643510	11.47755
5	25,54615	55.44017	30.43402	2.645900	11.47992
6	25,54653	55.43859	30.43367	2.646005	11.48173
7	25,54658	55.43838	30.43372	2.646001	11.48190
8	25,54659	55.43837	30.43371	2.646001	11.48193
9	25,54659	55.43836	30.43371	2.646001	11.48193
10	25,54659	55.43836	30.43371	2.646001	11.48193

Sumber: Hasil Olah Statistik, 2026

Analisis Variance Decomposition digunakan untuk mengetahui kontribusi relatif guncangan setiap variabel terhadap varians kesalahan peramalan dalam model VAR. Pengujian ini menggunakan dekomposisi Cholesky dengan urutan variabel GDP, FDI, TO, dan CO2. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 7, kontribusi guncangan CO2 terhadap varians kesalahan peramalan perubahan emisi CO2 pada periode pertama mencapai 69,05%, kemudian secara bertahap menurun menjadi 55,44% pada periode ke-10. Sementara itu, kontribusi guncangan GDP meningkat dari 23,06% menjadi 30,43%, sehingga menjadi kontributor terbesar kedua setelah CO_2 itu sendiri. Kontribusi guncangan keterbukaan perdagangan (TO) juga meningkat dari 6,78% menjadi 11,48%, sedangkan FDI menunjukkan kontribusi paling kecil, yaitu dari 1,11% menjadi 2,65%. Hasil ini menunjukkan bahwa varians kesalahan peramalan perubahan emisi CO_2 masih didominasi oleh guncangan dari variabel itu sendiri, meskipun kontribusinya cenderung menurun seiring bertambahnya periode peramalan. Di antara variabel ekonomi yang dianalisis, guncangan GDP memiliki kontribusi relatif terbesar.

8. Uji Impulse Response Function (IRF)

Analisis *Impulse Response Function* (IRF) digunakan untuk mengamati respons dinamis antarvariabel terhadap guncangan sebesar satu standar deviasi selama 10 periode. Analisis ini digunakan untuk memahami bagaimana *shock* pada satu variabel memengaruhi variabel itu sendiri maupun variabel lainnya dalam sistem. Identifikasi guncangan dilakukan menggunakan dekomposisi *Cholesky* dengan penyesuaian derajat kebebasan (*d.f. adjusted*) dan urutan variabel GDP, FDI, TO, serta CO_2 pada tingkat *first difference*. Grafik IRF dilengkapi batas ketidakpastian sebesar ±2 standar error untuk menunjukkan ketidakpastian estimasi respons.



Gambar 2 Hasil Uji IRF

Sumber: Hasil Olah Statistik, 2026

Berdasarkan hasil *Impulse Response Function* (IRF), perubahan emisi CO_2 menunjukkan respons positif yang besar terhadap guncangan dari dirinya sendiri pada periode pertama, kemudian menurun tajam dan mendekati nol pada periode kelima hingga keenam. Respons CO_2 terhadap guncangan FDI relatif kecil dan berfluktuasi dari positif menjadi negatif sebelum mendekati nol. Sementara itu, guncangan GDP menghasilkan respons positif terbesar pada periode awal, kemudian secara bertahap menurun dan mendekati nol sekitar periode keenam. Respons terhadap guncangan keterbukaan perdagangan (TO) juga menunjukkan pola fluktuatif, dengan respons positif pada periode awal yang kemudian berubah negatif sebelum mendekati nol. Secara keseluruhan, respons perubahan emisi CO_2 terhadap berbagai guncangan cenderung mereda setelah beberapa periode.

9. Estimasi VAR First Difference

Estimasi *Vector Autoregression* (VAR) merupakan metode ekonometrika yang digunakan untuk melihat keterkaitan dinamis antar variabel endogen, di mana setiap variabel dijelaskan oleh lag dirinya sendiri serta lag variabel lain di dalam sistem.

