

# Apakah Foreign Direct Investment dan Pertumbuhan Ekonomi Menyebabkan Emisi Karbon Di Indonesia?

Andrian Whilla Saputra<sup>\*1</sup>, Maulidiyah Indira Hasmarini<sup>2</sup>

<sup>\*1</sup> Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

---

## ARTICLE INFO



Jurnal Economic Resources

ISSN: 2620-6196

Vol. 8 Issues 2 (2025)

### Riwayat Artikel:

Diterima – Juli 04, 2025

Direvisi – Juli 13, 2025

Disetujui – Juli 15, 2025

### Email Koresponden:

[b300220247@student.ums.ac.id](mailto:b300220247@student.ums.ac.id)

### Kata Kunci:

ARDL

Emisi Karbon

Konsumsi Energi Fosil

Kuznets

## ABSTRAK

Fenomena perubahan iklim, yang dipicu oleh meningkatnya emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), telah muncul sebagai dilema global yang semakin mendesak, terutama dalam konteks inisiatif yang bertujuan meningkatkan kemajuan ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki faktor-faktor penentu yang berkontribusi terhadap emisi karbon dalam konteks Indonesia. Data yang digunakan terdiri dari deret waktu yang mencakup dari tahun 1970 hingga 2023. Menggunakan kerangka model Kurva Kuznets Lingkungan (EKC), CO<sub>2</sub> berfungsi sebagai variabel dependen, sedangkan Produk Domestik Bruto (PDB), Investasi Langsung Asing (FDI), dan konsumsi energi dianggap sebagai variabel independen. Pendekatan metodologis yang diadopsi adalah teknik Autoregressive Distributed Lag (ARDL), yang memfasilitasi estimasi efek jangka pendek dan jangka panjang. Hasil estimasi menunjukkan bahwa PDB memberikan dampak negatif dan signifikan secara statistik pada emisi CO<sub>2</sub> dalam jangka pendek; Namun, hubungan ini menjadi positif dalam jangka panjang. FDI menunjukkan pengaruh positif namun tidak signifikan secara statistik di kedua kerangka temporal. Konsumsi energi secara konsisten menunjukkan efek positif dan signifikan pada emisi CO<sub>2</sub>, menggarisbawahi ketergantungan pada sumber energi bahan bakar fosil. Hasilnya menekankan kebutuhan kritis untuk penerapan kebijakan transisi energi bersih untuk mengurangi emisi sambil memastikan pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dalam jangka panjang.

---

## PENDAHULUAN

Investasi Langsung Asing (FDI) merupakan komponen penting dalam integrasi ekonomi global, yang secara signifikan mempengaruhi fasilitasi pertumbuhan dan pembangunan ekonomi yang berkelanjutan. Tidak seperti investasi portofolio yang tidak stabil, FDI menunjukkan kecenderungan untuk stabilitas karena karakter jangka panjangnya, sehingga menambah modal produktif dan transfer teknologi (Kalkuhl & Wenz, 2020). Namun demikian, FDI juga dikaitkan dengan konsekuensi lingkungan yang rumit. Kegiatan produksi yang biasanya menyertakan masuknya FDI sering meningkatkan konsumsi energi dan eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan, yang pada akhirnya mengakibatkan peningkatan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Emisi karbon ini semakin berfungsi sebagai metrik penting untuk menilai degradasi lingkungan, terutama di negara-negara berkembang yang mengalami proses industrialisasi yang dipercepat (Wang & Azam, 2024). Akibatnya, sementara FDI mendorong kemajuan ekonomi, itu menimbulkan dampak ekologis yang mengharuskan penerapan kebijakan lingkungan yang tepat untuk mencapai keseimbangan antara kemajuan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan.

Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan sering diteliti melalui paradigma Kurva Lingkungan Kuznets (EKC), yang telah muncul sebagai kerangka teoritis yang menonjol dalam wacana seputar pembangunan berkelanjutan. Teori EKC menyatakan bahwa dalam fase pembangunan yang baru lahir, eskalasi Produk Domestik Bruto (PDB) cenderung menimbulkan kerugian lingkungan yang disebabkan oleh industrialisasi dan peningkatan konsumsi energi (Kuznets, 2019). Namun, seiring berjalannya waktu dan setelah mencapai titik infleksi kritis, pertumbuhan ekonomi akan

menjadi bersamaan dengan kemajuan teknologi, kesadaran lingkungan yang meningkat, dan adopsi kebijakan yang lebih layak secara ekologis, sehingga mengurangi tingkat degradasi lingkungan (Mahmood et al., 2023). Kerangka kerja ini terbukti relevan dalam menilai sejauh mana Investasi Langsung Asing (FDI) dan konsumsi energi berkontribusi terhadap emisi karbon, serta keberlanjutan lintasan pertumbuhan ekonomi yang didorong oleh faktor-faktor ini tanpa memperburuk kondisi ekologis. EKC memfasilitasi pemetaan transisi dari eksploitasi ke efisiensi dalam proses pengembangan.

Penelitian sebelumnya mengenai pengaruh Foreign Direct Investment (FDI) terhadap emisi karbon menunjukkan hasil yang beragam, mencerminkan hubungan yang kompleks antara pertumbuhan ekonomi, investasi asing, dan keberlanjutan lingkungan. Beberapa studi mengindikasikan bahwa dalam jangka pendek, FDI dapat menurunkan tingkat emisi karbon. Hal ini disebabkan oleh peningkatan efisiensi produksi dan adopsi teknologi yang lebih ramah lingkungan yang seringkali menyertai masuknya investasi asing. Temuan ini sejalan dengan pandangan bahwa FDI kerap membawa serta transfer teknologi dari negara asal yang memiliki standar lingkungan yang ketat. Meski demikian, efek positif ini biasanya bersifat sementara dan sangat bergantung pada sektor industri yang terlibat, kebijakan lingkungan lokal, serta kapasitas negara penerima untuk mengadopsi teknologi bersih secara efektif.

Sebaliknya, sejumlah studi lainnya menunjukkan bahwa FDI dapat berdampak buruk terhadap lingkungan, khususnya dalam jangka panjang dan pada negara-negara berkembang. Santos et al. (2022) dan Cayolla et al. (2023) menemukan bahwa peningkatan FDI cenderung meningkatkan polusi karena mendorong pertumbuhan sektor industri dan penggunaan energi. Dalam banyak kasus, perusahaan multinasional memindahkan proses produksi yang berintensitas energi tinggi ke negara-negara dengan regulasi lingkungan yang lebih lemah—sebuah praktik yang dikenal dengan istilah *pollution haven hypothesis*. Hal ini diperburuk oleh lemahnya penegakan hukum lingkungan dan ketergantungan negara berkembang terhadap FDI sebagai sumber utama pertumbuhan ekonomi. Oleh karena itu, meskipun FDI membawa keuntungan ekonomi, risiko dampak negatif terhadap lingkungan tetap perlu dikelola melalui kebijakan lingkungan yang tepat dan efektif.

Selain FDI dan pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi fosil juga merupakan faktor dominan dalam peningkatan emisi karbon, khususnya di negara-negara berkembang seperti Indonesia. (Acheampong & Opoku, 2023; Rantanen et al., 2022) menyatakan bahwa penggunaan batu bara, minyak bumi, dan gas alam sebagai sumber energi utama menyumbang sebagian besar emisi karbon di sektor industri dan transportasi. Indonesia, sebagai salah satu negara dengan ketergantungan tinggi terhadap energi fosil, menghadapi tantangan besar dalam menyeimbangkan kebutuhan energi untuk pembangunan dan upaya pengurangan emisi. Hal ini diperkuat oleh Rizkiawan & Prakoso (2022) yang mencatat bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia berkorelasi positif dengan peningkatan emisi karbon. Kondisi ini menunjukkan bahwa strategi pembangunan yang mengandalkan energi tak terbarukan tanpa transisi ke energi bersih berisiko memperburuk degradasi lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk memahami secara komprehensif hubungan antara FDI, pertumbuhan ekonomi, dan konsumsi energi terhadap emisi karbon guna merumuskan kebijakan yang berkelanjutan dan adaptif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara simultan dampak Foreign Direct Investment (FDI) di sektor industri dan jasa, Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), serta konsumsi energi fosil terhadap tingkat emisi karbon (CO<sub>2</sub>) di Indonesia. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode regresi panel data untuk menguji hubungan dan pengaruh ketiga variabel independen tersebut terhadap emisi karbon sebagai variabel dependen. Pemilihan regresi panel data bertujuan untuk menangkap variasi lintas waktu dan lintas sektor guna memperoleh hasil estimasi yang lebih akurat dan representatif. Objek studi difokuskan pada sektor-sektor utama yang berkontribusi besar terhadap emisi karbon, khususnya sektor industri dan jasa yang menerima aliran FDI secara signifikan. Periode observasi disesuaikan dengan ketersediaan data historis dari sumber resmi nasional dan internasional, guna memastikan validitas dan reliabilitas analisis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi perumusan kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

