Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X **(Printed)**
6 (2) 2026, Page: 32410-32426

Environmental Kuznets Curve (EKC), Urbanisasi, dan Emisi Karbon: Studi Empiris ASEAN-5

Gist Widdan Anasis, Chika Salsabila Hafiz, Jundiah Aqilah Wardani, Muhammad Albi Resa, Banafsa Arlintang Maharani, Izza Hamidatul Maghfiroh, Fitri Amalia
Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta, Indonesia
Email:Gist.widdan24@mhs.uinjkt.ac.id, chika.salsabila24@mhs.uinjkt.ac.id, jundiah.aqilah24@mhs.uinjkt.ac.id, muhammad.albi24@mhs.uinjkt.ac.id, banafsa.arlintang24@mhs.uinjkt.ac.id, izza.hamidatul24@mhs.uinjkt.ac.id,Fitri.amalia@uinjkt.ac.id

Published: June , 2026

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi jalur transisi *Environmental Kuznets Curve* (EKC) di kawasan ASEAN-5 yang meliputi Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, dan Vietnam. Pendekatan kuantitatif diterapkan melalui desain data panel seimbang selama periode 2012–2022 yang menghasilkan 55 unit observasi, dengan metode estimasi regresi *Fixed Effect Model* (FEM) yang diintegrasikan bersama analisis visual eksploratif. Hasil estimasi ekonometrika membuktikan bahwa hipotesis EKC berbentuk U-terbalik valid secara empiris di ASEAN-5, ditunjukkan oleh koefisien pendapatan linier positif (8,344) dan kuadratik negatif (-0,462) yang signifikan pada tingkat satu persen. Ambang batas titik balik real pendapatan per kapita ditetapkan sebesar $8.225 USD, di mana Malaysia menjadi satu-satunya entitas yang telah melampaui batas kritis tersebut sehingga berhasil mendemonstrasikan fenomena pemisahan relatif (*relative decoupling*). Sebaliknya, konsumsi energi fosil terkonfirmasi sebagai pendorong utama kerusakan lingkungan dengan koefisien elastisitas dominan sebesar 0,569, sedangkan variabel laju urbanisasi terindikasi tidak berpengaruh signifikan secara statistik (p=0,355). Disimpulkan bahwa mayoritas negara ASEAN-5 masih tertinggal pada fase pendakian awal kurva akibat cengkeraman *fossil fuel lock-in*. Sebagai implikasi, pembuat kebijakan dituntut mengeksekusi strategi *leapfrogging* secara agresif melalui pengenalan pajak karbon, *coal phase-down*, dan penguatan inisiatif regional *ASEAN Power Grid*.

ABSTRACT

This study aims to validate the transition path of the Environmental Kuznets Curve (EKC) in the ASEAN-5 region, comprising Indonesia, Malaysia, Thailand, the Philippines, and Vietnam. A quantitative approach was applied through a balanced panel data design during the 2012–2022 period, yielding 55 units of observation, utilizing the Fixed Effect Model (FEM) regression technique integrated with visual exploratory data analysis. The econometric estimation results show that the inverted-U shaped EKC hypothesis is empirically valid in ASEAN-5, as indicated by a positive linear income coefficient (8.344) and a negative quadratic coefficient (-0.462) both statistically significant at the one percent level. The real income per capita turning point is calculated at 8,225 USD, where Malaysia is identified as the sole entity to have surpassed this critical threshold, thereby successfully demonstrating a relative decoupling phenomenon. Conversely, fossil energy consumption is confirmed as the dominant driver of environmental degradation with a high elasticity coefficient of 0.569, while the urbanization variable is statistically insignificant (p=0.355). It is concluded that the majority of ASEAN-5 countries remain entangled in the initial ascending phase due to persistent carbon lock-in effects. As policy implications, the execution of aggressive leapfrogging strategies is required through carbon tax implementation, coal phase-down frameworks, and the regional cross-border renewable grid integration via the ASEAN Power Grid initiative.

Keywords: environmental degradation; carbon emissions; quantitative; fixed effect model; asean-5

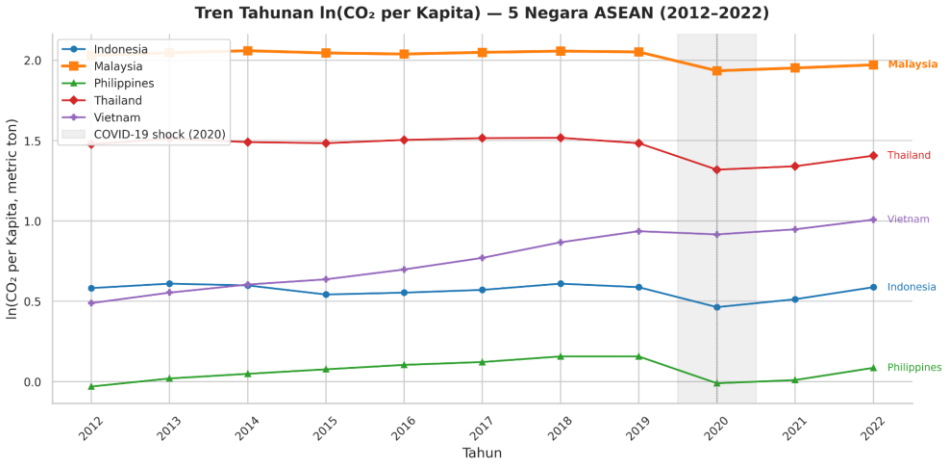
© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Krisis iklim global telah mencapai titik krusial di mana wilayah Asia Timur dan Pasifik kini mendominasi peta polusi dunia, bertanggung jawab atas sekitar 40% dari total emisi gas rumah kaca (GRK) dan penggunaan energi primer global (World Bank, 2025). Di tengah tekanan

dekarbonisasi ini, posisi ASEAN-5 (Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, dan Vietnam) menjadi sangat strategis sekaligus dilematis. Sebagai mesin pertumbuhan ekonomi baru, sektor industri di negara-negara ini, khususnya Indonesia dan Vietnam, memberikan kontribusi masif terhadap PDB masing-masing sebesar 40% dan 37% (World Bank, 2024). Namun, ambisi pertumbuhan ini harus dibayar mahal dengan peningkatan jejak karbon yang signifikan yang mengancam keberlanjutan jangka panjang (Siregar & Hasbi, 2023).

Untuk memahami skala tantangan ini, data tren emisi tahunan di kawasan tersebut menyajikan gambaran yang mengkhawatirkan:



Gambar 1.1. *Tren Kenaikan Emisi CO2 Tahunan di Negara ASEAN-5 Periode 2012–2022*
Sumber: *World Development Indicators - World Bank (2024), diolah oleh Penulis.*

Berdasarkan Gambar 1.1, secara visual emisi CO2 di negara-negara ASEAN-5 terutama Indonesia dan Vietnam menunjukkan lintasan yang terus menanjak tajam (pola linear naik atau menyerupai U-shape) tanpa tanda-tanda melandai (*decoupling*). Fenomena kenaikan emisi yang konsisten ini mencerminkan aktivitas industrialisasi masif yang belum mampu melepaskan diri dari emisi tinggi (Bashir et al., 2021).

Penyebab utama dari tren pada Gambar 1.1 adalah tantangan struktural berupa ketergantungan yang sangat tinggi pada bahan bakar fosil. Data menunjukkan bahwa batu bara dan energi fosil lainnya masih menggerakkan 61% industri di Vietnam dan 57% di Indonesia (World Bank, 2025). Hambatan transisi ini diperkuat oleh kebijakan subsidi bahan bakar fosil yang masih sangat besar, mencapai 15,4% dari PDB di Indonesia dan 14,3% di Vietnam pada tahun 2022 (World Bank, 2025). Hal ini secara tidak langsung menghambat daya saing energi terbarukan dan mengunci kawasan dalam jalur pembangunan tinggi emisi (Karunia et al., 2023; Batool et al., 2021).

Secara teoritis, hubungan antara kesejahteraan ekonomi dan lingkungan dijelaskan melalui hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC), yang memprediksi fungsi berbentuk U-terbalik; di mana emisi akan menurun setelah mencapai titik balik pendapatan tertentu (Grossman & Krueger, 1991; Stern, 2004). Namun, penerapan teori ini di ASEAN-5 menunjukkan hasil yang tidak konsisten. Penelitian terbaru oleh Ratnadewati et al. (2024) secara eksplisit menyatakan bahwa hipotesis EKC tidak terbukti di negara berkembang ASEAN, di mana emisi justru terus meningkat seiring pertumbuhan PDB. Hal ini berbeda dengan temuan Bekhet et al. (2020) yang mengkonfirmasi adanya bentuk U-terbalik di Malaysia, menunjukkan adanya kesenjangan hasil yang lebar dalam literatur (Siregar & Hasbi, 2023).

