

Analisis EKC: Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, FDI, Keterbukaan Perdagangan Terhadap Emisi CO2 ASEAN-7

Nadira Fitri Arifiyah

S1 Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia
Email: nadirafitri.22034@mhs.unesa.ac.id

Mohammad Wasil

S1 Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia
Email: mohammadwasil@unesa.ac.id

Abstrak

Perubahan iklim yang dipicu emisi karbon telah menjadi tantangan global yang mendesak, khususnya bagi negara berkembang dengan pertumbuhan ekonomi pesat seperti di ASEAN, di mana pembangunan masih bertumpu pada sumber energi fosil. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, investasi asing langsung (FDI), dan keterbukaan perdagangan terhadap tingkat emisi CO2 di tujuh negara ASEAN pada periode 2018–2023. Menggunakan pendekatan kuantitatif eksplanatori dengan analisis data panel, penelitian ini menguji hipotesis Environmental Kuznets Curve. Hasil penelitian mengonfirmasi keberadaan pola EKC berbentuk U terbalik, di mana pertumbuhan ekonomi berpengaruh positif dan kuadratnya berpengaruh negatif terhadap emisi, dengan titik balik (turning point) pada PDB per kapita sekitar USD 30.300. Keterbukaan perdagangan juga berdampak positif signifikan, mencerminkan dominasi efek skala dan komposisi dari aktivitas perdagangan. Sementara itu, FDI tidak menunjukkan pengaruh signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa sebagian besar negara ASEAN masih berada pada fase awal (ascending slope) kurva EKC, di mana pertumbuhan ekonomi masih bergantung pada energi fosil dan belum terjadi decoupling yang stabil antara pertumbuhan dan emisi.

Kata Kunci: Emisi CO2, Environmental Kuznets Curve, Foreign Direct Investment, Keterbukaan Perdagangan, ASEAN.

JEL: Q5, O4

Abstract

Climate change triggered by carbon emissions has become an urgent global challenge, especially for developing countries with rapid economic growth such as those in ASEAN, where development still relies on fossil fuels. This study aims to analyze the effect of economic growth, foreign direct investment (FDI), and trade openness on CO2 emission levels in seven ASEAN countries during the period 2018–2023. Using an explanatory quantitative approach with panel data analysis, this study tests the Environmental Kuznets Curve hypothesis. The results confirm the existence of an inverted U-shaped EKC pattern, where economic growth has a positive effect and its square has a negative effect on emissions, with a turning point at a GDP per capita of around USD 30,300. Trade openness also has a significant positive impact, reflecting the dominance of scale and composition effects from trade activities. Meanwhile, FDI does not show a significant effect. These findings indicate that most ASEAN countries are still in the early phase (ascending slope) of the EKC curve, where economic growth still depends on fossil fuels and there has not been a stable decoupling between growth and emissions.

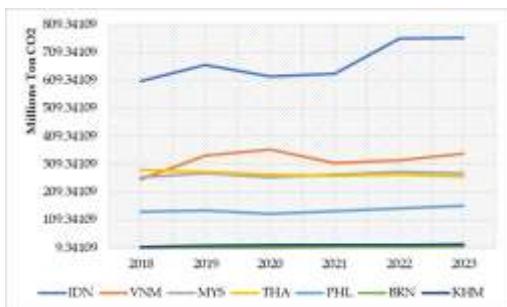
PENDAHULUAN

How to cite: Arifiyah, N. F. & Wasil, M. (2025). Analisis EKC: Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, FDI, Keterbukaan Perdagangan terhadap Emisi CO2 ASEAN-7. *INDEPENDENT : Journal Of Economics*, 5(3), 184–204.

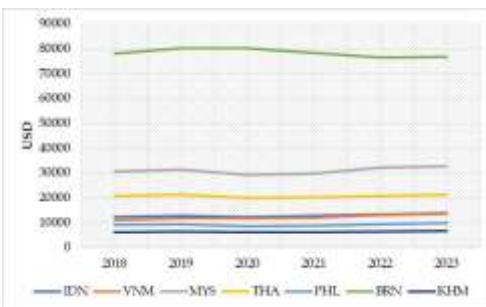
Perubahan iklim menjadi tantangan global untuk saat ini. Dalam beberapa tahun terakhir upaya mitigasi perubahan iklim telah menjadi tindakan krusial yang harus dilakukan (Amir & Afzal, 2025). Sebagian besar negara menghadapi ancaman dari dampak perubahan iklim yang disebabkan oleh aktivitas manusia, baik masa kini maupun di masa mendatang. Dampak langsung ditunjukkan melalui kenaikan permukaan laut, meningkatnya frekuensi peristiwa cuaca ekstrem seperti kekeringan dan banjir, serta gangguan pada ekosistem (Guliyev & Seyfullayev, 2025). Laporan terbaru *World Meteorological Organization*, konsentrasi gas rumah kaca dunia terus meningkat signifikan, dengan CO₂ naik 150%, CH₄ 264%, dan N₂O 124% dari tingkat pra-industri (1750). Tahun 2023 tercatat sebagai tahun terpanas dalam sejarah dengan suhu global mencapai $1,45 \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ di atas tingkat pra-industri. Menunjukkan betapa dekatnya dunia dengan ambang batas kritis $1,5^{\circ}\text{C}$ yang disepakati dalam *Paris Agreement*. Kandungan panas laut mencapai level tertinggi dalam 65 tahun pengamatan. Selain itu laut yang menyerap seperempat emisi CO₂ mengalami pengasaman yang belum pernah terjadi sebelumnya dalam 26.000 tahun, mengancam ekosistem dan ketahanan pangan. Sementara itu, luas es laut Antartika pada tahun 2023 juga memecahkan rekor terendah, dengan luas sekitar 1 juta km² di bawah rekor rendah sebelumnya yang tercatat pada 1986 (WMO, 2024). Paparan emisi karbon ke atmosfer memicu perubahan iklim yang membawa dampak negatif bagi lingkungan maupun manusia. Efek tersebut tidak hanya merusak ekosistem, tetapi juga berpotensi memengaruhi stabilitas ekonomi di suatu wilayah.

Degradasi lingkungan menjadi isu penting dalam upaya pembangunan berkelanjutan karena berpotensi menghambat pertumbuhan ekonomi serta mengurangi kesejahteraan masyarakat (Sari et al., 2023). Namun, dalam kenyataannya, degradasi lingkungan justru berhubungan positif dengan pertumbuhan ekonomi. Hal ini terjadi karena upaya dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, pemerintah meningkatkan produktivitas untuk menghasilkan output tambahan. Tingkat produktivitas yang tinggi berpotensi membawa dampak buruk bagi lingkungan (Suhartoko & Ekaristi, 2023). Aktivitas tersebut menyebabkan peningkatan penggunaan energi, yang secara signifikan berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca yang berhubungan dengan kenaikan suhu (Lu et al., 2024).

Emisi gas rumah kaca terdiri dari beberapa jenis, antara lain Karbon Dioksida (CO₂), Metana (CH₄), Nitrous Oksida (N₂O), Hidrofluorokarbon (HFC), dan Sulfur Heksfluorida (SF₆) (Lin et al., 2023). Di antara semua gas rumah kaca tersebut, CO₂ memiliki peran paling dominan dalam meningkatkan pemanasan global, yaitu menyumbang sekitar 75% dari total emisi (Hariani et al., 2022). Emisi karbon merupakan proses pelepasan karbon ke atmosfer dalam wilayah serta periode waktu tertentu. Emisi karbon inilah yang menjadi faktor yang memicu terjadinya pemanasan global (OECD, 2019). Pelepasan gas-gas ini ke udara menimbulkan dampak serius terhadap lingkungan (Hamid & Wibowo, 2023). Paparan emisi karbon ke atmosfer memicu perubahan iklim yang membawa dampak negatif bagi lingkungan maupun manusia. Efek tersebut tidak hanya merusak ekosistem, tetapi juga berpotensi memengaruhi stabilitas ekonomi di suatu wilayah.