Penelitian ini memberikan sumbangsih yang signifikan dalam mengidentifikasi hubungan antara Foreign Direct Investment (FDI), pertumbuhan ekonomi yang diukur melalui Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), serta konsumsi energi fosil terhadap kerusakan lingkungan, khususnya emisi karbon di Indonesia. Dengan menggunakan kerangka Environmental Kuznets Curve (EKC) dan memanfaatkan data empiris selama tiga dekade, studi ini bertujuan untuk mengisi celah dalam literatur terkait dampak gabungan sektor industri dan jasa—sebagai penerima utama FDI—terhadap lingkungan. Temuan yang diperoleh diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam perumusan kebijakan pembangunan ekonomi yang tidak hanya fokus pada pertumbuhan, tetapi juga memperhatikan aspek keberlanjutan lingkungan.

Hasil penelitian ini diharapkan mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals atau SDGs), khususnya pada sasaran terkait transisi energi bersih, mitigasi perubahan iklim, serta pertumbuhan ekonomi yang inklusif dan berwawasan lingkungan. Dengan demikian, studi ini tidak hanya relevan secara teoritis, tetapi juga memiliki implikasi praktis bagi perencanaan pembangunan jangka panjang yang berorientasi pada keseimbangan antara ekonomi dan kelestarian ekologi.

## METODE PENELITIAN

### Data dan Sampling

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ARDL (*Autoregressive Distributed Lag*), untuk menganalisis dampak *short run* dan *long run* (Pesaran et al., 1996). Metode ini memberikan pemahaman komprehensif terhadap determinan emisi karbon Indonesia.

### Teknik Estimasi

Teknik analisis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ARDL (*Autoregressive Distributed Lag*), untuk menganalisis dampak *short run* dan *long run* (Pesaran et al., 1996). Metode ini memberikan pemahaman komprehensif terhadap determinan emisi karbon Indonesia.

### Model Estimasi

Penelitian ini mengambil persamaan awal dari *Environmental Kuznet Curve*, model ini digunakan untuk melihat hubungan pertumbuhan ekonomi terhadap degradasi lingkungan. Setelah suatu negara mencapai tingkat pendapatan tertentu, akan terjadi perubahan dalam pola konsumsi dan produksi yang lebih ramah. Untuk memperoleh hasil estimasi yang konsisten dan menyesuaikan objektif pada penelitian ini model EKC menjadi model dinamis.

Model estimasi dalam penelitian ini adalah:

$$\ln CO_t = \alpha + \sum_{j=0}^{n=4} \beta_1 \Delta \ln GDP_{t-j} + \sum_{j=0}^{n=4} \beta_2 \Delta \ln FDI_{t-j} + \sum_{j=0}^{n=4} \beta_3 \Delta \ln KE_{t-j} + \delta_4 \ln CO_{t-1} + \delta_5 \ln GDP_{t-1} + \delta_6 \ln FDI_{t-1} + \delta_7 \ln KE_{t-1} + \varepsilon_t$$

**Tabel 1. Definisi Operasional Variabel**

Variabel	Definisi	Satuan	Sumber
$\ln CO_t$	Emisi karbondioksida Indonesia pada tahun $t$ , log	Persen	Energy Institute
$\ln CO_{t-1}$	Emisi karbondioksida Indonesia pada periode waktu sebelumnya	Persen	
$\ln GDP_t$	Produk Domestik Bruto Indonesia pada tahun $t$ , log	Persen	BPS
$\ln FDI_t$	Total penanaman modal asing di Indonesia di tahun $t$ , log	Persen	NSWI
$\ln KE_t$	Total konsumsi energi fosil perkapita Indonesia di tahun $t$ , log	Persen	Energy Institute

Sumber: Badan Pusat Statistik (2024), Energy Institute (2024)

### Teknik Analisis

*Autoregressive Distributed Lag (ARDL)* digunakan untuk menganalisis dampak produk domestik bruto, penanaman modal asing dan konsumsi energi dalam memengaruhi degradasi lingkungan yaitu CO2.