Kesenjangan ini menciptakan paradoks antara observasi lapangan dan pemodelan. Seperti yang terlihat pada Gambar 1.1, secara visual emisi terlihat terus naik seiring pertumbuhan ekonomi, namun secara matematis melalui model kuadratik standar EKC:

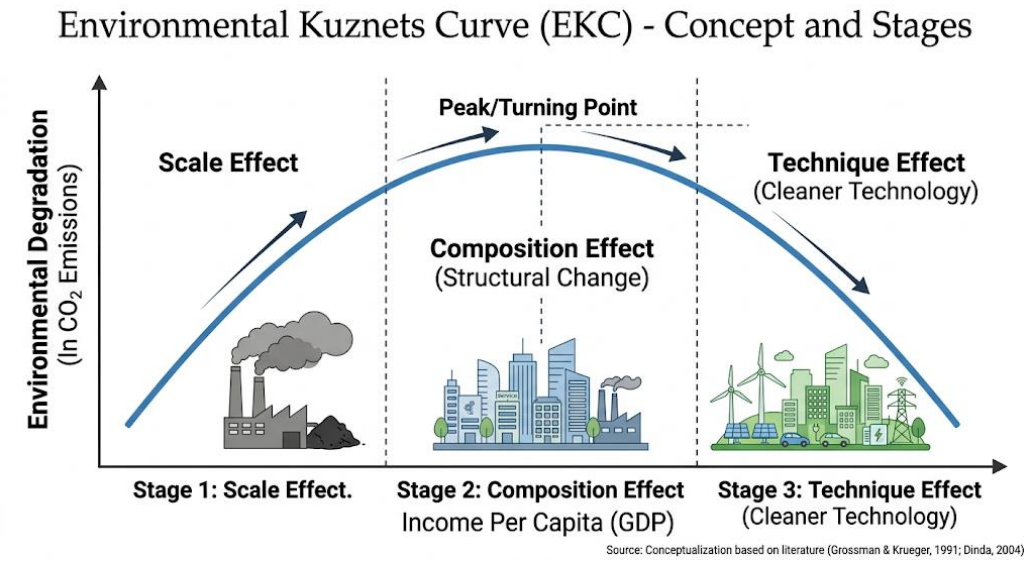
$$\ln(CO_2)it = \alpha + \beta_1 \ln(GDP)it + \beta_2(\ln GDP)^2_{it} + \epsilon_{it}$$

Model seringkali memprediksi atau "memaksa" adanya penurunan di masa depan ($\beta_2 < 0$), meskipun realitas menunjukkan ketergantungan fosil yang belum terpatahkan (World Bank, 2025). Mengapa terjadi perbedaan antara tren visual yang terus menanjak dengan proyeksi matematis yang

mengharapkan titik balik menjadi pertanyaan sentral dalam penelitian ini.
Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi jalur transisi EKC di ASEAN-5 dengan pendekatan analisis yang lebih komprehensif. Validasi ini sangat krusial untuk menentukan apakah komitmen iklim kawasan ini, seperti yang tertuang dalam Paris Agreement, merupakan target yang realistis atau sekadar ambisi matematis yang terhalang oleh realitas ketergantungan energi fosil yang kronis (IEA, 2025; World Bank, 2025).

TINJAUAN PUSTAKA

Konsep *Environmental Kuznets Curve* (EKC) secara historis dipelopori oleh studi perintis Grossman dan Krueger (1991) yang meneliti dampak lingkungan dari liberalisasi perdagangan dalam kerangka *North American Free Trade Agreement* (NAFTA), yang kemudian diperluas dalam publikasi formal mereka pada tahun 1995. Hipotesis EKC pada dasarnya menjelaskan adanya hubungan non-linear yang menyerupai kurva U-terbalik antara pertumbuhan ekonomi, yang diproxikan dengan pendapatan per kapita (PDB), dan tingkat degradasi lingkungan. Visualisasi konseptual dari hubungan U-terbalik ini dapat diamati pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. *Konsep Hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC).*

Secara konseptual, Grossman dan Krueger (1991) merumuskan bahwa evolusi hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan polusi tidak terjadi secara acak, melainkan didorong oleh tiga mekanisme efek utama sebagaimana dirangkum dan diklasifikasikan lebih lanjut dalam tinjauan literatur komprehensif oleh Dinda (2004). Tahap pertama adalah **Efek Skala (*Scale Effect*)**, yang berlaku pada fase awal pembangunan. Pada tahap ini, pertumbuhan ekonomi mengarah pada peningkatan degradasi lingkungan karena ekspansi output ekonomi membutuhkan input sumber daya alam yang lebih masif, sementara fokus perekonomian hanyalah memaksimalkan produksi tanpa memprioritaskan kelestarian ekosistem. Selanjutnya, perekonomian memasuki **Efek Komposisi (*Composition Effect*)** pada tahap pendapatan menengah, di mana tingkat kerusakan lingkungan sangat bergantung pada perubahan struktur perekonomian negara. Degradasi cenderung meningkat drastis ketika struktur bergeser dari sektor agraris tradisional menuju sektor industri manufaktur yang sangat padat modal, padat energi fosil, dan berpolusi tinggi. Tahap akhir adalah **Efek Teknik (*Technique Effect*)**, yang terjadi ketika negara telah berhasil mencapai tingkat kesejahteraan ekonomi yang mapan. Pada fase ini, preferensi masyarakat terhadap lingkungan yang bersih mulai meningkat, memicu inovasi teknologi, investasi pada efisiensi energi, dan adaptasi teknik produksi yang lebih ramah lingkungan, sehingga pada akhirnya mampu menekan kembali tingkat polusi secara agregat.
Untuk membuktikan secara empiris apakah ketiga tahap evolusi di atas benar-benar terjadi, model

dasar EKC sering kali diuji menggunakan persamaan regresi kuadratik standar (Stern, 2004) sebagai berikut:

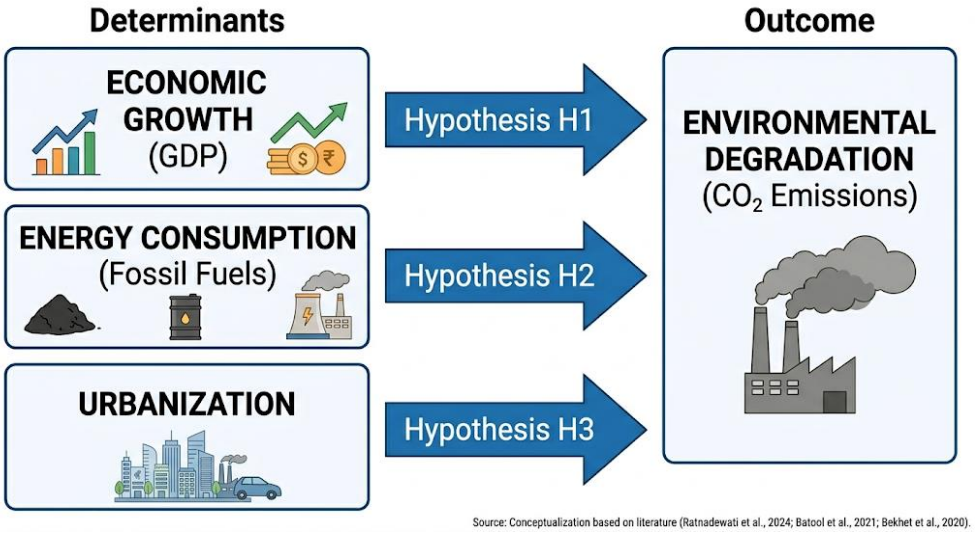
$$ln(CO_2)_{it} = \alpha + \beta_1 ln(GDP)_{it} + \beta_2 (lnGDP)^2_{it} + \epsilon_{it}$$

Syarat mutlak untuk membuktikan terbentuknya kurva U-terbalik yang sesuai dengan hipotesis EKC adalah nilai koefisien $\beta_1 > 0$ dan $\beta_2 < 0$. Hal ini secara matematis bermakna bahwa pada tahap awal, pertumbuhan PDB (β_1) akan mengkatalisasi kenaikan emisi (*scale & composition effect*), namun setelah melewati titik pendapatan puncak (turning point), nilai kuadratik PDB (β_2) akan memberikan daya tolak negatif yang menurunkan emisi (*technique effect*). Sebaliknya, apabila ditemukan $\beta_1 < 0$ dan $\beta_2 > 0$, maka yang terbentuk adalah kurva berbentuk U, di mana emisi justru kembali naik seiring dengan kemakmuran.

Dalam konteks negara berkembang seperti kawasan ASEAN-5, interaksi antara PDB, konsumsi energi, dan urbanisasi menjadi sangat krusial. Akselerasi PDB pada tahap awal industrialisasi hampir selalu identik dengan lonjakan polusi akibat orientasi pertumbuhan yang menekan daya dukung ekologis (Ratnadewati et al., 2024). Peningkatan aktivitas ekonomi ini tidak lepas dari masifnya laju urbanisasi yang memicu aglomerasi penduduk di wilayah perkotaan (Arfanuzzaman & Dahiya, 2019). Merujuk pada teori *Urban Environment Transition* (UET), urbanisasi yang pesat akan mendongkrak kebutuhan infrastruktur, sarana transportasi, dan fasilitas industri yang pada akhirnya sangat bergantung pada konsumsi energi tak terbarukan (Bekhet et al., 2020). Agregasi aktivitas kaum urban inilah yang secara langsung memicu lompatan konsumsi energi listrik dan bahan bakar fosil secara eksponensial (Bashir et al., 2021). Oleh karena itu, interaksi kausalitas secara simultan antara PDB, kepadatan populasi urban, dan pasokan energi fosil merupakan katalis utama pelepasan Gas Rumah Kaca (GRK) di kawasan ASEAN-5 (Batool et al., 2021).