Gambar 1. Emisi Karbon ASEAN (Juta Ton)



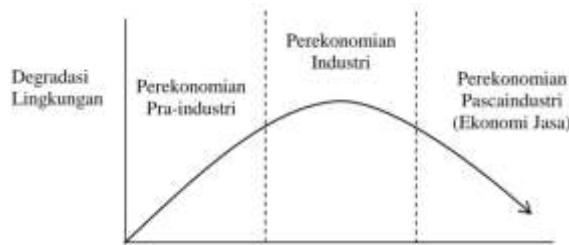
Gambar 2. PDB per kapita ASEAN (international-\$)

Data emisi CO₂ dan PDB per kapita ketujuh negara ASEAN periode 2018–2023 mengungkap hubungan yang erat antara pertumbuhan ekonomi dan tekanan lingkungan, di mana peningkatan pendapatan per kapita cenderung diiringi oleh kenaikan emisi karbon. Indonesia tetap menjadi penghasil emisi terbesar dengan peningkatan dari 607,38 juta ton menjadi 762,36 juta ton, sementara Brunei mencatat PDB per kapita tertinggi di kisaran USD 76.000–80.000 meski emisinya relatif kecil. Vietnam, dengan pertumbuhan ekonomi pesat mencapai USD 13.546 pada 2023, juga menunjukkan kenaikan emisi signifikan dari 255,47 juta ton menjadi 347,40 juta ton, mencerminkan pola serupa di Malaysia, Thailand, Filipina, dan Kamboja yang secara agregat mendorong total emisi kawasan dari 1,56 miliar ton menjadi 1,85 miliar ton. Fenomena ini mengonfirmasi bahwa sebagian besar negara ASEAN masih berada pada fase ascending slope kurva EKC, di mana pertumbuhan ekonomi belum terlepas dari ketergantungan pada energi berbasis fosil, sehingga kemajuan ekonomi yang tercermin dari peningkatan PDB per kapita tidak hanya menjadi indikator keberhasilan pembangunan, tetapi juga penjelas atas peningkatan beban lingkungan yang mengancam keberlanjutan kawasan.

Upaya mitigasi perubahan iklim global telah melahirkan dua perjanjian penting. Protokol Kyoto disepakati pada tahun 1997 dan mulai berlaku pada tahun 2005, mewajibkan negara maju (Annex I) menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 5% (2008–2012) dan 18% (2013–2020) di bawah tingkat emisi 1990, sementara negara berkembang tidak memiliki target mengikat. Kondisi ini dinilai tidak lagi memadai dalam menghadapi laju peningkatan emisi global yang signifikan dari negara-negara berkembang. Sebagai respons, *Paris Agreement* pada tahun 2015 membentuk kerangka kerja baru dengan menetapkan kewajiban semua negara, baik maju maupun berkembang, untuk turut berkontribusi menurunkan emisi melalui *Nationally Determined Contributions* (NDC). Lebih dari 100 negara telah menyatakan komitmen untuk mencapai target nol emisi karbon bersih pada tahun 2030.

Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan memburuknya kondisi lingkungan sering dijelaskan menggunakan hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC), yang menunjukkan pola berbentuk U terbalik. Pada fase awal pembangunan, peningkatan pendapatan justru meningkatkan tekanan lingkungan akibat eksloitasi sumber daya dan industrialisasi. Namun, setelah mencapai *turning point*, kerusakan lingkungan cenderung menurun seiring kesadaran dan kebijakan hijau yang diterapkan (Alfian et al., 2023). Dengan demikian, dalam tahap awal pertumbuhan ekonomi yang pesat, kebutuhan sumber daya meningkat dan pada akhirnya memicu

kenaikan emisi karbon (Hameed et al., 2024). Pola ini berkembang melalui tiga tahap utama: ekonomi pra-industri, ekonomi industri, dan ekonomi pascaindustri (berbasis jasa) (Panaiotov, 1993).



Sumber: Panaiotov (1993)

Gambar 3. Kurva EKC

Pertumbuhan ekonomi yang pesat di ASEAN masih diiringi dengan konsumsi energi fosil. Berdasarkan laporan *International Energy Agency*, pada tahun 2019 sekitar 75% dari total pasokan energi di kawasan ASEAN masih berasal dari bahan bakar fosil, di mana mayoritas negara di kawasan ini bergantung pada batu bara, minyak, dan gas sebagai sumber energi utamanya. Penggunaan bahan bakar fosil menunjukkan ekonomi yang berkembang pesat dan terbuka (Adeleye et al., 2021). Negara berkembang pada umumnya menitikberatkan pada peningkatan pertumbuhan ekonomi guna memperbaiki taraf hidup penduduknya, dimana peningkatan produksi turut memacu lonjakan konsumsi energi (Kumari et al., 2025). Dengan meningkatnya ancaman dari emisi karbon, banyak negara berkembang menghadapi tantangan besar untuk menurunkan emisi sekaligus mempertahankan pertumbuhan ekonomi yang stabil serta menjaga ketersediaan energi (Adeleye et al., 2023).

Investasi asing langsung (FDI) dan keterbukaan perdagangan merupakan faktor penting yang mendorong pertumbuhan ekonomi, khususnya di negara berkembang yang menghadapi keterbatasan modal domestik dalam mendukung aktivitas produksi (Abdullahi et al., 2023; Banday et al., 2021). Di satu sisi investasi asing dapat memberikan dampak positif berupa transfer teknologi dan peningkatan efisiensi dan output produksi. Namun di sisi lain, lemahnya regulasi lingkungan di negara penerima membuat industri dengan tingkat polusi dan konsumsi energi tinggi pindah dari negara lain melalui FDI yang pada akhirnya meningkatkan emisi karbon (Apergis et al., 2023). Hal ini biasanya dikaitkan dengan *pollution haven hypothesis*, keterbatasan kapasitas kelembagaan dan lemahnya tata kelola lingkungan di negara berkembang berpotensi memperparah fenomena ini.

Dalam kerangka *pollution haven hypothesis*, pengaruh FDI dan keterbukaan perdagangan terhadap kualitas lingkungan dapat dijelaskan melalui tiga mekanisme utama, yaitu efek skala, efek komposisi, dan efek teknik (Espoir & Oyadeyi, 2025). Efek skala terjadi ketika masuknya FDI mendorong pertumbuhan ekonomi dan penggunaan energi yang semakin besar, sehingga pada akhirnya menyebabkan peningkatan polusi terhadap lingkungan (Ren et al., 2024). Efek komposisi terjadi ketika arus FDI terkonsentrasi pada sektor-sektor yang padat polusi, sehingga kontribusinya terhadap degradasi lingkungan menjadi semakin besar. Efek teknik muncul dari penerapan teknologi produksi serta praktik manajemen yang dibawa melalui FDI, yang dapat mencakup penggunaan teknologi dan sistem pengelolaan yang lebih efisien serta ramah lingkungan (Hu et al., 2019).

Keterbukaan perdagangan, yang diukur melalui perbandingan total nilai ekspor dan impor terhadap PDB, digunakan untuk mengukur tingkat keterbukaan serta kinerja perdagangan suatu negara (Damayanti & Cahyono, 2025). Perluasan perekonomian melalui industrialisasi umumnya mendorong peningkatan emisi karbon sejalan dengan perdagangan terbuka (Shen et al., 2022). Sebaliknya, jika pertumbuhan ekonomi lebih banyak digerakkan oleh kemajuan teknologi yang lebih bersih dapat menurunkan emisi karbon (Raihan et al., 2022). Melalui perdagangan suatu negara dapat menjalin hubungan internasional, negara berkembang dapat memanfaatkan transfer teknologi melalui investasi asing untuk menekan pencemaran lingkungan (Pham & Nguyen, 2024). Dengan demikian, keterbukaan perdagangan dan investasi asing langsung dapat memberikan dampak ganda terhadap kualitas lingkungan, baik positif maupun negatif.

Sejumlah penelitian telah dilakukan mengenai pengaruh pertumbuhan ekonomi, investasi asing langsung (FDI), keterbukaan perdagangan terhadap emisi karbon, khususnya melalui kerangka hipotesis EKC. Temuan oleh Bousnina et al. (2025), adanya hubungan berbentuk U terbalik, dimana pada tahap awal pertumbuhan ekonomi di negara maju masih ditopang oleh industri padat energi sehingga memicu emisi karbon. Jun et al. (2021) mengindikasikan bahwa teknik FMOLS mengonfirmasi hipotesis EKC di kawasan Asia Selatan. Bukti keberadaan EKC juga ditemukan dalam penelitian Aminu et al. (2023); Bouyghrissi et al (2022); Salari et al. (2021). Sebaliknya Tran et al. (2025); Wang et al (2023) menemukan bahwa kuadrat pertumbuhan ekonomi berpengaruh positif signifikan dan menunjukkan hubungan berbentuk U, temuan ini berlawanan dengan hipotesis EKC.