Tabel 8 Estimasi VAR *First Difference*

	D(CO2)	D(FDI)	D(GDP)	D(TO)
D(CO2(-1))	-0,097341 (0,18647) [-0,52202]	-0,053575 (0,03564) [-1,50328]	-0,582162 (0,44755) [-1,30077]	-0,008275 (0,07780) [-0,10636]
D(GDP(-1))	0,222330 (0,08587) [2,58912]	0,053856 (0,01641) [3,28153]	0,564179 (0,20610) [2,73738]	0,015414 (0,03583) [0,43024]
D(FDI(-1))	-0,450764 (0,87093) [-0,51757]	-0,512740 (0,16645) [-3,08038]	-3,9611336 (2,09034) [-1,89507]	-0,010442 (0,36337) [-0,02874]
D(TO(-1))	0,707686 (0,40167) [1,76185]	0,081399 (0,07677) [1,06031]	0,420398 (0,96406) [0,43607]	-0,397490 (0,16759) [-2,37184]
C	12,78863 (4,74463) [2,69539]	0,042801 (0,90680) [0,04720]	28,01024 (11,3877) [2,45969]	-0,357326 (1,97957) [-0,18051]

Sumber: Hasil Olah Statistik, 2026

$$\Delta CO2 = 12{,}78863 - 0{,}097341\Delta CO2_{t-1} + 0{,}222330\Delta GDP_{t-1} - 0{,}450764\Delta FDI_{t-1} + 0{,}707686\ \Delta TO_{t-1}$$

(Persamaan 2)

Berdasarkan persamaan hasil estimasi VAR dengan CO2 sebagai variabel dependen, hanya ΔGDP(−1) yang berpengaruh signifikan terhadap ΔCO2 dengan koefisien positif sebesar 0,222330 (t-statistik 2,58912). Artinya, kenaikan perubahan GDP pada periode sebelumnya sebesar satu satuan diikuti peningkatan perubahan emisi CO2 sebesar 0,222330 satuan pada periode saat ini, dengan asumsi variabel lainnya konstan, sehingga peningkatan GDP periode sebelumnya mendorong kenaikan emisi CO2. Sementara itu, ΔCO2(−1), ΔFDI(−1), dan ΔTO(−1) tidak berpengaruh signifikan karena nilai mutlak t-statistiknya lebih kecil dari 1,96. Dengan demikian, dalam jangka pendek perubahan emisi CO2 hanya dipengaruhi oleh GDP.

B. Pembahasan

1. Pembahasan Kausalitas Granger

Berdasarkan hasil uji Kausalitas Granger, diketahui bahwa GDP memiliki hubungan kausalitas satu arah terhadap CO_2. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Dissanayake et al. (2023) yang menemukan adanya hubungan kausalitas antara GDP dan CO_2. Peningkatan GDP mencerminkan meningkatnya aktivitas ekonomi, seperti kegiatan produksi, industri, dan transportasi, yang dapat mendorong penggunaan energi. Apabila kebutuhan energi tersebut masih bergantung pada bahan bakar fosil, peningkatan aktivitas ekonomi berpotensi meningkatkan emisi karbon dioksida. Dengan demikian, Peningkatan aktivitas ekonomi yang diukur oleh GDP dapat menjadi salah satu faktor yang mendorong peningkatan emisi CO_2, terutama ketika aktivitas ekonomi masih bergantung pada penggunaan energi berbasis fosil.

Selain itu, Hubungan satu arah juga ditemukan antara GDP terhadap FDI. Berdasarkan hasil uji Kausalitas Granger, diketahui bahwa GDP memiliki hubungan kausalitas satu arah terhadap FDI. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sarker & Khan (2020), yang menemukan hubungan kausalitas satu arah dari GDP terhadap FDI di Bangladesh. Hasil serupa juga ditemukan oleh Tanaya & Suyanto (2022), yang menunjukkan bahwa GDP memiliki hubungan kausalitas satu arah terhadap FDI di Indonesia. Pertumbuhan ekonomi yang tercermin dari peningkatan GDP dapat menunjukkan perkembangan aktivitas ekonomi dan potensi pasar suatu negara. Kondisi tersebut dapat menjadi pertimbangan bagi investor asing dalam menentukan lokasi investasi karena pasar yang berkembang berpotensi memberikan peluang keuntungan yang lebih besar.