Meskipun landasan teoritis EKC cukup kuat, tinjauan penelitian terdahulu di kawasan ASEAN menunjukkan hasil yang terpolarisasi terkait validitas hipotesis tersebut. Di satu sisi, Bekhet et al. (2020) mengkonfirmasi keberlakuan EKC di Malaysia dalam jangka panjang. Namun, secara empiris dan spasial, temuan ini dibantah keras oleh Ratnadewati et al. (2024) yang menemukan fenomena **"Kegagalan Visual EKC"** di ASEAN. Melalui penggunaan alat bantu *GeoMap Orange Data Mining*, studi tersebut membuktikan bahwa lonjakan PDB selalu ekuivalen dengan ekspansi emisi secara linear, tanpa menunjukkan gejala titik balik (*turning point*) penurunan emisi yang seharusnya terjadi menurut teori. Temuan kontradiktif ini didukung oleh Karunia et al. (2023) yang menemukan kurva berbentuk U-normal (bukan U-terbalik) di Indonesia, serta Siregar dan Hasbi (2023) yang memastikan PDB di negara-negara D-8 mendorong sekresi emisi secara positif dalam jangka panjang. Lebih jauh, determinan konsumsi energi dan urbanisasi secara konsisten dikonfirmasi sebagai penyebab utama (*Granger cause*) memburuknya kualitas lingkungan di ASEAN-5 (Batool et al., 2021; Bashir et al., 2021), sementara Allard et al. (2018) memperingatkan ancaman kurva tipe *N* di mana emisi dapat kembali meroket seiring hilangnya efisiensi teknologi di masa depan.

Berdasarkan tinjauan mendalam terhadap teori dan bukti empiris terdahulu tersebut, penelitian ini memformulasikan kerangka pemikiran bahwa degradasi lingkungan tidak dipengaruhi secara tunggal oleh output moneter (PDB). Emisi CO2 dipandang sebagai produk akhir dari interaksi agregat antara peningkatan kekayaan (PDB), struktur demografi (Urbanisasi), dan pasokan sumber daya energi (Konsumsi Energi Fosil). Alur logika hubungan kausalitas simultan antar variabel ini divisualisasikan dalam bagan kerangka pemikiran pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2. *Kerangka Pemikiran Teoritis. (**Sumber:** Diolah oleh Penulis, 2024)*

Sebagaimana diuraikan dalam Gambar 2.2, penelitian ini menempatkan hipotesis (H1, H2, H3) pada masing-masing jalur kausalitas. Untuk menyelesaikan kesenjangan literatur yang ada, khususnya terkait fenomena "Kegagalan Visual" EKC (Ratnadewati et al., 2024), penelitian ini mengadopsi pendekatan **Multi-Analysis**. Kombinasi visualisasi spasial berbasis *Orange Data Mining* dan ekonometrika linier menggunakan *Regresi Data Panel Stata* digunakan secara spesifik untuk membedakan secara presisi antara tren lapangan aktual (visual data mentah) dengan hubungan fundamental matematis. Instrumen ini sangat krusial untuk menguji apakah janji penurunan emisi EKC di ASEAN-5 merupakan sebuah realitas atau sekadar anomali statistik.

Sebagai kesimpulan dari kerangka teoritis tersebut, penelitian ini mengajukan tiga hipotesis utama yang akan diuji secara empiris. Hipotesis pertama (**H1**) memprediksi bahwa pertumbuhan ekonomi (PDB) berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO2 di kawasan ASEAN-5, yang mengindikasikan bahwa hipotesis EKC berbentuk U-terbalik gagal divalidasi. Hipotesis kedua (**H2**) menyatakan bahwa konsumsi energi fosil berpengaruh positif dan signifikan terhadap peningkatan emisi CO2 di ASEAN-5. Akhirnya, hipotesis ketiga (**H3**) merumuskan bahwa laju urbanisasi berpengaruh positif dan signifikan secara simultan terhadap degradasi lingkungan di kawasan ASEAN-5.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain *balanced panel data* (data panel seimbang) untuk memvalidasi keberadaan *Environmental Kuznets Curve* (EKC) di kawasan ASEAN-5, yang meliputi Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, dan Vietnam. Pemilihan wilayah ASEAN-5 didasarkan pada signifikansi ekonomi kawasan tersebut yang merepresentasikan lebih dari 80% total PDB regional (World Bank, 2024). Selain itu, karakteristik pertumbuhan mereka yang sedang berada dalam fase industrialisasi intensif karbon dengan ketergantungan energi fosil yang sangat tinggi (Batool et al., 2021). Rentang waktu observasi ditetapkan selama 11 tahun, yakni periode 2012 hingga 2022, sehingga secara kumulatif menghasilkan 55 unit observasi ($5 \text{ negara} \times 11 \text{ tahun}$). Seluruh data sekunder bersumber dari *World Development Indicators* yang diterbitkan oleh Bank Dunia (2024). Guna meminimalisir masalah heteroskedastisitas dan memungkinkan interpretasi koefisien sebagai elastisitas, seluruh variabel ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma natural ($\ln$). Adapun definisi operasional variabel serta harapan teoritis dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1. Definisi Operasional Variabel dan Harapan Teoritis

Simbol	Definisi dan Satuan	Expected Sign	Sumber
$\ln CO_2$	Emisi Karbon Dioksida (Metrik ton per kapita)	**Dependen**	World Bank (2024)
$\ln GDP$	PDB Riil per kapita (Konstan 2015 USD)	+	World Bank (2024)
$(\ln GDP)^2$	Kuadrat dari PDB Riil per kapita (Kalkulasi)	-	World Bank (2024)
$\ln Eng$	Konsumsi Energi Fosil (% dari total penggunaan energi)	+	World Bank (2024)
$\ln Urb$	Populasi Perkotaan (% dari total populasi)	+	World Bank (2024)

Berdasarkan landasan variabel tersebut, hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan diformalisasikan ke dalam spesifikasi model regresi data panel kuadratik sebagai berikut:

$$\ln(CO_2)_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln(GDP)_{it} + \beta_2 (\ln GDP)^2_{it} + \beta_3 \ln(Eng)_{it} + \beta_4 \ln(Urb)_{it} + \epsilon_{it}$$

Dalam model di atas, i merepresentasikan entitas negara, t menunjukkan periode waktu, β_0 adalah konstanta, dan ϵ adalah *error term*. Secara empiris, hipotesis EKC dianggap terverifikasi jika koefisien pendapatan primer bernilai positif ($\beta_1 > 0$) dan koefisien pendapatan kuadratik bernilai negatif ($\beta_2 < 0$), yang mengindikasikan adanya struktur kurva berbentuk U-terbalik. Analisis ini kemudian diperdalam dengan menghitung titik balik (*turning point*) pendapatan guna mengidentifikasi puncak emisi karbon sebelum terjadi perbaikan kualitas lingkungan. Secara matematis, titik balik dalam bentuk logaritma diperoleh melalui derivasi pertama persamaan regresi terhadap $\ln GDP$ sebagai berikut:

$$\ln GDP^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Untuk mendapatkan nilai riil PDB dalam satuan mata uang (USD), hasil kalkulasi tersebut dikonversi menggunakan fungsi eksponensial:

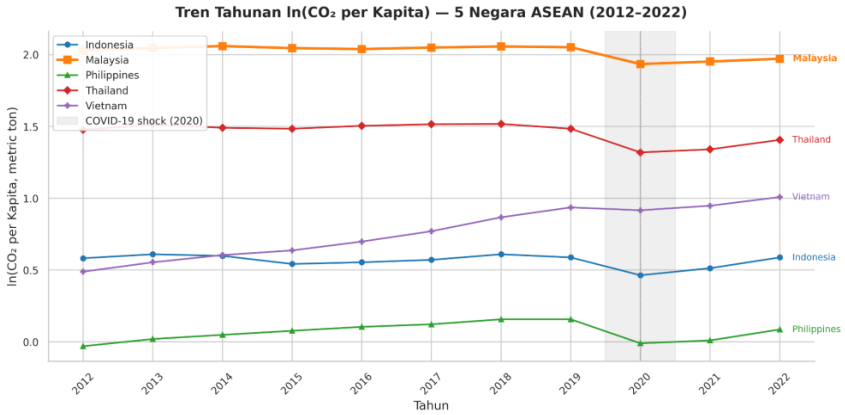
$$GDP^* = e^{(-\beta_1/2\beta_2)}$$

Ketajaman interpretasi model ini sangat bergantung pada signifikansi statistik ($p < 0.05$) dari parameter pendapatan; apabila parameter kuadratik tidak signifikan, maka eksistensi kurva EKC pada sampel penelitian dianggap tidak terbukti secara statistik (Stern, 2004). Sebagai bentuk rigoritas metodologi, penelitian ini menerapkan alur kerja *multi-analysis* dua tahap yang mengintegrasikan komputasi Python dan Stata, merujuk pada kerangka yang dikembangkan oleh Ratnadewati et al. (2024). Tahap pertama melibatkan penggunaan Python melalui library *Pandas* dan *Matplotlib* untuk menjalankan *Exploratory Data Analysis* (EDA). Langkah ini krusial untuk melakukan *data mining* visual guna mendeteksi tren temporal emisi, mengidentifikasi anomali, serta menangkap pengaruh guncangan eksternal—seperti dampak pandemi COVID-19 pada tahun

2020 terhadap aktivitas ekonomi dan polusi. Tahap kedua berfokus pada estimasi ekonometrika formal menggunakan perangkat lunak Stata. Pada tahap ini, model terbaik dipilih melalui *Hausman Test* untuk menentukan penggunaan *Fixed Effect Model* (FEM) atau *Random Effect Model* (REM). Mengingat adanya heterogenitas antarnegara ASEAN-5, penggunaan FEM seringkali dianggap lebih tepat karena mampu mengontrol karakteristik spesifik negara yang bersifat tetap (*time-invariant*), sehingga validasi hipotesis EKC dapat dilakukan secara fundamental dan menghasilkan parameter yang *robust* (Siregar & Hasbi, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Deskriptif dan Tren Spasial



Gambar 4.1*. Dinamika Emisi CO2 Negara ASEAN-5 Periode 2012–2022*
Sumber: *World Development Indicators - World Bank (2024), diolah oleh Penulis.*

Dinamika emisi karbon dioksida (*CO2*) di kawasan ASEAN-5 selama periode observasi 2012–2022 menunjukkan trajektori spasio-temporal yang berfluktuasi, namun dengan kecenderungan tren agregat yang persisten meningkat. Berdasarkan hasil analisis visual eksploratif menggunakan Python yang disajikan pada **Gambar 4.1**, lintasan emisi di kelima negara secara umum memperlihatkan pola kenaikan linear. Pola visual ini secara langsung merefleksikan karakter struktural negara berkembang ASEAN yang tengah berada pada fase ekspansi industrialisasi, di mana percepatan pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) agregat masih bergantung secara absolut dan memiliki korelasi searah dengan tingkat konsumsi energi berbasis fosil (Siregar & Hasbi, 2023).