Pada sisi FDI, penelitian Ren et al. (2024) menemukan bahwa FDI awalnya mengurangi emisi melalui *technology spillover*, tetapi kemudian justru meningkatkannya seiring dominasi investasi *greenfield* dan melemahnya efek *technology spillover*. Temuan serupa oleh Xuan (2025) menyatakan FDI berpengaruh positif terhadap emisi karbon, terutama di sektor industri berpolusi. Sebaliknya, Raghutla et al. (2024) dan Yi et al. (2023) menemukan FDI dapat meningkatkan efisiensi energi dan teknologi hijau, sehingga berkorelasi negatif dengan emisi karbon dan berpotensi menurunkannya. Pada sisi keterbukaan perdagangan, Dou et al. (2021) dan Puspita & Hartono (2021) menjelaskan bahwa keterbukaan perdagangan umumnya meningkatkan emisi karbon melalui efek skala dan komposisi, khususnya di negara seperti China, Jepang, dan Korea Selatan. Namun, juga mencatat bahwa perjanjian perdagangan bebas (FTA) dapat mengurangi emisi melalui *technology spillover*. Derindag et al. (2023) menekankan bahwa dampak keterbukaan perdagangan terhadap emisi sangat bergantung pada tingkat intensitas emisi karbon suatu negara.

Penelitian-penelitian terbaru masih menghasilkan temuan yang beragam dan belum konklusif. Dengan perbedaan signifikan anatar negara, periode penelitian, maupun metode yang digunakan, sehingga penting untuk terus mengeksplorasi literatur agar diperoleh hasil yang lebih kuat. Temuan yang beragam terkait tiga faktor makroekonomi tersebut menegaskan urgensi penelitian lebih lanjut dengan konteks negara berkembang, khususnya di ASEAN-7. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan membantu para pemangku kepentingan dalam membuat kebijakan yang bisa menyeimbangkan pembangunan ekonomi di negara berkembang yang sedang tumbuh pesat, sekaligus menjaga keseimbangan lingkungan sejalan dengan SDGs 7, 8, 13.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini merupakan studi kuantitatif dengan pendekatan eksplanatori. Data yang dipakai adalah data panel, yang merupakan kombinasi antara data *cross section* dan *time series*. Seluruh data bersumber dari *World Bank* dan *Our World in Data*. Semua variabel menggunakan data asli yang kemudian dikonversi ke dalam bentuk logaritma natural (LN), kecuali variabel yang telah dinyatakan dalam persentase. Penelitian ini memiliki satu variabel dependen, yakni emisi karbon dioksida (CO2), dan beberapa variabel independen, yaitu PDB per kapita, PDB per kapita kuadrat, investasi asing langsung (FDI), serta keterbukaan perdagangan.

Sampel dan Waktu Penelitian

Dalam penentuan populasi maupun teknik pengambilan sampel, penelitian ini memfokuskan pada tujuh negara ASEAN. Dengan demikian, penelitian ini menetapkan Indonesia, Vietnam, Malaysia, Thailand, Filipina, Brunei Darussalam, dan Kamboja sebagai negara sampel. Penelitian ini mencakup rentang waktu 6 tahun, yakni dari tahun 2018 sampai dengan tahun 2023.

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis regresi berganda dengan pendekatan data panel. Data panel sendiri merupakan gabungan antara data deret waktu (*time series*) dan data antar objek (*cross section*) (Gujarati & Porter, 2009). Model persamaan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\ln_CO2_{it} = \alpha + \beta_1 \ln_GDP_{it} + \beta_2 \ln_GDP2_{it} + \beta_3 FDI_{it} + \beta_4 TO_{it} + uit \quad (1)$$

CO2 = Emisi Gas Rumah Kaca (CO2)

ln_GDP = Pertumbuhan Ekonomi

ln_GDP2 = Pertumbuhan Ekonomi Kuadrat

FDI = Investasi Asing Langsung

TO = Keterbukaan Perdagangan

α = Konstanta

$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = Koefisien Regresi

uit = Error Term

Uji Hipotesis

Uji t statistik (Parsial)

Uji t statistik digunakan untuk mengetahui tingkat signifikansi atau sejauh mana pengaruh masing-masing variabel independen terhadap variabel dependen secara parsial. Pengujian ini dilakukan dengan tingkat keyakinan 90% dan tingkat kesalahan (α) sebesar 10%, menggunakan derajat kebebasan (*degree of freedom*) $df = (n - k) - (N - 1)$, di mana n adalah jumlah observasi, k jumlah variabel

dalam model, dan N jumlah unit cross-section. Dengan $n = 42$, $k = 5$, dan $N = 7$, diperoleh $df = 31$.

Kriteria pengambilan keputusan ditetapkan bahwa apabila nilai $\text{Prob} > |t|$ lebih kecil dari 0,10, maka H_0 ditolak dan variabel independen dinyatakan berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Sebaliknya, apabila nilai $\text{Prob} > |t|$ lebih besar atau sama dengan 0,10, maka H_0 diterima dan variabel independen dinyatakan tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

Uji F statistik (Simultan)

Uji F statistik dilakukan untuk mengukur tingkat signifikansi atau pengaruh variabel independen secara bersama-sama terhadap variabel dependen. Pengujian ini dilakukan pada tingkat keyakinan 90% dengan tingkat kesalahan (α) sebesar 10%, menggunakan derajat kebebasan (*degree of freedom*) $df_1 = k - 1$ dan $df_2 = (n - K) - (N - 1)$, di mana n adalah jumlah observasi, k jumlah variabel dalam model, dan N jumlah unit cross-section. Dengan $n = 42$, $k = 5$, dan $N = 7$, diperoleh $df_1 = 4$ dan $df_2 = 31$.

Kriteria pengambilan keputusan ditetapkan bahwa apabila nilai $\text{Prob} > F$ lebih kecil dari 0,10, maka H_0 ditolak dan seluruh variabel independen secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Sebaliknya, apabila nilai $\text{Prob} > F$ lebih besar atau sama dengan 0,10, maka H_0 diterima dan variabel independen secara simultan dinyatakan tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen.

Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) merupakan ukuran yang menggambarkan proporsi keragaman variabel terikat yang dapat diterangkan oleh variabel-variabel bebas dalam sebuah model regresi. Nilai R^2 berada dalam rentang 0 sampai 1. Semakin nilai tersebut mendekati 1, semakin baik kemampuan model dalam menerangkan variasi yang terjadi pada variabel dependen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Uji Pemilihan Model

Tabel 1. Hasil Uji Pemilihan Model

Metode	Prob
Uji Chow	0.0000
Uji Hausman	0.0000

Sumber: Hasil Analisa Stata 17 (telah diolah)

Untuk memilih model estimasi yang paling tepat, dilakukan uji Chow dan uji Hausman. Uji Chow digunakan untuk membandingkan kelayakan antara *Common Effect Model* (CEM) dan *Fixed Effect Model* (FEM). Hasil pengujian menunjukkan nilai probabilitas (p-value) sebesar 0,0000, yang lebih kecil dari batas signifikansi 0,05, sehingga H_0 ditolak. Hal ini mengindikasikan bahwa FEM lebih sesuai

dibandingkan CEM. Selanjutnya, uji Hausman diterapkan untuk menentukan pilihan antara *Fixed Effect Model* (FEM) dan *Random Effect Model* (REM). Hasil uji Hausman juga menghasilkan nilai probabilitas 0,0000 (< 0,05), yang menolak H0. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model yang paling tepat untuk analisis ini adalah *Fixed Effect Model*.

Hasil Estimasi Model Regresi

Tabel 2. Hasil Estimasi Regresi Data Panel Model FEM

Variabel	Coefficient	Std. err	t	Prob
ln_GDP	0,6463079	.3318508	1,95	0,061
ln_GDP2	-0,5697433	.3054746	-1,87	0,072
FDI	-0,0064296	.0122161	-0,53	0,602
TO	0,002388	.0011469	2,08	0,046
_cons	18,75355	.2354244	79,66	0,000
R-square				0,4653
F-statistic				6,74
Prob (F-statistic)				0,0005

Sumber: Hasil Analisa Stata 17 (telah diolah)

Secara umum, model menunjukkan bahwa variabel ln_GDP, ln_GDP2, FDI, dan TO memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap emisi CO2 di negara-negara ASEAN.

$$\begin{aligned}
 \ln_{-}CO2_{it} = & 18,75355 + 0,6463079 \ln_{-}GDP_{it} - 0,5697433 \ln_{-}GDP2_{it} \\
 & - 0,0064296 FDI_{it} + 0,002388 TO_{it} + uit
 \end{aligned} \tag{2}$$

Nilai konstanta sebesar 18,75355 menunjukkan bahwa ketika seluruh variabel independen (ln_GDP, ln_GDP-Squared, FDI, dan TO) bernilai nol, maka emisi CO2 berada pada level 18,75355. Nilai ini merepresentasikan tingkat emisi dasar ketika tidak terdapat pengaruh dari variabel-variabel penjelas dalam model.