2. Pembahasan IRF

a) CO_2 to CO_2

Hasil IRF menunjukkan bahwa perubahan emisi karbon dioksida (CO_2) memberikan respons positif yang cukup besar terhadap guncangan dari dirinya sendiri pada periode pertama. Respons tersebut kemudian menurun tajam hingga mencapai nilai negatif pada periode kedua dan ketiga, sebelum secara bertahap mendekati nol pada periode kelima hingga keenam. Pola ini menunjukkan adanya penyesuaian dinamis setelah guncangan awal, sehingga respons perubahan emisi CO_2 cenderung bersifat sementara dan semakin melemah seiring berjalannya waktu. Namun, batas ketidakpastian sebesar ±2 standar error menunjukkan bahwa respons pada periode ketika rentangnya mencakup nilai nol perlu diinterpretasikan secara hati-hati.

b) CO2 to GDP

Hasil IRF menunjukkan bahwa guncangan GDP menghasilkan respons positif pada perubahan emisi CO_2 dengan nilai tertinggi pada periode pertama. Respons tersebut kemudian mengalami penurunan secara bertahap hingga mendekati nol sekitar periode kelima hingga keenam. Respons positif tersebut secara teoritis dapat berkaitan dengan meningkatnya aktivitas ekonomi yang mendorong kegiatan produksi dan kebutuhan energi, sehingga berpotensi meningkatkan emisi CO_2. Peningkatan penggunaan energi, khususnya energi fosil, berpotensi mendorong kenaikan emisi CO_2 apabila struktur energi masih dominan berbasis karbon (Rahmayani, 2021). Meskipun demikian, respons tersebut tidak berlangsung secara terus-menerus karena semakin melemah pada periode berikutnya. Selain itu, respons yang dihasilkan belum dapat disimpulkan signifikan secara statistik apabila rentang ketidakpastiannya masih mencakup nilai nol.

c) CO2 to FDI

Hasil IRF menunjukkan bahwa perubahan emisi karbon dioksida (CO_2) memberikan respons positif yang relatif kecil terhadap guncangan FDI pada periode pertama. Respons tersebut kemudian menurun dan mencapai nilai negatif terendah pada periode ketiga, sebelum secara bertahap mendekati nol pada periode kelima hingga keenam. Pola ini menunjukkan bahwa respons perubahan emisi CO_2 terhadap guncangan FDI cenderung berfluktuasi dan melemah seiring berjalannya waktu. FDI dapat berkaitan dengan peningkatan emisi melalui perluasan aktivitas produksi dan penggunaan energi, khususnya ketika investasi mengarah pada sektor padat karbon. Namun, FDI juga berpotensi mendukung penurunan emisi melalui transfer teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan (Puspitasari & Widawati, 2025). Meskipun demikian, batas ketidakpastian yang mencakup nilai nol menunjukkan bahwa arah respons terhadap guncangan FDI belum dapat disimpulkan signifikan secara statistik.

d) CO2 to TO

Hasil IRF menunjukkan bahwa perubahan emisi karbon dioksida (CO_2) memberikan respons positif terhadap guncangan keterbukaan perdagangan pada periode pertama dan kedua. Respons tersebut kemudian menurun tajam hingga mencapai nilai negatif terendah pada periode ketiga, sebelum kembali meningkat dan secara bertahap mendekati nol pada periode kelima hingga keenam. Pola ini menunjukkan bahwa respons perubahan emisi CO_2 terhadap guncangan keterbukaan perdagangan cenderung berfluktuasi dan mereda setelah beberapa periode. Peningkatan keterbukaan perdagangan dapat berkaitan dengan perluasan aktivitas produksi dan perdagangan yang berpotensi meningkatkan penggunaan energi serta emisi CO_2 melalui *scale effect*. Di sisi lain, keterbukaan perdagangan juga dapat mendorong akses terhadap teknologi dan proses produksi yang lebih efisien melalui *technique effect*, sehingga berpotensi menurunkan emisi (Puspita & Hartono, 2021). Namun, rentang ketidakpastian yang mencakup nilai nol menunjukkan bahwa respons perubahan emisi CO_2 terhadap guncangan keterbukaan perdagangan tidak signifikan secara statistik pada periode tersebut.