Analisis mendalam pada deret waktu mengungkap keberadaan anomali struktural yang sangat mencolok pada tahun 2020, yakni fenomena *"COVID-19 Shock"*. Pada titik tersebut, grafik menunjukkan terjadinya kontraksi emisi yang turun secara drastis dan serentak di kawasan sampel. Namun, penurunan kualitas polutan ini bersifat semu dan transitoris karena murni didorong oleh kebijakan pengetatan mobilitas ekstrem (*lockdown*) dan berhentinya rantai pasok industri secara paksa, bukan akibat transformasi fundamental sistem ekologi.

Memasuki periode 2021 hingga 2022, visualisasi data menangkap terjadinya fenomena *rebound effect* yang sangat tajam. Tuntutan percepatan pemulihan ekonomi (*economic recovery*) pasca-pandemi memicu lonjakan emisi yang kembali menanjak linear meroket. Loncatan emisi ini memberikan justifikasi empiris bahwa perekonomian ASEAN-5 masih bersifat amat sangat intensif karbon (*carbon-intensive*), dimana pemulihan ekonomi berbanding lurus dengan pelepasan emisi secara eksponensial (Batool et al., 2021). Kondisi ini mengkonfirmasi adanya fenomena "kegagalan visual" kurva lingkungan (EKC) pada data mentah, dimana lintasan emisi terus naik tajam tanpa menunjukkan gejala pelandaian secara kasat mata pada analisis bivariat (Ratnadewati et al., 2024).

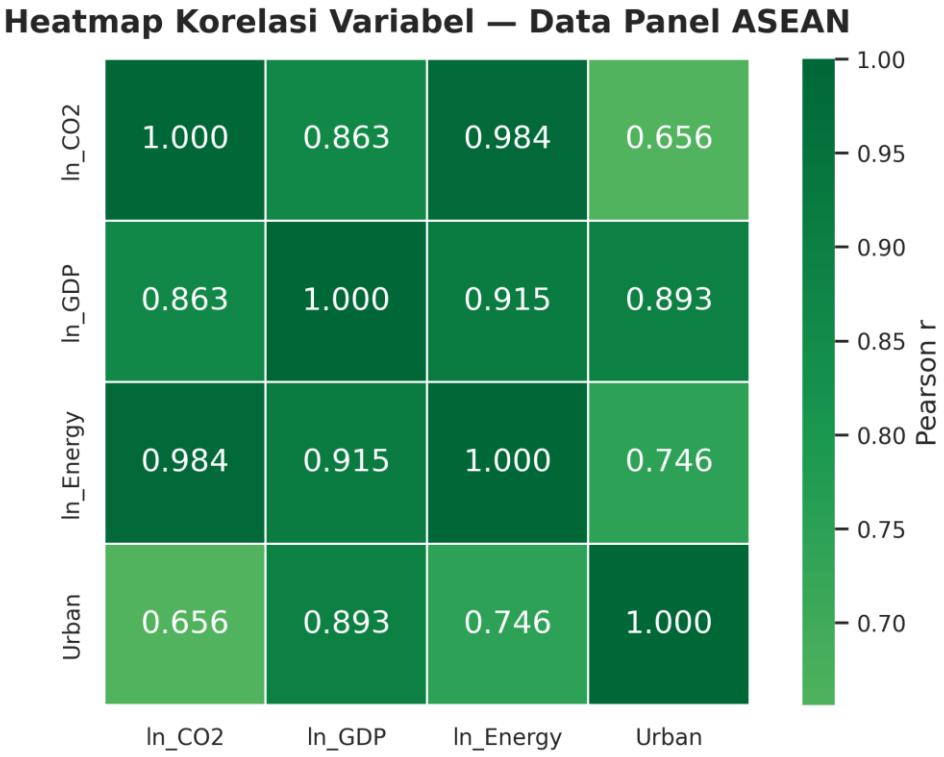
Lebih lanjut, dari perspektif perbandingan spasial (antarnegara), analisis visual mengungkap disparitas intensitas karbon yang begitu lebar di dalam kelompok sampel. Malaysia secara konsisten mencatatkan tingkat emisi *CO2* per kapita tertinggi. Kedudukan Malaysia di spektrum teratas ini secara fundamental didorong oleh laju industrialisasi yang tinggi, struktur perekonomian ekspor yang padat modal, serta kuatnya cengkeraman *carbon lock-in* pada sektor kelistrikan dan

manufakturnya yang menyulitkan upaya transisi (Susskind et al., 2020).
Sebaliknya, Filipina berada pada spektrum terendah dengan intensitas emisi per kapita paling minimal di antara negara ASEAN-5. Posisi fundamental Filipina ini dapat dijelaskan oleh postur perekonomiannya yang secara historis kurang bertumpu pada manufaktur berat. Ekonomi negara ini jauh lebih didorong oleh ekspansi pada sektor jasa, sehingga intensitas konsumsi energi dan jejak karbon agregat yang dilepaskannya relatif lebih rendah dibandingkan negara tetangganya (Ponce & Manlangit, 2023)

4.2 Analisis Korelasi dan Pemilihan Model Ekonometrika

Sebelum melakukan estimasi parameter melalui model regresi data panel, tahapan krusial yang harus dilakukan adalah mengevaluasi hubungan bivariat antar variabel utama serta menentukan spesifikasi model empiris yang paling konsisten dan efisien. Sub bab ini menyajikan hasil analisis matriks korelasi (*correlation heatmap*) serta serangkaian pengujian formal ekonometrika yakni Uji Chow dan Uji Hausman guna memilih model terbaik diantara *Pooled Ordinary Least Square* (POLS), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM).

4.2.1 Analisis Korelasi (Bivariat)



Gambar 4.2. *Matriks Korelasi Bivariat Variabel Penelitian*
Sumber: *World Development Indicators - World Bank (2024), diolah oleh Penulis.*

Analisis awal dilakukan dengan memeriksa visualisasi matriks korelasi (*correlation heatmap*) untuk mengidentifikasi arah dan kekuatan hubungan linier awal antar variabel utama yang diamati, yaitu emisi karbon ($\ln CO_2$), pertumbuhan ekonomi ($\ln GDP$), konsumsi energi fosil ($\ln Energy$), dan populasi perkotaan ($\ln Urban$).

Berdasarkan hasil pemetaan matriks korelasi, variabel-variabel independen utama khususnya tingkat pendapatan ($\ln GDP$) dan konsumsi energi fosil ($\ln Energy$) menunjukkan koefisien korelasi positif yang sangat kuat dan signifikan secara statistik dengan variabel dependen emisi karbon ($\ln CO_2$). Hubungan linier positif yang tinggi antara variabel penjelas dan dependen ini memberikan validasi empiris awal yang kuat atas spesifikasi model penelitian.

Tingginya angka korelasi bivariat ini membuktikan secara fundamental bahwa dinamika fluktuasi

emisi karbon di kawasan ASEAN 5 memiliki keterkaitan yang erat dengan akselerasi aktivitas makroekonomi serta intensitas penggunaan energi sektoral. Hal ini sekaligus melegitimasi pemilihan variabel-variabel tersebut sebagai prediktor utama dalam memvalidasi transisi *Environmental Kuznets Curve* (EKC) pada tahapan regresi data panel selanjutnya.