Selanjutnya, variabel ln_GDP memiliki koefisien positif sebesar 0,6463079 yang berarti bahwa setiap peningkatan GDP sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO2 sekitar 0,6463079%. Variabel ln_GDP-Squared menunjukkan koefisien negatif sebesar -0,5697433, yang mengindikasikan bahwa peningkatan GDP-Squared sebesar 1% akan menurunkan emisi CO2 sebesar 0,5697433%.

Variabel TO menunjukkan koefisien positif sebesar 0,002388, yang mengindikasikan bahwa setiap kenaikan TO sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO2 sebesar 0,002388%. Sementara itu, Variabel FDI memiliki koefisien negatif sebesar -0,0064296, namun tidak signifikan secara statistik (p-value 0,602 > 0,10). Hal ini menunjukkan bahwa FDI belum terbukti memiliki pengaruh yang signifikan terhadap emisi CO2 pada periode dan sampel penelitian ini.

Hasil Uji Hipotesis

Uji t

Uji t-statistik diterapkan untuk mengukur besaran pengaruh masing-masing variabel bebas secara individual terhadap variabel terikat. Derajat kebebasan dihitung menggunakan rumus $df=(n-k)-(N-1)$, dengan n adalah jumlah observasi, k jumlah variabel dalam model, dan N jumlah unit cross-section. Dengan $n=42$, $k=5$, dan $N=7$, diperoleh $df=31$. Selanjutnya, nilai t-tabel pada $\alpha = 0,10$ dan $df = 31$ dihitung menggunakan fungsi distribusi t pada Microsoft Excel sehingga diperoleh nilai t-tabel sebesar 1,695518783.

- 1) Variabel \ln_{-GDP} memiliki nilai statistik t-hitung sebesar 1,95 yang lebih besar dibandingkan nilai t-tabel sebesar 1,695518783. Nilai probabilitas (P-value) sebesar 0,061 juga berada di bawah tingkat signifikansi 10% ($\alpha = 0,10$). Berdasarkan hasil tersebut, hipotesis nol (H_0) ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan ekonomi berpengaruh signifikan terhadap tingkat emisi CO2.
- 2) Variabel $\ln_{-GDP-Squared}$ memiliki nilai statistik t-hitung sebesar -1,87 yang lebih besar dibandingkan nilai t-tabel sebesar 1,695518783. Nilai probabilitas (P-value) sebesar 0,072 berada di bawah tingkat signifikansi 10% ($\alpha = 0,10$). Berdasarkan hasil tersebut, hipotesis nol (H_0) ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa variabel $\ln_{-GDP-Squared}$ berpengaruh signifikan terhadap tingkat emisi CO2.
- 3) Variabel FDI memiliki t-hitung sebesar -0,53 yang lebih kecil dibandingkan nilai t-tabel sebesar 1,695518783. Nilai probabilitas (P-value) sebesar 0,602 berada di atas tingkat signifikansi 10% ($\alpha = 0,10$), sehingga hipotesis nol (H_0) tidak ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan Investasi asing langsung tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat emisi CO2.
- 4) Variabel TO memiliki t-hitung sebesar 2,08 yang lebih besar dibandingkan nilai t-tabel sebesar 1,695518783. Nilai probabilitas (P-value) sebesar 0,046 berada di bawah tingkat signifikansi 10% ($\alpha = 0,10$), sehingga hipotesis nol (H_0) ditolak. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa keterbukaan perdagangan berpengaruh signifikan terhadap tingkat emisi CO2

Uji F

Uji F-statistik digunakan untuk mengukur besaran pengaruh gabungan seluruh variabel bebas secara bersama-sama terhadap variabel terikat. Nilai F-tabel yang diperoleh adalah sebesar 2,135541797, dengan tingkat signifikansi $\alpha = 0,10$ (10 persen). Berdasarkan tabel 2. nilai F hitung sebesar $6,74 > 2,135541797$ dan nilai P-value sebesar $0,005 < 0,10$. Maka dapat disimpulkan bahwa hipotesis nol (H_0) ditolak, menunjukkan bahwa variabel \ln_{-GDP} , $\ln_{-GDP-Squared}$, FDI dan TO secara bersama-sama memberikan pengaruh signifikan terhadap tingkat emisi CO2.

Koefisien Determinasi (R^2)

Hasil perhitungan koefisien determinasi (R^2) dalam sebesar 0,4653 mengindikasikan bahwa 46% dari variasi emisi CO2 dapat diterangkan oleh variabel-variabel \ln_{-GDP} , $\ln_{-GDP-Squared}$, FDI, dan TO dalam model penelitian ini. Sementara itu, sisanya (54%) dijelaskan oleh faktor-faktor lain yang tidak dimasukkan ke dalam model analisis.

Pertumbuhan Ekonomi terhadap Emisi Gas Rumah Kaca CO2

Temuan penelitian menunjukkan bahwa variabel $\ln_{-}GDP$ memiliki koefisien positif dan signifikan secara statistik ($0,6463079$; $p=0,061$). Hubungan antara pendapatan per kapita dan kondisi lingkungan dipahami melalui teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Hubungan positif dan signifikan antara GDP dan emisi CO2 pada negara-negara dalam penelitian ini mendukung tahap awal dari pola EKC. Pada fase awal pembangunan ekonomi, efek skala cenderung lebih dominan yang menyebabkan peningkatan penggunaan sumber daya alam dan energi secara intensif. Peningkatan GDP dicapai melalui ekspansi aktivitas ekonomi berupa produksi dan konsumsi. Untuk mendorong pertumbuhan output, dibutuhkan input energi yang lebih besar (Lu et al., 2024). Proses produksi di negara berkembang umumnya tumbuh cepat namun masih mengandalkan bahan bakar fosil, sehingga emisi CO2 yang dihasilkan lebih tinggi. Sementara itu, penerapan ekonomi sirkular untuk mengurangi limbah konsumsi masih sangat minimal (Pratiwi et al., 2024).

Ketergantungan negara-negara ASEAN pada batu bara dalam memenuhi peningkatan permintaan energi mengindikasikan efek komposisi, di mana aktivitas ekonomi masih terkonsentrasi pada sektor-sektor padat energi dan beremisi tinggi. Berdasarkan laporan *International Energy Agency* (IEA) tahun 2019, sekitar 75% dari total pasokan energi di kawasan ASEAN masih bergantung pada bahan bakar fosil (Vakulchuk et al., 2023). Pola ini terutama terlihat jelas di Indonesia dan Vietnam, yang merupakan dua kontributor utama emisi dan konsumsi batubara di kawasan Asia Tenggara. Dalam laporan *World Bank*, pada tahun 2023 kedua negara ini bersama-sama menyumbang 80% dari total emisi kawasan dan 88% dari konsumsi batubaranya. Sumber utama emisi di kedua negara tersebut terkonsentrasi pada dua sektor penggerak ekonomi sekaligus konsumen energi terbesar yakni, pembangkit listrik dan industri. Kedua sektor ini secara bersama menyumbang 75–87% dari seluruh emisi terkait energi di Indonesia dan Vietnam, menjadi bukti langsung bagaimana ekspansi ekonomi mendorong permintaan energi fosil dan pada akhirnya meningkatkan emisi CO2 (Wang et al., 2025).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan GDP per kapita di negara-negara ASEAN pada tahap awal pembangunan ekonomi meningkatkan emisi CO2 akibat dominasi efek skala dan efek komposisi yang ditandai oleh ekspansi sektor padat energi berbasis bahan bakar fosil (Majeed & Asghar, 2021). Sejalan dengan temuan Alfian et al. (2023) dan Ahmad et al. (2024) di Indonesia, PDB per kapita terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO2 baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Penelitian Phong (2019) pada lima negara ASEAN juga menunjukkan bahwa kawasan ini masih berada pada fase peningkatan kurva EKC, dengan penggunaan energi fosil terutama batubara sebagai faktor pendorong utama emisi. Hasil yang searah juga ditemukan oleh Destiartono & Ekananda (2023) terkait deforestasi di Asia Tenggara, di mana *scale effect* dari pertumbuhan ekonomi terus menambah tekanan terhadap lingkungan.