Alat estimasi ini juga mempertimbangkan dinamika sebelum dan sesudah penerapan *paris agreement* 2016. Teknik ini dipilih karena mampu menangani data runtun waktu dengan integrasi campuran, baik I(0) maupun I(1), tanpa memerlukan proses differencing yang kompleks (Pesaran et al., 1996). Selain itu, metode ini untuk memodelkan hubungan *short run* dan *long run*, sehingga dapat mengidentifikasi dampak langsung fluktuasi konsumsi energi serta efek kumulatif dari kebijakan dan perubahan struktural terhadap emisi karbon.

Sebelum menggunakan model ARDL, dilakukan estimasi menggunakan uji ADF yaitu Dickey-Fuller karena ARDL hanya cocok untuk data I(0) atau I(1). *Bound Test* kemudian digunakan untuk mengidentifikasi kointegrasi atau hubungan jangka panjang antar variabel. Pengujian asumsi klasik meliputi *Lagrange Multiplier (LM) Test* untuk mendeteksi otokorelasi, *Jarque-Bera (JB) Test* untuk memverifikasi distribusi normal residual, dan *RESET Test* untuk memastikan spesifikasi model yang tepat. Stabilitas parameter model diuji dengan *CUSUM Test* dan *CUSUM of Squares Test*, yang menunjukkan stabilitas model jika garis uji berada dalam batas kritis

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Estimasi

**Tabel 2. Uji Stasioneritas**

	Level	First difference	Kesimpulan
<i>lnCO</i>	0.0529	0.000***	I(1)
<i>lnGDP</i>	0.2236	0.000***	I(1)
<i>lnFDI</i>	0.0092	0.000***	I(0)
<i>lnKE</i>	0.0001	0.000***	I(0)

*Sumber: Hasil Pengolahan STATA MPI17*

Berdasarkan tabel 2, stasioneritas menunjukkan bahwa variabel memiliki tingkat integrasi yang berbeda. Variabel *lnCO* dan *lnGDP* memiliki p-value yang menerima H0 sehingga dinyatakan tidak stasioner pada level. Namun, setelah dilakukan diferensiasi pertama, p-value menjadi lebih kecil dari 0,05, yang menunjukkan bahwa variabel tersebut stasioner pada diferensiasi pertama (I(1)). Sementara itu, variabel *lnFDI* dan *lnKE* memiliki p-value pada tingkat level lebih kecil dari 0,05, sehingga dinyatakan stasioner pada level (I(0)). Dengan demikian, dua variabel dalam tabel bersifat stasioner pada tingkat diferensiasi pertama (I(1)), kecuali *lnFDI* dan *lnKE* yang sudah stasioner pada level.

**Tabel 3. Uji Asumsi Klasik**

	$\chi^2$	Prob
<b>LM-test</b>	5.116	0.0775
<b>JB-test</b>	5.231	0.5445
<b>RESET-test</b>	0.35	0.7897
<b>Breuch Pagan-test</b>	2.50	0.1139

*Sumber: Hasil Pengolahan STATA MPI17*

Berdasarkan hasil pengujian asumsi klasik dan stabilitas model, hasil ini menunjukkan bahwa model estimasi yang digunakan dalam penelitian sudah memenuhi asumsi klasik, memiliki residual yang normal, spesifikasi model yang tepat, bebas otokorelasi, dan parameter yang stabil. Dengan demikian, model ARDL valid dan reliabel untuk menganalisis hubungan short run dan long run antara produk domestik bruto, konsumsi energi, harga minyak bumi dunia, dan emisi karbon di Indonesia.