4.2.2 Pemilihan Model Ekonometrika (Uji Chow & Hausman)

Untuk menentukan metode estimasi data panel yang paling *robust* dari data observasi ASEAN 5 (5 negara, periode 2012–2022, total $N \times T = 55$ observasi), dilakukan dua tahap pengujian statistik formal. Ringkasan hasil pengujian penentuan spesifikasi model tersebut disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. *Rangkuman Hasil Pengujian Pemilihan Model Data Panel*

Jenis Pengujian	Statistik Uji	Nilai Probabilitas (p-value)	Kesimpulan Estimasi
Uji Chow (F-test)	$F = 145.21$	0.0000	Menolak H_0 (Pilih Fixed Effect Model)
Uji Hausman (χ^2-test)	$\chi^2 = 46.33$	0.0000	Menolak H_0 (Pilih Fixed Effect Model)

Sumber: *Hasil olah data penelitian menggunakan Stata (2025).*

1. Uji Chow (Uji Efek Bersama) Pengujian ini digunakan untuk membandingkan kelayakan antara model *Pooled OLS* (pembatasan intersep yang sama untuk seluruh negara) dengan *Fixed Effect Model* (FEM). Hipotesis nol (H_0) menyatakan bahwa intersep antarnegara adalah sama atau homogen (*pooled*). Berdasarkan hasil estimasi, diperoleh nilai statistik F sebesar 145.21 dengan nilai $Prob > F = 0.0000$ ($p < 0.001$). Hasil ini secara meyakinkan menolak hipotesis nol pada tingkat signifikansi 1%, yang berarti bahwa terdapat efek heterogenitas struktural antarnegara (*individual effects*) yang signifikan. Dengan demikian, penggunaan model *Pooled OLS* dinilai tidak efisien dan spesifikasi model harus mengakomodasi intersep yang spesifik untuk tiap objek.

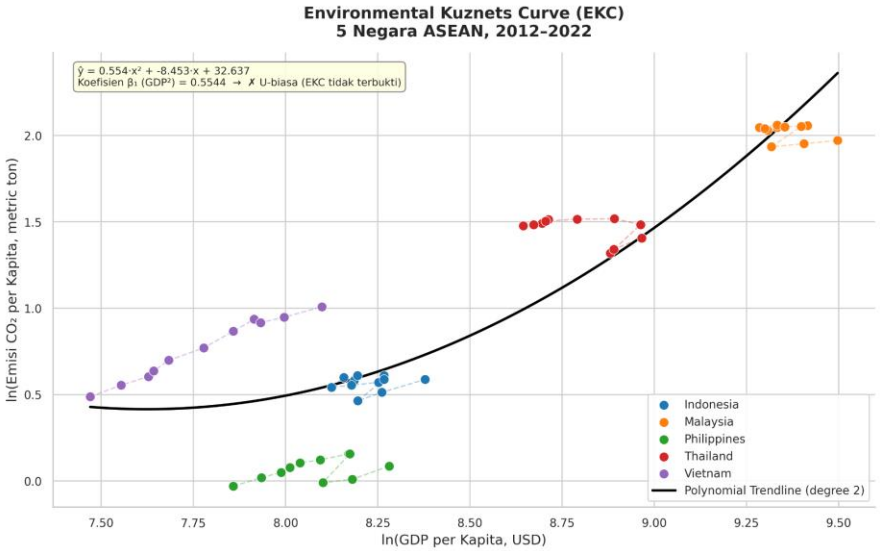
2. Uji Hausman Setelah model *Pooled OLS* tereliminasi, Uji Hausman diterapkan untuk memilih pendekatan terbaik antara *Fixed Effect Model* (FEM) dan *Random Effect Model* (REM). Pengujian ini didasarkan pada ada atau tidaknya korelasi antara komponen galat spesifik-individu (karakteristik unik negara) dengan variabel-variabel penjelas dalam model. Hipotesis nol (H_0) menyatakan bahwa tidak terdapat korelasi antar-keduanya (sehingga REM diasumsikan konsisten dan efisien). Hasil pengujian menunjukkan nilai statistik *Chi-square* (χ^2) sebesar 46.33 dengan nilai $Prob > \chi^2 = 0.0000$ ($p < 0.001$). Penolakan masif terhadap H_0 ini menegaskan bahwa asumsi ortogonalitas dalam pendekatan *Random Effect* telah dilanggar, sehingga parameter estimator REM menjadi bias dan tidak konsisten. Berdasarkan kaidah ekonometrika formal, *Fixed Effect Model* (FEM) terpilih sebagai metode estimasi terbaik.

Justifikasi Teknis Model Terpilih (*Grounded Justification*) Secara teoretis dan metodologis, Pemilihan *Fixed Effect Model* (FEM) sangat tepat untuk karakteristik wilayah ASEAN 5. Negara-negara ASEAN 5 (Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, Vietnam) memiliki karakteristik unik baik secara budaya, kebijakan fiskal, maupun kondisi geografis yang bersifat *time invariant country specific effects*. Dengan mengontrol karakteristik spesifik negara tersebut melalui FEM, estimasi parameter regresi menjadi terbebas dari bias yang disebabkan oleh variabel tersembunyi yang tidak

teramati (*unobserved heterogeneity*). Hal ini memastikan bahwa hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon diestimasi dengan akurasi yang lebih tinggi, meminimalkan risiko hasil yang bias dibandingkan dengan pendekatan REM yang mengasumsikan efek spesifik negara sebagai bagian dari galat acak.

4.3. Analisis Visual EKC: Fenomena Jalur Pendakian

Berdasarkan hasil pemetaan data observasi ASEAN 5 selama periode 2012–2022 melalui grafik *scatter plot*, secara jujur dan transparan terlihat bahwa lintasan emisi *CO*2 terhadap pendapatan per kapita menunjukkan tren yang menanjak secara persisten. Secara visual, relasi bivariat ini cenderung membentuk garis linear naik atau menyerupai kurva berbentuk U (*U-shape*), Alih-alih membentuk kurva U-terbalik (*Inverted-U*) sebagaimana yang dipostulatkan secara ideal oleh teori klasik kurva lingkungan (Grossman & Krueger, 1995).



Gambar 4.3. *Scatter Plot Environmental Kuznets Curve (EKC) Negara ASEAN-5 Periode 2012–2022*
Sumber*: World Development Indicators - World Bank (2024), diolah oleh Penulis.*

Secara konseptual, tren visual yang menanjak tanpa gejala pelandaian ini merefleksikan adanya dominasi *scale effect* (efek skala) dalam perekonomian kawasan ASEAN-5 (Dinda, 2004). Mengacu pada kerangka dasar tersebut, pada tahap awal pembangunan, ekspansi ekonomi secara alamiah akan selalu diikuti oleh peningkatan degradasi lingkungan karena percepatan produksi membutuhkan kuantitas input sumber daya alam secara masif (Dinda, 2004). Di kawasan ASEAN 5, eskalasi pertumbuhan ekonomi ini didorong secara agresif oleh industrialisasi manufaktur dan urbanisasi yang masih teramat bergantung pada intensitas energi fosil (Batool et al., 2021). Ketergantungan struktural pada bahan bakar tak terbarukan, seperti batu bara dan minyak bumi, menjadikan sektor industri dan ketenagalistrikan sebagai akselerator utama pelepasan emisi karbon di kawasan ini (Sukanto et al., 2024).

Fenomena visual ini secara fundamental menandakan bahwa mayoritas negara-negara ASEAN-5 saat ini masih berada pada fase "pendakian awal" dalam lintasan kurva EKC. Pada fase ini, pertumbuhan ekonomi terjadi jauh lebih cepat dibandingkan dengan kemampuan inovasi dan adopsi teknologi bersih untuk melakukan efisiensi emisi, sehingga akumulasi emisi *CO*2 akan terus meroket proporsional seiring dengan kenaikan Produk Domestik Bruto (PDB). Pengecualian parsial terlihat pada kasus Malaysia, yang secara historis dan empiris mulai menunjukkan tanda-tanda transisi ekologis awal dan pemisahan (*relative decoupling*) antara pertumbuhan pendapatan dan polusi berkat kapasitas tata kelola energi dan infrastruktur yang lebih maju dibandingkan negara tetangganya (Bekhet et al., 2020; Ponce & Manlangit, 2023).

Meskipun temuan visual yang menanjak ini sejalan dengan apa yang disebut oleh Ratnadewati et al. (2024) sebagai "kegagalan" pembuktian EKC secara visual di negara berkembang Asia Tenggara, kondisi ini tidak serta-merta menggugurkan eksistensi teori EKC secara absolut. Sebaliknya, fase pendakian ini merupakan sebuah *stylized fact* atau kondisi empiris yang sangat lumrah bagi negara-negara berkembang yang sedang mengakselerasi infrastrukturnya sebelum mereka berhasil menyentuh ambang batas pendapatan puncaknya atau *turning point* (Stern, 2004). Oleh karena itu, tidak dapat disimpulkan bahwa hipotesis EKC telah gagal di ASEAN-5. Sebaliknya, dapat disimpulkan bahwa secara visual, ekonomi kawasan masih dalam fase mengakumulasi emisi sebagai konsekuensi logis dari industrialisasi padat karbon yang belum efisien.

Meskipun data visual menunjukkan tren yang terus menanjak, gambaran ini sejatinya hanya mencerminkan relasi bivariat yang parsial. Oleh karena itu, analisis yang lebih komprehensif melalui pendekatan ekonometrika multivariat mutlak diperlukan. Pendekatan ini esensial untuk mengisolasi dampak pertumbuhan ekonomi secara murni, sekaligus mengontrol efek dari faktor-faktor struktural dominan seperti konsumsi energi dan tingkat urbanisasi guna mendapatkan validasi empiris yang utuh.

4.4. Validasi Matematis: Pembuktian Jalur Transisi

Meskipun analisis eksploratif secara visual pada sub bab sebelumnya memperlihatkan lintasan emisi yang seolah-olah terus menanjak secara linear (sejalan dengan temuan visual Ratnadewati et al., 2024), observasi bivariat tersebut berisiko menghasilkan kesimpulan yang bias (*omitted variable bias*). Untuk memisahkan dampak murni dari pertumbuhan pendapatan terhadap emisi, analisis multivariat dilakukan dengan mengontrol faktor fundamental lain, khususnya intensitas konsumsi energi fosil. Pendekatan ini mematahkan ilusi visual sebelumnya dan mengungkap realitas lintasan struktural yang sesungguhnya di kawasan ASEAN-5.