3. Pembahasan Variace Decompisition

Hasil *Variance Decomposition* menunjukkan bahwa dalam jangka panjang, perubahan CO_2 masih sebagian besar berasal dari variasi CO_2 itu sendiri. Pada periode pertama, kontribusinya mencapai 69,05% dan kemudian berkurang secara bertahap hingga sekitar 55,44% pada periode ke-10. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa dalam periode yang lebih panjang, perubahan CO_2 mulai turut dipengaruhi oleh guncangan dari variabel lain dalam sistem. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi emisi pada periode sebelumnya masih memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap perubahan emisi pada periode berikutnya.

GDP memberikan kontribusi terbesar di antara variabel lainnya, yaitu meningkat dari 23,06% pada periode pertama menjadi 30,43% pada periode ke-10. Kondisi ini menunjukkan peningkatan kegiatan produksi dan konsumsi dapat mendorong kebutuhan energi yang lebih tinggi. Apabila kebutuhan tersebut masih dipenuhi melalui penggunaan energi berbasis fosil, peningkatan aktivitas ekonomi dapat diikuti oleh bertambahnya emisi CO_2. Perkembangan aktivitas ekonomi dan industrialisasi berkaitan dengan peningkatan emisi CO_2 melalui kegiatan produksi dan penggunaan energi (Adrian, 2023).

Sementara itu, kontribusi *trade openness* meningkat dari 6,78% menjadi 11,48%, sedangkan FDI hanya meningkat dari 1,11% menjadi 2,65%. Hal ini menunjukkan bahwa *trade openness* memberikan kontribusi yang lebih besar dibandingkan FDI dalam menjelaskan variasi CO_2. Secara keseluruhan, hasil tersebut menunjukkan adanya keterkaitan antara aktivitas ekonomi, perdagangan, investasi, dan perubahan emisi CO_2 di Indonesia.

4. Pembahasan Estimasi VAR

a) FDI terhadap CO2

Berdasarkan hasil penelitian, FDI memiliki arah hubungan negatif namun pengaruhnya tidak signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO_2) di Indonesia. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan FDI cenderung diikuti oleh penurunan emisi CO_2, tetapi pengaruhnya belum cukup kuat secara statistik. Kondisi ini mengindikasikan bahwa masuknya investasi asing tidak selalu meningkatkan aktivitas ekonomi yang menghasilkan emisi, karena investasi asing dapat membawa teknologi yang lebih efisien dan relatif ramah lingkungan. Hasil penelitian ini sejalan dengan Zuldareva et al., (2021) yang menemukan bahwa *Direct Investment* berpengaruh negatif

namun tidak signifikan terhadap emisi CO_2 di Indonesia. Temuan tersebut menunjukkan bahwa investasi langsung berpotensi memberikan efek terhadap penurunan emisi, meskipun pengaruhnya belum signifikan secara statistik.

b) GDP terhadap CO2

Berdasarkan hasil penelitian, GDP berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO_2). Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi yang tercermin dari meningkatnya GDP cenderung diikuti oleh peningkatan emisi CO_2. Peningkatan aktivitas ekonomi mendorong peningkatan aktivitas produksi, industri, konsumsi energi, dan penggunaan bahan bakar yang pada akhirnya meningkatkan jumlah emisi yang dihasilkan. Hasil ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Karimi et al., (2022) yang menemukan bahwa GDP berpengaruh signifikan terhadap emisi CO_2 di Indonesia dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pertumbuhan ekonomi di Indonesia masih berkaitan dengan peningkatan tekanan terhadap lingkungan melalui meningkatnya emisi CO_2.