**Tabel 4. Uji Kointegrasi**

Signifikansi	Bound critical values	
	I(0)	I(1)
1%	4.952	6.766
5%	3.460	4.883
10%	2.832	4.083

F= 33.026

*Sumber: Hasil Pengolahan STATA MPI17*

Tabel 4 menunjukkan Bound Critical Values untuk pengujian Autoregressive Distributed Lag (ARDL) dalam analisis kointegrasi. Tabel memberikan dua nilai kritis, yaitu I(0) dan I(1) pada tingkat signifikansi 1%, 5%, dan 10%. Nilai I(0) berlaku jika semua variabel dalam model bersifat stasioner pada level, sedangkan nilai I(1) berlaku jika ada variabel yang stasioner pada first difference. Interpretasi hasil bound test tersebut adalah adanya kointegrasi pada tingkat level dan first difference.

**Tabel 5. Hasil Estimasi ARDL**

R <sup>2</sup> : 0.9405 Variabel	Estimasi Jangka Pendek			Estimasi Jangka Panjang		
	Koefisien	t-stat	Prob	Koefisien	t-stat	Prob
<i>lnGDP</i>	-1.113	-2.150	0.044	0.566	2.420	0.025
<i>lnFDI</i>	0.006	0.510	0.618	0.031	0.750	0.462
<i>lnKE</i>	0.604	3.260	0.004	0.749	3.120	0.005
ECT (-1)	-1.3011					

Sumber: Hasil Pengolahan STATA MP17

Berdasarkan estimasi jangka pendek, variabel GDP menunjukkan koefisien negatif yang signifikan secara statistik pada tingkat  $\alpha$  5%, menandakan bahwa dalam jangka pendek, peningkatan PDB berhubungan negatif dengan koefisien sebesar -1,113 terhadap variabel dependen. Yang berarti setiap kenaikan Gross Domestic Bruto sebesar 1% mengakibatkan penurunan emisi karbon per kapita sebesar 1,113%. Sebaliknya, *FDI* tidak signifikan secara statistik, sehingga dapat disimpulkan tidak adanya pengaruh jangka pendek dari *FDI* terhadap variabel dependen. Sementara itu, *KE* menunjukkan total konsumsi energi fosil per kapita memiliki pengaruh positif dan signifikan secara statistik, dengan tingkat koefisien sebesar 0,604 dan berengaruh positif signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan setiap kenaikan total konsumsi energi fosil naik 1% akan mengakibatkan peningkatan jumlah emisi karbon sebesar 0,604%. peningkatan kemampuan energi memberikan kontribusi positif terhadap variabel dependen dalam jangka pendek.

Dalam jangka panjang, hasil estimasi menunjukkan bahwa *lnGDP* memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap variabel dependen, dengan koefisien sebesar 0,556 yang berarti dalam jangka panjang. Hal ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan Gross Domestic Bruto sebesar 1% akan mengakibatkan peningkatan jumlah emisi karbon di Indonesia sebesar 0,565% mengindikasikan bahwa pertumbuhan ekonomi dalam jangka panjang berdampak positif terhadap variabel yang dianalisis. Sebaliknya, *FDI* tetap tidak signifikan, menunjukkan bahwa arus masuk investasi asing langsung tidak memberikan pengaruh yang berarti dalam jangka panjang terhadap variabel dependen. *KE* tetap memberikan pengaruh positif yang signifikan, dengan tingkat koefisien sebesar 0,749 yang berarti setiap kenaikan total konsumsi energi fosil sebesar 1% akan mengakibatkan meningkatnya jumlah emisi karbon di Indonesia sebesar 0,749%. Hal ini menandakan bahwa peningkatan kapasitas energi atau efisiensi energi berkontribusi besar terhadap peningkatan variabel dependen, baik dalam jangka pendek maupun panjang