Analisis Keberadaan Teori Environmental Kuznets Curve

Temuan penelitian menunjukkan bahwa variabel $\ln_{-}GDP\text{-Squared}$ memiliki koefisien negatif dan signifikan secara statistik ($-0,5697433$; $p=0,072$). Koefisien negatif pada komponen kuadrat GDP per kapita ini mengindikasikan adanya hubungan non-linier antara pendapatan dan emisi karbon. Dengan kata lain, pada tahap awal peningkatan pendapatan cenderung menyebabkan peningkatan emisi CO2, namun pada tingkat pendapatan tertentu tren tersebut akan berubah dan peningkatan pendapatan selanjutnya justru berpotensi menurunkan emisi. Temuan ini sejalan

dengan teori *environmental kuznets curve (EKC)*, di mana variabel kuadrat GDP per kapita menunjukkan pengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi CO₂. Berdasarkan hasil perhitungan, *turning point* EKC terjadi pada nilai logaritma yang telah di-centering sebesar 0,5671921899. Setelah dikonversi kembali ke skala logaritma natural dengan menambahkan nilai rata-rata ln (GDP), diperoleh ln (GDP) sebesar 10,323095 atau pada tingkat GDP per kapita sekitar USD 30.300 (setelah dilakukan transformasi eksponensial). Nilai ini diperoleh dari rumus *turning point*:

$$\text{Turning Point} = -\frac{\beta_1}{2\beta_2} = -\frac{0,64463079}{2 \times (-0,5697433)} = 0,5671921899$$
$$\text{Turning Point ln(GDP)} = 0,5671921899 + 9,755903 = 10,323095 \quad (5)$$

Sepanjang periode penelitian 2018–2023, hanya Malaysia dan Brunei Darussalam yang telah melampaui ambang *turning point* EKC. Malaysia, misalnya, memiliki GDP per kapita sebesar USD 30.459,965 pada 2018, kemudian menurun menjadi USD 29.200,453 pada 2020 akibat pandemi COVID-19, sebelum kembali meningkat menjadi USD 32.079,152 pada 2022. Malaysia menunjukkan indikasi *decoupling*, di mana emisi relatif stabil pada kisaran 262–282 juta ton meskipun GDP meningkat sebesar 12,3%, sejalan dengan ekspektasi fase *pasca-turning point*.

Brunei Darussalam telah berada di atas *turning point* sejak 2018, dengan GDP per kapita USD 78.099,05 dan mencapai USD 76.616,7 pada 2023. Meskipun memiliki GDP tertinggi di ASEAN, Brunei Darussalam menunjukkan peningkatan emisi dari 9,3 juta ton (2018) menjadi 12,5 juta ton (2023), atau bertambah sekitar 3,2 juta ton selama periode penelitian. Secara teoritis, kondisi ini seharusnya menempatkan Brunei pada *descending slope* kurva EKC, di mana peningkatan pendapatan diharapkan berkorelasi dengan penurunan emisi. Hal ini menunjukkan bahwa tercapainya *turning point* secara statistik tidak selalu diikuti dengan penurunan emisi secara otomatis, melainkan juga dipengaruhi oleh faktor-faktor spesifik, seperti struktur ekonomi dan pola konsumsi energi.

Perbedaan antara hasil teoritis EKC dan temuan empiris di kawasan ASEAN menunjukkan bahwa pengaruh pertumbuhan ekonomi terhadap lingkungan tidak hanya ditentukan oleh posisi pendapatan relatif terhadap *turning point*, tetapi juga oleh mekanisme yang mendominasi dalam proses pertumbuhan tersebut. Pada fase awal, pertumbuhan ekonomi biasanya menggeser peran sektor pertanian ke manufaktur yang lebih banyak menimbulkan polusi. Namun, seiring dengan peningkatan pendapatan dan produktivitas, terjadi peralihan dari sektor industri ke sektor jasa. Di wilayah ASEAN, kontribusi sektor industri terhadap PDB menunjukkan tren penurunan, sementara sektor jasa yang relatif lebih ramah lingkungan terus berkembang (Ansari, 2022).

Sektor jasa (tersier) tetap menjadi sektor utama dalam perekonomian ASEAN, menyumbang 50,5% dari total PDB pada 2022, diikuti sektor sekunder sebesar 29,8% dan sektor primer sebesar 16,4%. Meskipun terjadi pergeseran struktural menuju ekonomi jasa, ketergantungan pada energi fosil tetap tinggi. Hal ini berkaitan dengan karakteristik sektor jasa yang berkembang di kawasan ASEAN, di mana subsektor seperti jasa perjalanan, telekomunikasi dan informasi, serta jasa keuangan memiliki

peran yang cukup dominan dalam aktivitas ekonomi. Meskipun termasuk sektor tersier dan umumnya dianggap memiliki tingkat emisi yang lebih rendah dibandingkan sektor industri, kegiatan operasional sektor-sektor tersebut tetap memerlukan konsumsi energi listrik yang besar, terutama untuk menunjang transportasi, logistik, infrastruktur digital, perhotelan, serta layanan keuangan.

Sektor jasa semakin bergantung pada pasokan listrik, sementara bauran energi ASEAN masih didominasi bahan bakar fosil. Menurut laporan *ASEAN's Clean Power Pathways: 2024 Insights*, pada 2023 sekitar 74% pembangkit listrik di kawasan ini berasal dari energi fosil, dengan kontribusi batu bara mencapai 44%. Proyeksi ke depan menunjukkan peningkatan permintaan listrik di ASEAN masih akan banyak dipenuhi oleh pembangkit berbahan bakar fosil. Hal ini didorong oleh ketergantungan sejumlah negara pada sumber energi fosil, seperti Malaysia dan Brunei Darussalam yang bertumpu pada gas alam, serta Indonesia yang masih mempertahankan dominasi batu bara dalam pembangkit listriknya.

Temuan ini sejalan oleh Ardiana et al. (2024), sepanjang rentang studi tahun 2000–2020, hanya Malaysia dan Thailand yang berhasil melampaui tingkat pendapatan per kapita sebesar 5.022,90 USD sebagai batas *turning point*. Meskipun telah berada di fase tersebut, tren emisi di kedua negara masih fluktuatif dan belum sepenuhnya mengalami penurunan yang konsisten. Ketidaksesuaian ini menunjukkan bahwa pencapaian *turning point* tidak secara otomatis diikuti oleh penurunan emisi, melainkan hanya menandai batas di mana penurunan emisi secara teoritis mulai dimungkinkan apabila didukung oleh transformasi struktural ekonomi, kebijakan lingkungan yang efektif, serta percepatan transisi energi.

Investasi Asing Langsung (FDI) terhadap Emisi Gas Rumah Kaca CO2

Temuan penelitian menunjukkan bahwa variabel FDI memiliki koefisien negatif dan tidak signifikan secara statistik (-0,0064296; $p= 0,602$). Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan investasi asing cenderung berkorelasi dengan penurunan emisi, tetapi pengaruh tersebut belum cukup kuat. Pengaruh investasi asing langsung yang tidak signifikan menunjukkan bahwa dampak tersebut belum merata atau masih tertutup oleh faktor struktural lain dalam perekonomian kawasan. ASEAN masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil (75%) sebagai sumber energi utama, yang menopang sektor industri dan pertumbuhan ekonomi kawasan (Vakulchuk et al., 2023). Di negara-negara ASEAN, struktur pertumbuhan ekonomi masih banyak terkonsentrasi pada sektor industri, manufaktur, dan eksploitasi sumber daya alam yang memiliki kebutuhan energi besar dan emisi karbon tinggi.

Dominasi sektor-sektor padat karbon menyebabkan efek teknik yang dibawa oleh FDI belum cukup kuat untuk mengimbangi peningkatan emisi yang timbul akibat bertambahnya skala produksi (*scale effect*) serta efek komposisi, yaitu ketika arus investasi terkonsentrasi pada sektor-sektor yang bersifat padat polusi. Akibatnya, potensi penurunan emisi yang seharusnya diperoleh melalui transfer teknologi dan praktik produksi yang lebih efisien menjadi tertahan oleh pola investasi yang masih berfokus pada aktivitas ekonomi dengan intensitas karbon tinggi.