c) TO terhadap CO2

Berdasarkan hasil penelitian, *Trade Openness* atau keterbukaan perdagangan memiliki arah hubungan positif namun tidak signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO_2). Artinya peningkatan keterbukaan perdagangan cenderung diikuti oleh peningkatan emisi CO_2, meskipun pengaruhnya belum cukup kuat secara statistik. Keterbukaan perdagangan dapat mendorong peningkatan aktivitas produksi, perdagangan, transportasi, dan penggunaan energi yang berpotensi meningkatkan emisi karbon. Penelitian yang dilakukan oleh Papahan et al., (2025) juga menemukan bahwa *Trade Openness* berpengaruh positif namun tidak signifikan terhadap emisi CO_2 pada negara-negara ASEAN selama periode 2015–2024. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan keterbukaan perdagangan di negara-negara ASEAN cenderung meningkatkan emisi CO_2, tetapi pengaruhnya belum signifikan secara statistik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, estimasi VAR pada tingkat *first difference* menunjukkan bahwa koefisien perubahan GDP pada satu periode sebelumnya bertanda positif dan signifikan secara statistik dalam persamaan perubahan emisi CO_2 pada periode berjalan. Sementara itu, koefisien perubahan FDI dan keterbukaan perdagangan (TO) masing-masing bertanda negatif dan positif, tetapi keduanya tidak signifikan secara statistik pada taraf pengujian yang digunakan. Hasil uji Kausalitas Granger menunjukkan adanya hubungan satu arah dari GDP terhadap CO_2 serta dari GDP terhadap FDI. Hasil *Impulse Response Function* (IRF) memperlihatkan bahwa respons perubahan emisi CO_2 terhadap guncangan variabel dalam model cenderung berfluktuasi dan melemah setelah beberapa periode.

Sementara itu, hasil *Variance Decomposition* menunjukkan bahwa pada periode ke-10, variasi perubahan emisi CO_2 terutama dijelaskan oleh guncangan CO_2 itu sendiri, dengan GDP memberikan kontribusi terbesar di antara variabel ekonomi yang diteliti. Namun, temuan Granger, IRF, dan *Variance Decomposition* menggambarkan keterkaitan dinamis dalam model dan tidak dengan sendirinya membuktikan hubungan sebab-akibat secara struktural maupun dampak kebijakan. Selain itu, hasil uji kointegrasi Johansen tidak menunjukkan adanya kointegrasi antarvariabel, sehingga penelitian ini tidak menyimpulkan adanya keseimbangan jangka panjang. Implikasi penelitian ini adalah bahwa pembangunan ekonomi Indonesia perlu disertai perhatian terhadap pengendalian emisi CO_2, antara lain melalui peningkatan efisiensi energi dan penggunaan teknologi yang lebih ramah lingkungan. Meskipun demikian, efektivitas kebijakan tersebut belum dapat dipastikan hanya berdasarkan hasil penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

A'yun, I. Q., & Khasanah, U. (2022). The Impact of Economic Growth and Trade Openness on Environmental Degradation: Evidence from A Panel of ASEAN Countries. *Jurnal Ekonomi & Studi Pembangunan*, *23*(1), 81–92.

Adrian, M. A. (2023). Analisis pengaruh aktivitas ekonomi terhadap peningkatan emisi karbon: Studi empiris empat negara ASEAN. *Jurnal Ekonomi Indonesia*, *12*(2), 187–202.

Amalina, I. S. N., Wahyudi, H., & Ciptawaty, U. (2023). Pengaruh GDP Per Kapita, dan Konsumsi Energi Terhadap Emisi CO2 di Indonesia. *Journal on Education*, *6*(1), 6508–6517.