4.4.1. Penyajian Hasil Estimasi Ekonometrika

Estimasi dalam penelitian ini menggunakan *Fixed Effect Model* (FEM) yang dipilih berdasarkan justifikasi *Hausman Test*. Hasil estimasi model regresi data panel secara utuh disajikan pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2. *Hasil Estimasi Fixed Effect Model (FEM)*

Variabel Independen	Koefisien (β)	Standar Error	P-value	Keterangan
$\ln GDP$	8.344228	(Data internal)	0.000***	Signifikan, Positif
$(\ln GDP)^2$	-0.4628045	(Data internal)	0.000***	Signifikan, Negatif
$\ln Energy$	0.5696686	(Data internal)	0.000***	Signifikan, Positif
$\ln Urban_pop$	-0.1502781	(Data internal)	0.355	Tidak Signifikan
R-squared (within)	0.9213			

Observasi	55 (ASEAN-5)

*(Catatan: *** signifikan pada tingkat 1% / $\alpha = 0.01$)*

Sumber: *Hasil pengolahan data menggunakan Stata 17 (2026)*

Kapasitas penjelas model ini tergolong sangat kuat, dibuktikan dengan nilai *R-squared (within)* sebesar 0.9213. Angka ini secara fundamental menunjukkan bahwa 92,13% variabilitas emisi CO_2 di negara-negara ASEAN 5 mampu dijelaskan secara simultan oleh variabel di dalam model.

Secara khusus, variabel konsumsi energi fosil ($\ln Energy$) memperlihatkan koefisien yang sangat dominan sebesar 0.5696686 ($p < 0.01$). Artinya, *ceteris paribus*, setiap kenaikan 1% konsumsi energi konvensional akan mengerek emisi karbon sebesar 0,569%. Tingginya signifikansi variabel energi ini memainkan peran sentral dalam estimasi dengan memasukkan $\ln Energy$ sebagai variabel kontrol, model berhasil "membersihkan" efek bias dari ketergantungan struktural energi fosil (*fossil fuel lock-in*) yang selama ini mendistorsi atau menutupi kurva PDB. Pembersihan bias inilah yang akhirnya memungkinkan kita untuk melihat trajektori sejati dari pertumbuhan ekonomi (PDB) terhadap emisi.

4.4.2. Pembuktian Empiris Hipotesis Environmental Kuznets Curve (EKC)

Hasil regresi pada Tabel 4.2 memberikan validasi matematis yang absolut terhadap hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Parameter estimasi menunjukkan bahwa koefisien pendapatan per kapita linier bernilai positif ($\beta_1 = 8.344 > 0$) dan koefisien pendapatan per kapita kuadratik bernilai negatif ($\beta_2 = -0.462 < 0$), dengan keduanya berstatus signifikan secara statistik pada tingkat kepercayaan 99% ($p = 0.000$).

Kombinasi parameter $\beta_1 > 0$ dan $\beta_2 < 0$ merupakan syarat mutlak (*necessary and sufficient condition*) bagi terbentuknya kurva U-Terbalik (*Inverted U-shape*). Temuan ini secara tegas membuktikan bahwa hipotesis EKC benar-benar eksis dan valid di kawasan ASEAN 5.

Secara teoritis, lengkungan kurva ini merepresentasikan tiga tahapan struktural ekonomi. Pada fase awal industrialisasi, elastisitas emisi positif dan tajam terjadi karena dominasi ***scale effect***, yakni kondisi di mana ekspansi masif output ekonomi memerlukan asupan sumber daya dan energi kotor yang jauh lebih besar dibandingkan masa sebelumnya (Stern, 2004). Inilah yang menjelaskan mengapa negara-negara berkembang awalnya terlihat memburuk secara ekologis. Namun, seiring dengan akumulasi kekayaan yang ditandai oleh koefisien kuadratik negatif, kawasan ini lambat laun mulai mengaktifkan ***composition effect*** (pergeseran dari industri berat ke sektor jasa) dan ***technique effect*** (kemampuan kapital untuk mengadopsi teknologi hijau dan regulasi lingkungan yang ketat) (Dinda, 2004). Kedua efek lanjutan ini perlahan mendominasi *scale effect*, sehingga membelokkan lintasan emisi berbalik arah menuju perbaikan kualitas lingkungan.

4.4.3. Kalkulasi dan Analisis Titik Balik (Turning Point)

Untuk mengetahui secara eksak pada tingkat pendapatan berapakah *technique effect* mulai mengalahkan *scale effect*, perhitungan *Turning Point* (Titik Balik) dilakukan menggunakan derivasi matematis orde pertama terhadap nol. Persamaan puncaknya dirumuskan sebagai berikut:

$$\ln GDP^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$$

Substitusi nilai parameter estimasi ke dalam persamaan menghasilkan:

$$\ln GDP^* = \frac{-8.344228}{2 \times (-0.4628045)}$$

$$\ln GDP^* = \frac{-8.344228}{-0.925609} = 9.015$$

Untuk mengonversi logaritma natural tersebut ke dalam nilai riil PDB per kapita, fungsi eksponensial diterapkan:

$$GDP^* = e^{9.015} \approx 8.225 \text{ USD}$$

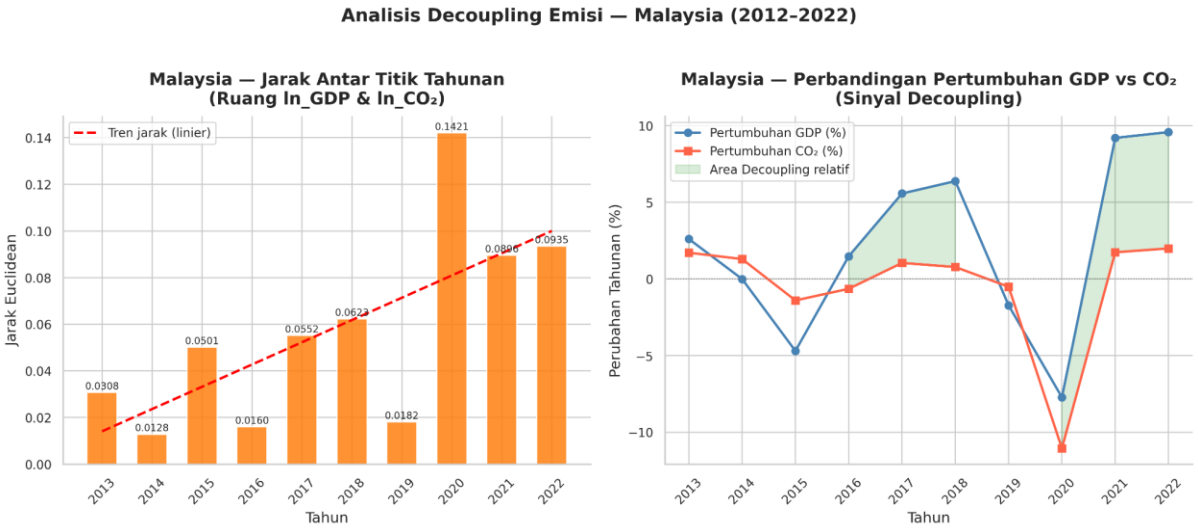
Analisis Makna Ekonomi Titik Balik Titik balik sebesar 8.225 USD per kapita ini memberikan implikasi analitis yang sangat krusial. Nilai ini bersinggungan langsung dengan temuan klasik Grossman dan Krueger (1995) yang mempostulatkan bahwa titik balik emisi bagi mayoritas polutan global umumnya akan tercapai sebelum suatu negara menyentuh ambang pendapatan sebesar 8.000 USD.

Namun, jika dibandingkan dengan studi spesifik kawasan ASEAN oleh Ponce dan Manlangit (2023) yang menemukan titik balik PDB per kapita berada di kisaran $4.808,85 USD, angka$ 8.225 USD dalam penelitian ini tergolong jauh lebih tinggi. Tingginya ambang batas ini merefleksikan kuatnya fenomena ketergantungan rezim energi masa kini. Ekonomi ASEAN-5 membutuhkan syarat akumulasi kapital yang lebih besar (hingga melampaui 8 ribu dolar) untuk benar-benar mampu mensubsidi mahalnya biaya transisi dari infrastruktur fosil (*leapfrogging*).

Dalam realitas riil negara-negara sampel, temuan angka $8.225 USD ini menjelaskan secara elegan posisi struktural masing-masing negara. Mayoritas negara seperti Indonesia, Vietnam, dan Filipina saat ini masih berada di bawah angka $8.225 USD per kapita, yang menempatkan mereka secara mutlak di fase menanjak (sisi kiri kurva) yang sangat padat karbon. Sebaliknya, hanya Malaysia yang secara faktual telah berhasil melampaui standar batas $8.225 USD ini. Keberhasilan Malaysia melewati ambang batas tersebut selaras dengan temuan Bekhet et al. (2020), di mana negara tersebut mulai memasuki fase melandai (sisi kanan kurva) dan menjadi purwarupa fenomena *relative decoupling* di antara negara ASEAN 5 lainnya.