Secara teori, arah negatif dapat mencerminkan mekanisme *Pollution Halo Hypothesis (PHH)*. Mekanisme ini mencerminkan dominasi efek teknik, di mana masuknya investasi asing menjadi saluran transfer teknologi dan praktik manajerial yang lebih efisien dari perusahaan multinasional. Transfer tersebut mendorong peningkatan efisiensi energi, penerapan teknologi produksi yang lebih bersih, serta adopsi standar operasional dan lingkungan yang lebih ketat, sehingga mampu

menekan tingkat emisi karbon (Ma et al., 2025). Arus investasi di kawasan ASEAN sudah mulai menunjukkan peningkatan pada sektor-sektor yang lebih ramah lingkungan khususnya pemanfaatan energi terbarukan, dari rata-rata sekitar USD 11 miliar pada periode 2015–2019 menjadi sekitar 14 miliar USD selama 2020–2023. Selama periode 2020–2023, jumlah proyek investasi internasional dalam energi terbarukan tumbuh dengan *compound annual growth rate* (CAGR) sebesar 12,2 persen, sedikit di bawah rata-rata global sebesar 12,8 persen.

Hal ini mencerminkan meningkatnya perhatian dan konsistensi tren investasi global dalam energi terbarukan. Kontribusi sektor swasta termasuk perusahaan multinasional memegang peranan penting dalam peningkatan kapasitas pembangkitan energi terbarukan di kawasan. Pada 2016–2020, investasi swasta tercatat mewakili hampir 60% dari total investasi energi terbarukan di ASEAN. Jika tren ini terus berlanjut sampai 2030, sektor swasta akan tetap menjadi pemain penting dalam investasi energi terbarukan, dan investasi asing langsung diperkirakan ikut mendorong percepatan transisi menuju sistem energi yang lebih rendah karbon (Asean Investment Report, 2024).

Hasil temuan ini sejalan dengan penelitian oleh Febriyanto et al. (2024) dimana pengaruh FDI terhadap emisi CO₂ tidak teridentifikasi secara signifikan di Malaysia dan Indonesia. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh yang lebih kuat terhadap tingkat emisi CO₂, seperti pertumbuhan ekonomi, aktivitas industri, serta sektor transportasi yang relatif lebih dominan dalam mendorong emisi. Di sisi lain, kontribusi FDI terhadap penurunan emisi cenderung bersifat tidak langsung, terutama melalui dukungan terhadap pengembangan energi terbarukan dan efisiensi produksi, namun skala dan distribusinya belum cukup besar untuk menghasilkan dampak yang signifikan. Dengan demikian, meskipun FDI memiliki potensi untuk mendukung transisi menuju ekonomi rendah karbon di Indonesia dan Malaysia, efektivitasnya sangat bergantung pada arah kebijakan, komposisi sektoral investasi, serta kekuatan kerangka regulasi lingkungan.

Temuan ini berbeda dengan penelitian oleh, Demena & Afesorgbor (2020) yang menyimpulkan bahwa setelah mengontrol heterogenitas, FDI secara signifikan berkontribusi pada penurunan emisi. Hal ini mengindikasikan berlakunya mekanisme *pollution halo hypothesis*, di mana FDI berperan sebagai saluran transfer teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, FDI dalam konteks penelitian ini tampaknya lebih banyak mengalir ke sektor-sektor berintensitas teknologi dan berorientasi pada praktik hijau, sehingga berkontribusi terhadap penurunan emisi karbon dan mendukung proses transisi energi. Temuan lain oleh, Pata et al. (2023) yang menganalisis enam negara ASEAN dan menemukan bahwa FDI secara signifikan meningkatkan emisi CO₂ dalam jangka panjang. Temuan tersebut mendukung *pollution haven hypothesis*, yang menunjukkan bahwa pelonggaran regulasi lingkungan untuk menarik investasi berpotensi mendorong masuknya industri dengan tingkat pencemaran tinggi ke kawasan ASEAN.

Keterbukaan Perdagangan terhadap Emisi Gas Rumah Kaca CO₂

Temuan penelitian menunjukkan bahwa variabel TO memiliki koefisien positif dan signifikan secara statistik pada tingkat 10 persen (0,002388; p = 0,046). Temuan ini sejalan dengan teori *pollution haven hypothesis* dalam pembagian kerja global, di mana negara berkembang kerap menjadi basis produksi untuk industri padat karbon akibat regulasi lingkungan yang relatif longgar (Mahmood et al., 2019). Keterbukaan perdagangan berkontribusi positif menunjukkan bahwa keterbukaan

perdagangan di negara berkembang cenderung mendorong peningkatan emisi karbon terutama melalui efek komposisi, yaitu pergeseran struktur produksi menuju sektor manufaktur dan industri padat energi. Peningkatan aktivitas ekspor dan impor, khususnya pada barang-barang berintensitas energi tinggi mendorong konsumsi energi yang lebih besar dan pada akhirnya memperburuk tingkat polusi karbon (Bhayana & Nag, 2024).

Di satu sisi, keterbukaan perdagangan dapat meningkatkan emisi karbon melalui efek skala. Seiring dengan meluasnya pasar dan meningkatnya produksi untuk memenuhi permintaan yang terus tumbuh, konsumsi sumber daya dan tingkat polusi yang lebih tinggi menjadi tidak terhindarkan. Di sisi lain, perdagangan internasional berpotensi membawa transfer teknologi dan praktik produksi yang lebih efisien melalui efek teknik, meskipun dampak ini belum sepenuhnya terealisasi selama periode penelitian. Keterbatasan tersebut terutama disebabkan oleh belum optimalnya adopsi teknologi industri bersih di negara berkembang, yang berkaitan dengan lemahnya regulasi lingkungan dan kapasitas inovasi. Dengan demikian, hasil estimasi menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan cenderung meningkatkan emisi karbon di tujuh negara ASEAN.

Hasil temuan ini sejalan dengan Dou et al. (2021) yang menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan di kawasan Asia Timur mendorong kenaikan emisi karbon melalui perluasan skala produksi dan meningkatnya ketergantungan pada energi fosil, khususnya pada fase awal perdagangan bebas. Selain itu, hasil penelitian Bakri et al. (2025) menunjukkan bahwa peningkatan keterbukaan perdagangan pada tahap awal cenderung menaikkan emisi karbon karena ekspansi produksi dan konsumsi energi yang lebih besar. Akan tetapi, pengaruh tersebut tidak menunjukkan pola linear. Ketika tingkat keterbukaan perdagangan melewati titik ambang tertentu, dampaknya terhadap emisi mulai berkurang seiring dengan masuknya teknologi produksi yang lebih efisien, inovasi ramah lingkungan, dan meningkatnya efisiensi energi dalam proses industri.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian oleh Widyawati et al. (2021) menemukan bahwa keterbukaan perdagangan internasional berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi CO2 di 10 negara ASEAN periode 2000–2014. Keterbukaan perdagangan mendorong spesialisasi berdasarkan keunggulan komparatif sehingga meningkatkan efisiensi sumber daya, memperkuat kapasitas pemerintah dalam menerapkan regulasi lingkungan, dan mendorong inovasi ramah lingkungan, yang pada akhirnya menekan emisi karbon. Penelitian terbaru di tingkat provinsi Tiongkok oleh Jiang & Jiang (2025) menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan berpengaruh negatif terhadap emisi CO2 dan sejalan dengan konsep *pollution halo hypothesis*. Keterbukaan perdagangan dapat meningkatkan emisi melalui *scale effect* akibat ekspansi kegiatan ekonomi, tetapi pada saat yang sama mampu menekan emisi melalui penguatan regulasi lingkungan. Dampak penurunan emisi ini cenderung melemah ketika rasio ketergantungan penduduk lanjut usia meningkat, sehingga menunjukkan peran faktor demografi. Selain itu, penelitian ini juga menemukan adanya *spatial spillover effect*, di mana peningkatan keterbukaan perdagangan di suatu wilayah turut berkontribusi menurunkan emisi di wilayah sekitarnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh pertumbuhan ekonomi, investasi asing langsung (FDI), dan keterbukaan perdagangan terhadap emisi karbon

di tujuh negara ASEAN (Indonesia, Vietnam, Malaysia, Thailand, Filipina, Brunei Darussalam, dan Kamboja) periode 2018–2023, diperoleh beberapa temuan penting.

Pertama, pertumbuhan ekonomi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon, menunjukkan bahwa kawasan ASEAN masih berada pada fase awal (*ascending slope*) kurva *Environmental Kuznets Curve (EKC)*. Pola ini ditandai oleh dominasi scale effect dan composition effect, di mana ekspansi ekonomi masih sangat bergantung pada aktivitas produksi dan konsumsi energi berbasis fosil, terutama batu bara dan gas. Hasil ini didukung oleh visualisasi kurva EKC per negara yang menunjukkan bahwa Indonesia, Filipina, dan Kamboja secara konsisten mengalami peningkatan emisi seiring pertumbuhan pendapatan, sementara Vietnam, Thailand, Malaysia, dan Brunei menunjukkan pola yang lebih fluktuatif dengan indikasi awal *decoupling* yang belum stabil.