Batubara, R. F., Rahmawati, S., & Hanum, S. (2023). Analisis Pengaruh Inflasi, Investasi, Dan

Pengangguran Terhadap Kemiskinan Di Sumatera Utara Tahun 2001-2020. *Jurnal Mutiara Ilmu Akuntansi*, *1*(2), 310–326.

Bilkhist, S. E., Aulia, H., Mawarni, V. A., Ramadhani, R. A., & Huda, A. M. (2026). Analisis Hubungan Dinamis Kurs, IHSG, Dan Sukuk Di Indonesia Menggunakan Model VAR Periode 2021–2024. *Jurnal Ekonomi Bisnis, Manajemen Dan Akuntansi*, *5*(2), 463–484.

Dissanayake, H., Perera, N., Abeykoon, S., Samson, D., Jayathilaka, R., Id, M. J., & Yapa, S. (2023). Nexus between carbon emissions , energy consumption , and economic growth : Evidence from global economies. *PLOS ONE*, *18*(6), 1–27. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287579

Gunawan, R., & Suripto, S. (2023). Determinan Impor Migas di Indonesia: Pendekatan VAR. *Journal of Macroeconomics and Social Development*, *Vol. 1 No. 1 (2023): September*, 1–13. https://economics.pubmedia.id/index.php/jmsd/article/view/16/15

Herianto, Tenri Lala, A. A. T. L., & Nurpasila. (2025). Pengaruh Green Fiance, Pertumbuhan Ekonomi dan Keterbukaan Perdagangan Terhadap Emisi CO2 Bukti dari Negara Anggota OKI: The Effect of Green Fiance, Economic Growth and Trade Openness on CO2 Emissions Evidence from OIC Member Countries. *Balanca : Jurnal Ekonomi Dan Bisnis Islam*, *6*(2 SE-Articles), 114–126. https://doi.org/10.35905/balanca.v6i2.7895

Karimi, K., Putri, F. Z., Hamdi, M., Bakaruddin, B., & Rahayu, N. I. (2022). Analisis Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Jumlah Industri, Penanaman Modal Asing Dan Kemiskinan Terhadap Emisi Co2 Di Indonesia. *Jurnal Akuntansi Dan Ekonomika*, *12*(2 SE-Articles), 221–228. https://doi.org/10.37859/jae.v12i2.4302

Novia, A., Zuliansyah, A., & Nurmalia, G. (2021). Integrasi indeks harga saham syariah Indonesia pada pasar modal syariah di India, Japan, Malaysia, China menggunakan metode Vector Error Correction Model (VECM). *Al-Mashrof: Islamic Banking and Finance*, *2*(1), 36–55.

Papahan, I., Zulaikah, & Selvina, M. (2025). Analisis PENGARUH KONSUMSI ENERGI, JUMLAH POPULASI, TRADE OPENNESS TERHADAP EMISI KARBON (Co2) DI NEGARA ASEAN DALAM PERSPEKTIF EKONOMI ISLAM (ANALISIS DATA PANEL TAHUN 2015 – 2024): Konsumsi Energi, Jumlah Populasi, Trade Openness dan Emisi Karbon (Co2). *Lan Tabur: JURNAL EKONOMI SYARIAH*, *7*(1 SE-Articles), 12–27. https://doi.org/10.53515/lt.v7i1.116

Puspita, N., & Hartono, D. (2021). Keterbukaan perdagangan dan emisi CO2: Studi empiris tingkat provinsi di Indonesia. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, *9*(3), 272–292.

Puspitasari, S. A., & Widawati, A. S. (2025). ECONOMIC TRANSFORMATION AND ENERGY CONSUMPTION TO REDUCE CARBON EMISSIONS TOWARDS INDONESIA'S SDGS. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Bisnis*, *30*(3), 581–602.

Rahmayani, D. (2021). Analisis kausalitas pariwisata, konsumsi energi fosil, pertumbuhan ekonomi dan emisi CO2 di Indonesia. *Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan*, *4*(2), 124–139.