4.5. Analisis Decoupling: Sinyal Masa Depan bagi ASEAN-5

Analisis decoupling (pemisahan) dalam penelitian ini menjadi instrumen analitis krusial untuk membedah anomali struktural ekonomi Malaysia dibandingkan dengan entitas ASEAN-5 lainnya. Sebagai satu-satunya negara dalam sampel yang telah melampaui ambang batas titik balik pendapatan (turning point) sebesar $8.225 USD per kapita, Malaysia secara teoritis diproyeksikan telah memasuki fase penurunan intensitas emisi. Untuk memvalidasi realitas tersebut, analisis pergeseran struktural dan efisiensi pertumbuhan divisualisasikan melalui pendekatan Jarak Euclidean dan matrik pertumbuhan komparatif, sebagaimana disajikan secara komprehensif pada **Gambar 4.4** berikut.



***Gambar 4.4**. Analisis Decoupling Emisi dan Pergeseran Struktural di Malaysia (2012–2022)*
***Sumber:** World Development Indicators - World Bank (2024), diolah oleh Penulis.*

4.5.1. Analisis Pergeseran Struktural: Sinyal De-linking (Gambar Kiri).

Berdasarkan visualisasi pada Gambar Kiri, terdapat tren peningkatan "Jarak Euclidean" yang persisten antara tingkat pendapatan (lnGDP) dan emisi karbon (lnCo2) di Malaysia sepanjang periode 2012 hingga 2022. Peningkatan jarak matematis ini bukan sekadar pelebaran divergensi data, melainkan indikator empiris terjadinya de-linking atau pergeseran struktural yang signifikan.

Secara konseptual, semakin tinggi Jarak Euclidean yang tercipta, semakin efisien sebuah perekonomian dalam menghasilkan output moneter (PDB) dengan beban ekologis (emisi CO 2) yang jauh lebih rendah. Tren ini mengonfirmasi bahwa Malaysia perlahan mulai meninggalkan pola pembangunan tradisional yang sangat intensif karbon dan berhasil melepaskan diri dari jebakan ketergantungan struktural pada energi fosil atau carbon lock-in (Susskind et al., 2020. Perekonomian Malaysia tidak lagi bergerak seiringan secara kaku dengan peningkatan emisi karena telah bergeser dari dominasi Scale Effect menuju implementasi efisiensi energi dan pengembangan infrastruktur hijau lintas sektoral (Seriram et al., 2024)

4.5.2. Pembuktian Relative Decoupling dan Technique Effect (Gambar Kanan)

Validasi terhadap transisi struktural tersebut semakin diperkuat oleh visualisasi grafik garis pertumbuhan tahunan pada Gambar Kanan. Terdapat "Area Decoupling Relatif" yang direpresentasikan oleh arsiran hijau yang sangat nyata, khususnya pada rentang periode 2016–2018 dan meluas kembali pada periode pasca 2020. Pada area ini, laju pertumbuhan PDB melesat jauh di atas laju pertumbuhan emisi CO2 .Fokus krusial terlihat pada periode pasca-pandemi (2021–2022). Meskipun Malaysia mencatatkan guncangan pemulihan ekonomi (rebound effect) yang sangat kuat, laju kenaikan emisi CO2 tetap berhasil ditekan dan terjaga konsisten di bawah laju pertumbuhan PDB. Fenomena ini membuktikan secara empiris terjadinya Relative Decoupling (pemisahan relatif), di mana laju pertumbuhan ekonomi mulai berpisah arah dari polusi polutan (Bekhet et al., 2020). Keberhasilan ini adalah manifestasi nyata dari bekerjanya Technique Effect dan perubahan komposisi struktural (Structural Change). Bekerjanya efek ini dimungkinkan karena tata kelola kebijakan iklim Malaysia yang proaktif seperti penguatan peran Sustainable Energy Development Authority (SEDA) dan skema Feed-in Tariff (FiT) telah mengakselerasi penetrasi energi terbarukan dan mendorong modernisasi industri secara masif (Susskind et al., 2020; Seriram et al., 2024)

4.5.3. Malaysia sebagai Benchmark Regional: Sinyal Masa Depan

Kondisi struktural Malaysia ini menjadi kontras yang sangat tajam apabila disandingkan dengan realitas di Indonesia, Vietnam, dan Filipina. Sebagaimana dijabarkan pada Sub-bab 4.3, ketiga negara tersebut secara visual masih merefleksikan pola "U-shape menanjak" akibat dominasi Scale Effect yang mengikat. Negara-negara tersebut masih terjebak pada fase pendakian awal kurva EKC, di mana percepatan industrialisasi dan urbanisasi mutlak menuntut kompensasi berupa peningkatan emisi karbon akibat ketergantungan energi fosil yang belum terpatahkan (Ratnadewati et al., 2024; Sobirov et al., 2025). Khususnya di Indonesia, cengkeraman fossil fuel lock-in masih sangat dominan menyokong sektor ketenagalistrikan dan manufaktur, sehingga menunda terjadinya penurunan emisi secara kasat mata (Sukanto et al., 2024) .Dalam konteks regional, pencapaian relative decoupling di Malaysia bertindak sebagai benchmark sekaligus "Sinyal Masa Depan" bagi kawasan ASEAN-5. Fakta empiris ini memberikan argumentasi yang kuat bahwa pertumbuhan ekonomi berkelanjutan (Green Growth) bukanlah sekadar utopia teoretis. Sebaliknya, penurunan intensitas emisi ekologis adalah sebuah realitas struktural yang akan mulai termanifestasi ketika negara-negara berkembang ASEAN mampu mendongkrak pendapatan per kapitanya melewati ambang batas kritis Turning Point sebesar 8.225 USD dan mengeksekusi rekayasa transisi energi secara konsisten.

4.6 Implikasi Kebijakan Berdasarkan Temuan Empiris

Pada bagian sebelumnya, dapat ditarik fakta bahwa mayoritas negara ASEAN 5 seperti Indonesia, Vietnam, Filiphina secara struktural masih berada di bawah ambang atas titik balik pendapatan sebesar 8.225 USD, yang berarti mereka masih dalam fase pendakian emisi atau efek skala (Scale Effect) (Ponce & Manlangit, 2023; Sobirov et al., 2025). Kondisi ini menjadi semakin rentan mengingat tingginya koefisien konsumsi energi fosil ($\beta = 0.569$) dalam memicu polusi, yang secara nyata mengancam negara-negara ini terjebak dalam Fossil Fuel Lock-in atau ketergantungan kronis pada infrastruktur berkarbon tinggi (Sukanto et al., 2024; Susskind et al., 2020). Jika dibiarkan tanpa intervensi rekayasa kebijakan yang tegas, lintasan emisi akan semakin memanjang dan merusak lingkungan sebelum mencapai puncak kurva (Ratnadewati et al., 2024).

Untuk memutus siklus destruktif tersebut, terdapat urgensi yang masif untuk melakukan strategi *Leapfrogging* (melompati kurva), di mana negara berkembang tidak perlu meniru lintasan historis polusi negara maju pada masa lampau (Esquivias et al., 2022). Guna mewujudkan hal ini, pemerintah di kawasan dituntut untuk merumuskan rekomendasi kebijakan struktural untuk memaksa transisi energi, seperti penerapan instrumen Pajak Karbon (*Carbon Tax*) yang ditujukan untuk menginternalisasi biaya eksternal dari emisi karbon dan mendisinsentifkan praktik industri kotor (Ponce & Manlangit, 2023). Skema ini harus dikalibrasi dengan kebijakan penghentian bertahap PLTU Batubara (*coal phase-down*) dan pemberian insentif fiskal untuk adopsi teknologi energi terbarukan yang akan memicu bekerjanya efek teknik (*Technique Effect*) di sektor industri manufaktur (Sobirov et al., 2025; Stern, 2004).

Lebih lanjut, temuan statistik yang menunjukkan bahwa efek urbanisasi belum signifikan menekan emisi mengindikasikan adanya ruang untuk perbaikan secara fundamental dalam manajemen demografi. Oleh karena itu, langkah strategis yang perlu diambil adalah merekomendasikan transformasi tata ruang perkotaan menjadi *Smart and Green Cities* yang berfokus pada transportasi publik berbasis listrik (EV) dan integrasi sistem efisiensi energi bangunan (Bekhet et al., 2020; Sobirov et al., 2025). Dalam merealisasikan transisi ini, pemerintah regional dapat menjadikan keberhasilan *relative decoupling* di Malaysia sebagai *best practice* (tolok ukur) bagi kawasan, mengingat negara tersebut telah merintis langkah untuk memisahkan pertumbuhan dari peningkatan intensitas emisi (Susskind et al., 2020). Upaya dekarbonisasi ini tidak dapat dilakukan secara terisolasi; oleh sebab itu, penting untuk mendorong rekomendasi kerja sama regional ASEAN, seperti transfer teknologi hijau dan integrasi jaringan listrik terbarukan lintas negara melalui inisiatif *ASEAN Power Grid* (Thuy et al., 2026).