Kedua, analisis keberadaan EKC mengonfirmasi pola hubungan berbentuk U terbalik dengan *turning point* teoritis pada tingkat pendapatan sekitar USD 30.300. Dalam periode penelitian, hanya Malaysia dan Brunei yang telah melampaui ambang tersebut, meskipun secara empiris Brunei justru menunjukkan peningkatan emisi, mengindikasikan bahwa pencapaian *turning point* tidak serta-merta diikuti penurunan emisi tanpa perubahan struktural dan kebijakan pendukung.

Ketiga, investasi asing langsung (FDI) tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon. Hal ini mengindikasikan bahwa dampak FDI masih terbatas dan belum mampu mendorong penurunan emisi secara nyata, kemungkinan karena arus investasi yang belum sepenuhnya mengarah pada sektor hijau atau karena efek positif dari transfer teknologi tertutup oleh dominasi investasi pada sektor padat karbon.

Keempat, keterbukaan perdagangan berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon, mendukung *pollution haven hypothesis*. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi perdagangan ASEAN cenderung meningkatkan emisi melalui ekspansi skala produksi dan konsumsi energi, serta spesialisasi dalam industri berintensitas karbon tinggi, di tengah belum optimalnya adopsi teknologi bersih dan regulasi lingkungan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya penggunaan data tingkat nasional yang belum dapat mengungkap variasi emisi secara sektoral serta belum memasukkan variabel kebijakan seperti regulasi lingkungan dan bauran energi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memasukkan variabel-variabel tersebut, memperluas cakupan negara dan periode penelitian, serta menggunakan indikator lingkungan yang lebih detail seperti emisi per sektor.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi di negara-negara ASEAN perlu diarahkan ke jalur yang lebih berkelanjutan melalui percepatan transisi energi dan penguatan regulasi lingkungan. Pemerintah di kawasan ini perlu mengurangi ketergantungan pada energi fosil dengan mendorong investasi pada energi terbarukan, memperkuat kebijakan harga karbon, serta meningkatkan efisiensi energi, khususnya di sektor industri dan jasa. Dalam konteks investasi, kebijakan promosi perlu difokuskan pada green FDI, yaitu investasi asing yang membawa teknologi bersih dan praktik produksi berkelanjutan, sehingga FDI tidak hanya mendorong pertumbuhan ekonomi, tetapi juga menurunkan emisi karbon. Sinergi antara FDI dan pengembangan energi terbarukan dapat ditingkatkan melalui dukungan impor teknologi hijau, prioritas bagi investasi berkelanjutan, serta pemberian insentif bagi investor yang berkomitmen pada pengurangan emisi. Di sisi

perdagangan, peningkatan keterbukaan ekonomi juga perlu diimbangi dengan integrasi standar lingkungan yang lebih ketat agar ekspansi perdagangan tidak memperburuk degradasi lingkungan.

REFERENSI

- Abdullahi, A., Ibrahim, S., Azman-Saini, W. N. W., & Hook, L. S. (2023). Foreign Direct Investment and Its Impact on CO2 Emissions at Various Levels of Economic Development. *International Journal of Economics and Management*, 17(3), 293–303. <https://doi.org/10.47836/ijeam.17.3.01>
- Adeleye, B. N., Akam, D., Inuwa, N., James, H. T., & Basila, D. (2023). Does globalization and energy usage influence carbon emissions in South Asia? An empirical revisit of the debate. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(13), 36190–36207. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24457-9>
- Adeleye, B. N., Nketiah, E., & Adjei, M. (2021). Causal examination of carbon emissions and economic growth for sustainable environment: Evidence from Ghana. *Estudios de Economia Aplicada*, 39(8), 1133–3197. <https://doi.org/10.25115/EEA.V39I8.4347>
- Ahmad, A., Wahyudi, H., & Lestari, W. R. (2024). The Effect of GDP Per Capita, Population, and Income Inequality on CO2 Emissions in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 14(1), 365–370. <https://doi.org/10.32479/ijep.15224>
- Alfian, S., Nadeak, H., Nasrudin, &, Kabupaten, B., & Selatan, N. (2023). Pengaruh PDB per Kapita dan Konsumsi Energi terhadap Emisi GRK di Indonesia The Effect of GDP Per Capita and Energy Consumption on GHG Emissions in Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 23(2), 128–145.
- Aminu, N., Clifton, N., & Mahe, S. (2023). From pollution to prosperity: Investigating the Environmental Kuznets curve and pollution-haven hypothesis in sub-Saharan Africa's industrial sector. *Journal of Environmental Management*, 342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118147>
- Amir, B., & Afzal, A. (2025). The nexus of sustainable finance, digitalisation and blue economy on carbon emissions and sustainable development: evidence from East Asia. *Management of Environmental Quality*. <https://doi.org/10.1108/MEQ-10-2024-0444>
- Ansari, M. A. (2022). Re-visiting the Environmental Kuznets curve for ASEAN: A comparison between ecological footprint and carbon dioxide emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112867>
- Apergis, N., Pinar, M., & Unlu, E. (2023). How do foreign direct investment flows affect carbon emissions in BRICS countries? Revisiting the pollution haven hypothesis using bilateral FDI flows from OECD to BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14680–14692. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23185-4>

- Ardiana, M. D., & Naylah, M. (2024). Business and Economic Analysis Journal. *Business and Economic Analysis Journal*, 4(2). <https://doi.org/10.15294/beaj.v4i2.s3xb9b51>
- Asean Investment Report. (2024). *ASEAN Economic Community 2025 and Foreign Direct Investment*.
- Bakri, M. A., Chia, Y. E., & Chia, R. C. J. (2025). Trade openness and carbon emissions using threshold approach: evidence from selected Asian countries. *Carbon Research*, 4(1). <https://doi.org/10.1007/s44246-025-00211-x>
- Banday, U. J., Murugan, S., & Maryam, J. (2021). Foreign direct investment, trade openness and economic growth in BRICS countries: evidences from panel data. *Transnational Corporations Review*, 13(2), 211–221. <https://doi.org/10.1080/19186444.2020.1851162>
- Bhayana, S., & Biswajit Nag, D. (2024). *Global Value Chain Linkages and Carbon Emissions embodied in trade, An Evidence from Emerging Economies: Uncovering Connections*.
- Bousnina, R., Lajnaf, R., Mnif, S., & Gabsi, F. B. (2025). Economic growth, technological innovation and CO2 emissions in developed countries: Is there an inverted U-shaped relationship? *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 1–21. <https://doi.org/10.1108/meq-12-2024-0555>
- Bouyghrissi, S., Murshed, M., Jindal, A., Berjaoui, A., Mahmood, H., & Khanniba, M. (2022). The importance of facilitating renewable energy transition for abating CO2 emissions in Morocco. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(14), 20752–20767. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17179-x>
- Damayanti, L. D., & Cahyono, H. (2025). *Pengaruh Keterbukaan Perdagangan dan Penanaman Modal Asing Pada Pertumbuhan Ekonomi Anggota G20*. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/independent>
- Demena, B. A., & Afesorgbor, S. K. (2020). The effect of FDI on environmental emissions: Evidence from a meta-analysis. *Energy Policy*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111192>
- Derindag, O. F., Maydybura, A., Kalra, A., Wong, W. K., & Chang, B. H. (2023). Carbon emissions and the rising effect of trade openness and foreign direct investment: Evidence from a threshold regression model. *Helijon*, 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.helijon.2023.e17448>
- Destiartono, M. E., & Ekananda, M. (2023). Deforestation-induced the EKC framework: The role of corruption control and trade openness in Southeast Asia. *Jurnal Ekonomi & Studi Pembangunan*, 24(1), 81–99. <https://doi.org/10.18196/jesp.v24i1.16798>
- Dou, Y., Zhao, J., Malik, M. N., & Dong, K. (2021). Assessing the impact of trade openness on CO2 emissions: Evidence from China-Japan-ROK FTA countries. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/independent>

Journal of Environmental Management, 296.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113241>

Espoир, D. K., & Oyadeyi, O. O. (2025). Investigating the pollution haven hypothesis in the top-5 FDI recipient countries in Africa: Evidence from heterogeneous panel data with sharp and smooth transitions. *Journal of Environmental Management*, 392. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126536>