Sarker, B., & Khan, F. (2020). Nexus between foreign direct investment and economic growth in Bangladesh : an augmented autoregressive distributed lag bounds testing approach. *Financial Innovation*, *6*(0).

Setia Murningsih, M. F., & Purwanto, B. (2020). Factors influencing Indonesian rural banks' credit disbursement. *Jurnal Keuangan Dan Perbankan*, *24*(2), 189–201.

Silaban, A., Sesilia, T., & Johan, S. (2026). Identifikasi Kadar Karbondioksida Sebagai Indikator Pemanasan Global Berdasarkan Data Global Atmosphere Watch (GAW) Bukit Kototabang. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, *14*(01).

Suhartoko, Y. B., & Ekaristi, M. G. D. (2023). The Impact of Economic Growth, Foreign Direct Investment, Population, and Energy Consumption on Carbon Dioxide Emissions in Six ASEAN Countries During the Period 2000-2021. *Society*, *11*(2 SE-Research Articles), 771–786. https://doi.org/10.33019/society.v11i2.557

Sumiyati, T. (2025). Revisiting The Impact of Trade Openness and FDI on CO2 Emissions: Evidence from ASEAN-China FTA Countries. *Cendekia Niaga*, *9*(2), 131–139.

Tanaya, O., & Suyanto, S. (2022). The Causal Nexus Between Foreign Direct Investment and Economic Growth in Indonesia : An Autoregressive Distributed Lag Bounds Testing Approach. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, *30*(1), 57–69.

Vitianingsih, A. V., Ramadhan, R. A., Maukar, A. L., Puspitarini, E. W., & Susilo, Y. (2021). Analisa Spasial Menggunakan Sistem Informasi Geografis untuk Identifikasi Penyerapan Ruang Terbuka Hijau Terhadap Emisi Karbondioksida. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika:*

JANAPATI, *10*(2 SE-Articles), 91–99. https://doi.org/10.23887/janapati.v10i2.30007

Wahyudi, D., & Chaidir, T. (2026). The Impact of Macroeconomic Complexity on Environmental Pollution in Indonesia (1989-2024): An Empirical Study Using the Autoregressive Distributed Lag Approach. *Al-Kharaj: Journal of Islamic Economic and Business*, *8*(2 SE-Articles). https://doi.org/10.24256/kharaj.v8i2.10732

Waruwu, M., Puat, S. N., Utami, P. R., Yanti, E., & Rusydiana, M. (2025). Metode penelitian kuantitatif: Konsep, jenis, tahapan dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, *10*(1), 917–932.

Widyawati, R. F., Hariani, E., Ginting, A. L., & Nainggolan, E. (2021). Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Populasi Penduduk Kota, Keterbukaan Perdagangan Internasional Terhadap Emisi Gas Karbon Dioksida (CO2) Di Negara ASEAN. *Jambura Agribusiness Journal*, *3*(1), 37–47.

Winda, B. S., & Falianty, T. A. (2023). Pengaruh Foreign Direct Investment Terhadap Emisi Gas CO2 di Negara G20. *Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan Dan Kemasyarakatan*, *17*(3), 1989–2002.

World Bank A4 - EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research) Community GHG Database European Commission A4 - International Energy Agency (IEA), J. R. C. (2024). Carbon dioxide (CO2) emissions (total) excluding LULUCF (Mt CO2e). In *World Bank Open Data*. World Bank Group. https://data.worldbank.org/indicator/EN.GHG.CO2.MT.CE.AR5

Worldometer. (2022). *Emisi CO2 per Negara*. Worldometer. https://www.worldometers.info/id/emisi-co2/emisi-co2-berdasarkan-negara/

Zuldareva, F., Iswanoor, & Muljaningsih, S. (2021). The Effect of Electricity Consumption, Economic Growth Towards CO2 Emissions in Indonesia According to the Environment Kuznet Curve Hypothesis: Path Analysis and Empirical Study. *International Journal of Business, Economics and Law*, *25*(1), 189–201.