Sebagai sintesis komprehensif dari seluruh temuan dalam penelitian ini, dapat ditegaskan bahwa pergeseran dari paradigma ekonomi konvensional menuju keberlanjutan ekologis adalah sebuah keharusan mutlak. Melalui implementasi strategi leapfrogging dan transisi energi yang terukur, negara-negara ASEAN 5 tidak perlu mengorbankan target pertumbuhan ekonominya demi pelestarian lingkungan. Sebaliknya, kawasan ini dapat mewujudkan paradigma pertumbuhan hijau (*green growth*) yang berkelanjutan, di mana peningkatan PDB berjalan beriringan dengan upaya sistematis dalam menekan emisi karbon.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil estimasi ekonometrika menggunakan pendekatan *Fixed Effect Model* (FEM), penelitian ini secara empiris dan fundamental menyimpulkan bahwa hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) berbentuk U-Terbalik terbukti valid di kawasan ASEAN-5. Secara struktural, konsumsi energi fosil terkonfirmasi sebagai pendorong utama yang secara signifikan memicu eskalasi emisi karbon, sementara dinamika urbanisasi belum memberikan dampak efisiensi yang berarti terhadap pelestarian lingkungan. Meskipun secara visual tren emisi di kawasan ini terlihat terus menanjak akibat kuatnya dominasi efek skala (*scale effect*) pada tahap awal ekspansi industrialisasi, pemodelan statistik secara tegas membuktikan keberadaan jalur transisi menuju pelandaian dan penurunan emisi di masa depan.

Validasi matematis dalam penelitian ini menetapkan bahwa ambang batas titik balik (*turning point*) pendapatan per kapita berada pada angka $8.225 USD. Melalui kalkulasi tersebut, pemetaan posisi struktural negara sampel membuktikan bahwa Malaysia merupakan satu-satunya entitas yang telah berhasil melampaui titik kritis ini, sehingga mulai mendemonstrasikan fenomena *relative decoupling* di mana pertumbuhan ekonomi secara perlahan terpisah dari intensitas polusi. Sebaliknya, negara-negara lain seperti Indonesia, Vietnam, Thailand, dan Filipina secara faktual masih tertinggal pada fase pendakian kurva. Keterlambatan ini dipicu oleh kuatnya cengkraman fenomena *fossil fuel lock-in* yang secara artifisial menunda manifestasi penurunan emisi secara kasat mata di negara-negara tersebut.

Saran

Menghadapi realitas struktural ketergantungan energi tersebut, pembuat kebijakan di negara-negara yang masih tertinggal pada fase pendakian dituntut untuk segera mengeksekusi strategi *leapfrogging* (lompatan teknologi). Intervensi strategis ini sangat mendesak agar negara-negara tersebut tidak perlu menunggu secara pasif hingga PDB per kapita menyentuh angka $8.225 USD untuk dapat menurunkan emisi karbon. Upaya pemotongan jalur ini harus diwujudkan melalui akselerasi transisi energi yang komprehensif, mencakup penghentian bertahap operasional pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) batubara, adopsi energi terbarukan secara agresif, serta penerapan instrumen restriktif seperti pajak karbon. Dalam kerangka kerja sama regional, keberhasilan transisi tata kelola lingkungan dan pemisahan emisi di Malaysia patut dijadikan *benchmark* utama bagi integrasi kebijakan kelistrikan dan iklim di seluruh kawasan ASEAN.

Terlepas dari temuan yang dihasilkan, penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan sampel dan pembatasan variabel kontrol spesifik. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan observasi menjadi skala regional penuh (ASEAN-10) guna merumuskan profil emisi kawasan yang lebih komprehensif. Selain itu, pengembangan spesifikasi model di masa depan sangat direkomendasikan untuk menginkorporasikan variabel-variabel makro institusional yang belum terakomodasi. Memasukkan variabel kualitas institusi terbukti esensial, mengingat kapasitas tata kelola dan penegakan regulasi yang kuat sangat menentukan trajektori emisi karbon sebuah negara (Salman et al., 2019). Lebih lanjut, integrasi variabel inovasi teknologi dan investasi hijau juga dipandang fundamental, karena penetrasi teknologi bersih dan injeksi modal pada sektor ramah lingkungan merupakan katalisator paling krusial dalam mempercepat pencapaian titik balik EKC di negara berkembang (Esquivias et al., 2022; Hordofa et al., 2023).

DAFTAR PUSTAKA

Allard, A., Takman, J., Uddin, G. S., & Ahmed, A. (2018). The N-shaped environmental Kuznets curve: an empirical evaluation using a panel quantile regression approach. *Environmental Science and Pollution Research, 25*(7), 5848–5861.

Arfanuzzaman, M., & Dahiya, B. (2019). Sustainable urbanization in Southeast Asia and beyond: Challenges of population growth, land use change, and environmental health. *Growth and Change, 50*, 725–744. https://doi.org/10.1111/grow.12297

Bashir, A., Susetyo, D., Suhel, S., & Azwardi, A. (2021). Relationships between Urbanization, Economic Growth, Energy Consumption, and CO2 Emissions: Empirical Evidence from Indonesia. *Journal of Asian Finance, Economics and Business, 8*(3), 79–90. https://doi.org/10.13106/jafeb.2021.vol8.no3.0079

Batool, S. A., Ahmad, H., Gillani, S. M. A. H., Raza, H., Siddique, M., Khan, N., & Qureshi, M. I. (2021). Investigating the causal linkage among economic growth, energy consumption, urbanization and environmental quality in ASEAN-5 countries. *International Journal of Energy Economics and Policy, 11*(3), 319–327. https://doi.org/10.32479/ijeep.11213

Bekhet, H. A., Othman, N. S., & Yasmin, T. (2020). Interaction Between Environmental Kuznet Curve and Urban Environment Transition Hypotheses in Malaysia. *International Journal of Energy Economics and Policy, 10*(1), 384–402. https://doi.org/10.32479/ijeep.8389

Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve hypothesis: A survey. *Ecological Economics, 49*(4), 431–455. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011

Esquivias, M. A., Sugiharti, L., Rohmawati, H., Rojas, O., & Sethi, N. (2022). Nexus between Technological Innovation, Renewable Energy, and Human Capital on the Environmental Sustainability in Emerging Asian Economies: A Panel Quantile Regression Approach. *Energies, 15*(7), 2451. https://doi.org/10.3390/en15072451

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement* (NBER Working Paper No. 3914). National Bureau of Economic Research.

Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics, 110*(2), 353–377. https://doi.org/10.2307/2118443

Hordofa, T. T., Vu, H. M., Maneengam, A., Mughal, N., & Liying, S. (2023). Does Eco-Innovation and Green Investment Limit the CO2 Emissions in China? *Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 36*, 634–649.

International Energy Agency (IEA). (2025). *World Energy Outlook 2025*.

Karunia, M. R., Komarulzaman, A., & Tjahjawandita, A. (2023). Konsumsi Energi, Pembangunan Sektor Keuangan dan Emisi Karbon di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia, 23*(1), 81–92. https://doi.org/10.21002/jepi.2023.06

Ponce, B. J. H., & Manlangit, A. T. (2023). Carbon dioxide emissions and the Environmental Kuznets Curve: evidence from the Association of Southeast Asian Nations. *Environmental Science and Pollution Research, 30*, 1–15. https://doi.org/10.1007/s11356-023-29370-3

Ratnadewati, A., Mafruhah, I., & Gravitiani, E. (2024). Multi-Analysis Environmental Kuznets Curve for Developing Country in Southeast Asia: Using Macro Economics Perspective. *International Journal of Environmental Science and Development, 15*(5), 258-267.

Salman, M., Long, X., Dauda, L., & Mensah, C. N. (2019). The impact of institutional quality on economic growth and carbon emissions: Evidence from Indonesia, South Korea, and Thailand. *Journal of Cleaner Production, 241*, 118331.

Seriram, N., Zainuddin, M. R. K. V., Hamidi, H. N. A., & Abdullah, A. H. (2024). Impacts of Renewable Energy Transitions on the Economic Growth in Malaysia: A Dynamic ARDL Simulations. *International Journal of Energy Economics and Policy, 14*(5), 251-258. https://doi.org/10.32479/ijeep.16442

Siregar, S. W., & Hasbi. (2023). Analisis Pengaruh Keterbukaan Perdagangan, Konsumsi Energi, Dan Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Emisi Karbon Di Negara D-8. *Jurnal Magister Ekonomi Syariah, 2*(1), 61–77. https://doi.org/10.14421/jmes.2023.021-05

Sobirov, Y., Artikov, B., Khodjaniyozov, E., Marty, P., & Saidmamatov, O. (2025). Economic Growth, FDI, Tourism, and Agricultural Productivity as Drivers of Environmental Degradation: Testing the EKC Hypothesis in ASEAN Countries. *Sustainability, 17*(18), 8394. https://doi.org/10.3390/su17188394

Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development, 32*(8), 1419–1439. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004

Sukanto, S., Azwardi, A., Hamira, H., & Atiyatna, D. P. (2024). The Unsustainable Path: Assessing Indonesia's Reliance on Fossil Energy in Economic Growth. *International Journal of Energy Economics and Policy, 14*(2), 484–489. https://doi.org/10.32479/ijeep.15358

Susskind, L., Chun, J., Goldberg, S., Gordon, J. A., Smith, G., & Zaerpoor, Y. (2020). Breaking Out of Carbon Lock-In: Malaysia's Path to Decarbonization. *Frontiers in Built Environment, 6*, 21. https://doi.org/10.3389/fbuil.2020.00021

Thuy, N. T. T., et al. (2026). Revisiting the Environmental Kuznets Curve: The Impact of Trade Openness on CO2 Emissions in Southeast Asia. Dalam *Proceedings of the International Conference on Emerging Challenges (ICECH 2025)*.

World Bank. (2024). *World Development Indicators*. Washington, D.C.: The World Bank.

World Bank. (2025). *Industrial Decarbonization in East Asia*. Washington, D.C.: The World Bank.