Febriyanto, A., Azzam, A., Kutia, H. R., Rizal, A., & Yusfiarto, R. (2024). The impact of foreign direct investment on carbon emissions: A comparative study in the ASEAN countries with the highest foreign direct investment. *Innovation and Green Development*, 3(4). <https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100181>

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic Econometrics 5th ed*. McGraw-Hill. New York. USA

Guliyev, H., & Seyfullayev, I. (2025). Is the environmental Kuznets curve hypothesis valid for all countries? Fresh insights from bias-corrected dynamic panel data models. *Journal of Environmental Management*, 393. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126960>

Hameed, M. A., Rahman, M. M., & Khanam, R. (2024). The validity of the environmental Kuznets curve in the presence of long-run civil wars: A case of Afghanistan. *Heliyon*, 10(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25341>

Hamid, E. S., & Wibowo, B. S. (2023). The impact of CO2emission on health expenditure: Lesson learned from ASEAN five countries. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1180(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1180/1/012044>

Hariani, E., Widyawati, R. F., & Ginting, A. L. (2022). Economics Development Analysis Journal Determinants of Carbon Emissions in 10 ASEAN Countries Article Information. *Economics Development Analysis Journal*, 3. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/edaj>

Hu, J., Wang, Z., Huang, Q., & Zhang, X. (2019). Environmental regulation intensity, foreign direct investment, and green technology Spillover-An empirical study. *Sustainability (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/su11102718>

Jiang, R., & Jiang, Z. (2025). Exploring the impact of trade openness on carbon emissions: Do scale, environmental regulations, and structural effects matter? *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-025-06085-8>

Jun, W., Mughal, N., Zhao, J., Shabbir, M. S., Niedbała, G., Jain, V., & Anwar, A. (2021). Does globalization matter for environmental degradation? Nexus among energy consumption, economic growth, and carbon dioxide emission. *Energy Policy*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112230>

Kumari, D., Shashwat, S., Verma, P. K., & Giri, A. K. (2025). Examining the nexus between carbon dioxide emissions, economic growth, fossil fuel energy use, urbanization and renewable energy towards achieving environmental sustainability

in India. *International Journal of Energy Sector Management*, 19(3), 731–746.
<https://doi.org/10.1108/IJESM-05-2024-0007>

Lin, T. Y., Chiu, Y. H., Lin, Y. N., Chang, T. H., & Lin, P. Y. (2023). Greenhouse gas emission indicators, energy consumption efficiency, and optimal carbon emission allowance allocation of the EU countries in 2030. *Gas Science and Engineering*, 110. <https://doi.org/10.1016/j.jgsce.2023.204902>

Lu, Z., Zhang, M., Hu, C., Ma, L., Chen, E., Zhang, C., & Xia, G. (2024). Spatiotemporal Changes and Influencing Factors of the Coupled Production–Living–Ecological Functions in the Yellow River Basin, China. *Land*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/land13111909>

Ma, T., Li, X., Xing, J., & Yang, M. (2025). Foreign direct investment, R&D investment and corporate green technological innovation. *Finance Research Letters*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2025.108107>

Mahmood, H., Maalel, N., & Zarrad, O. (2019). Trade Openness and CO2 Emissions: Evidence from Tunisia. *Sustainability*, 11(12), 3295. <https://doi.org/10.3390/su11123295>

Majeed, M. T., & Asghar, N. (2021). Trade, energy consumption, economic growth, and environmental quality: an empirical evidence from D-8 and G-7 countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(43), 61302–61316. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15066-z>

OECD. (2019). *An integrated approach to the Paris climate Agreement: Vol. 2019/13* (OECD Regional Development Working Papers). <https://doi.org/10.1787/96b5676d-en>

Panařotov, Todor. (1993). *Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development*. International Labour Office.

Pata, U. K., Dam, M. M., & Kaya, F. (2023). How effective are renewable energy, tourism, trade openness, and foreign direct investment on CO2 emissions? An EKC analysis for ASEAN countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(6), 14821–14837. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23160-z>

Pham, D. T. T., & Nguyen, H. T. (2024). Effects of trade openness on environmental quality: evidence from developing countries. *Journal of Applied Economics*, 27(1). <https://doi.org/10.1080/15140326.2024.2339610>

Phong, L. H. (2019). Globalization, financial development, and environmental degradation in the presence of environmental Kuznets curve: Evidence from ASEAN-5 countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 9(2), 40–50. <https://doi.org/10.32479/ijep.7290>

Pratiwi, I. A. M., Purbadharma, I. B. P., & Yasa, I. M. P. (2024). Does Growth Have an Impact on CO2 Emission in ASEAN Countries? *Jurnal Ekonomi Pembangunan*, 22(1), 133–144. <https://doi.org/10.29259/jep.v22i1.23047>

- Puspita, N., & Hartono, D. (2021). Keterbukaan Perdagangan dan Emisi CO2: Studi Empiris Tingkat Provinsi di Indonesia. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 9(3), 272–292. <https://doi.org/10.14710/jwl.9.3.272-292>
- Raghutla, C., Malik, M. N., Hameed, A., & Chittedi, K. R. (2024). Impact of public-private partnerships investment and FDI on CO2 emissions: A study of six global investment countries. *Journal of Environmental Management*, 360. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121213>
- Raihan, A., Muhtasim, D. A., Khan, M. N. A., Pavel, M. I., & Faruk, O. (2022). Nexus between carbon emissions, economic growth, renewable energy use, and technological innovation towards achieving environmental sustainability in Bangladesh. *Cleaner Energy Systems*, 3. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2022.100032>
- Ren, X., An, Y., He, F., & Goodell, J. W. (2024). Do FDI inflows bring both capital and CO2 emissions? Evidence from non-parametric modelling for the G7 countries. *International Review of Economics and Finance*, 95. <https://doi.org/10.1016/j.iref.2024.103420>
- Salari, M., Javid, R. J., & Noghanibehambari, H. (2021). The nexus between CO2 emissions, energy consumption, and economic growth in the U.S. *Economic Analysis and Policy*, 69, 182–194. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.12.007>
- Sari, K., Wahyudi, S. T., & Nabella, R. S. (2023). Determinan Pertumbuhan Ekonomi ASEAN+5: Aspek Lingkungan. *Jurnal Ekonomi Dan Pembangunan Indonesia*, 23(1), 15–29. <https://doi.org/10.21002/jepi.2023.02>
- Shen, Y., Liu, J., & Tian, W. (2022). Interaction between international trade and logistics carbon emissions. In *Energy Reports* (Vol. 8, pp. 10334–10345). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.07.159>
- 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), 771–786. <https://doi.org/10.33019/society.v11i2.557>
- Tran, T. T. T., Tran, H. T., & Duong, K. D. (2025). The non-linear relationship between economic development and air pollution: evidence from panel data analysis. *Asian Journal of Economics and Banking*, 1–15. <https://doi.org/10.1108/ajeb-09-2024-0112>
- Vakulchuk, R., Overland, I., & Suryadi, B. (2023). ASEAN's energy transition: how to attract more investment in renewable energy. In *Energy, Ecology and Environment* (Vol. 8, Issue 1, pp. 1–16). Joint Center on Global Change and Earth System Science of the University of Maryland and Beijing Normal University. <https://doi.org/10.1007/s40974-022-00261-6>
- Wang, Hwang, I., Rogate, C., Ma, Y., & Lathwal, P. (2025). *Green Horizon East Asia's Sustainable Energy Future Overview*. www.worldbank.org

- Wang, Y., Villanthenkodath, M. A., & Haseeb, M. (2023). The dynamic link between eco-innovation and ecological footprint in India: does the environmental Kuznets curve (EKC) hold? *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 34(5), 1225–1247. <https://doi.org/10.1108/MEQ-05-2022-0136>
- Widyawati, R. F., Hariani, E., Ginting, A. L., & Nainggolan, E. (2021). Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi, Populasi Penduduk Kota, dan Keterbukaan Perdagangan Internasional terhadap Emisi Karbon Dioksida (CO₂) di Negara ASEAN. *Jambura Agribusiness Journal*, 3(1).
- World Meteorological Organization. (2024). *State of the Global Climate 2023*.
- Xuan, V. N. (2025). An ARDL approach to investigating the relationship between FDI, renewable energy, economic growth, trade openness, and CO₂ emissions in Australia. *Results in Engineering*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105668>
- Yi, J., Hou, Y., & Zhang, Z. Z. (2023). The impact of foreign direct investment (FDI) on China's manufacturing carbon emissions. *Innovation and Green Development*, 2(4). <https://doi.org/10.1016/j.igd.2023.100086>