## Pembahasan

Hasil estimasi model menunjukkan bahwa dalam jangka pendek, Produk Domestik Bruto (PDB) memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Koefisien negatif ini mengindikasikan bahwa peningkatan PDB justru cenderung menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dalam periode tersebut. Hal ini dapat dijelaskan melalui beberapa kemungkinan mekanisme. Pertama, dalam fase awal pertumbuhan ekonomi, negara cenderung mengadopsi teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, sehingga menghasilkan lebih sedikit emisi meskipun terjadi peningkatan aktivitas ekonomi (Hieu & Hai, 2023). Kedua, peningkatan efisiensi energi dan transisi ke sektor jasa yang lebih rendah emisinya dapat berkontribusi pada penurunan emisi CO<sub>2</sub> (Chien et al., 2021). Selain itu, dalam jangka pendek, kebijakan pemerintah yang mendukung pengurangan emisi seperti insentif energi terbarukan atau standar efisiensi energi dapat berdampak lebih nyata seiring pertumbuhan ekonomi (Maharani & Setyowati, 2024). Dengan

demikian, hubungan negatif ini mencerminkan dinamika sementara yang dipengaruhi oleh inovasi teknologi dan pergeseran struktur ekonomi.

Namun, dalam jangka panjang, pengaruh PDB terhadap emisi CO<sub>2</sub> berubah menjadi positif dan signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi yang terus berlanjut dalam jangka panjang cenderung meningkatkan konsumsi energi dan menghasilkan lebih banyak emisi karbon. Fenomena ini dikenal sebagai *carbon expansion effect*, di mana kebutuhan energi meningkat seiring dengan ekspansi ekonomi, terutama jika sumber energi masih didominasi oleh bahan bakar fosil (Atha'ammam & Kuswati, 2023). Pertumbuhan sektor industri dan transportasi, yang merupakan konsumen energi utama, juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi (Shahbaz et al., 2013). Dalam konteks ini, efek jangka panjang mencerminkan keterbatasan transisi energi yang belum sepenuhnya tercapai di banyak negara berkembang, sehingga pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan tetap bergantung pada sumber energi konvensional. Oleh karena itu, meskipun pada awalnya pertumbuhan ekonomi dapat mendukung pengurangan emisi, dalam jangka panjang diperlukan transformasi struktural dan kebijakan lingkungan yang lebih agresif untuk memutus keterkaitan antara PDB dan emisi karbon.

Berdasarkan hasil estimasi, Foreign Direct Investment (FDI) memiliki pengaruh positif namun tidak signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dalam jangka pendek. Artinya, meskipun terdapat indikasi bahwa masuknya FDI dapat mendorong peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, hubungan tersebut belum cukup kuat untuk dianggap bermakna secara statistik. Salah satu kemungkinan penyebabnya adalah variasi dalam jenis dan tujuan investasi asing yang diterima suatu negara. Banyak investasi asing diarahkan pada sektor jasa atau industri dengan intensitas emisi yang relatif rendah, seperti teknologi informasi atau sektor keuangan, sehingga dampaknya terhadap emisi cenderung terbatas (Zeng et al., 2023). Selain itu, beberapa perusahaan multinasional mungkin telah menerapkan standar teknologi ramah lingkungan yang ketat, yang membuat kontribusi mereka terhadap polusi tetap rendah meskipun terjadi peningkatan aktivitas ekonomi (Mujtaba et al., 2022). Faktor lain yang juga dapat berperan adalah regulasi lingkungan domestik yang cukup ketat, yang membatasi dampak negatif FDI terhadap lingkungan dalam jangka pendek (Popova et al., 2022).

Sementara itu, dalam jangka panjang, pengaruh FDI terhadap emisi CO<sub>2</sub> tetap positif namun juga tidak signifikan secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun investasi asing berpotensi mendorong pertumbuhan ekonomi dan ekspansi industri yang lebih besar, belum terdapat bukti yang cukup kuat bahwa FDI secara langsung menjadi pendorong utama peningkatan emisi dalam jangka panjang. Salah satu penjelasannya adalah kemungkinan transfer teknologi bersih dari negara investor ke negara penerima, yang dapat meningkatkan efisiensi energi dan menekan pertumbuhan emisi (Acheampong & Opoku, 2023). Selain itu, banyak negara penerima FDI juga mulai menerapkan kebijakan yang mendukung investasi hijau, seperti insentif pajak untuk teknologi rendah karbon atau regulasi yang mewajibkan penggunaan standar emisi tertentu (Osuntuyi & Lean, 2022). Oleh karena itu, meskipun FDI dapat mempercepat pertumbuhan ekonomi, pengaruhnya terhadap lingkungan tidak selalu bersifat destruktif, tergantung pada sifat investasi dan kebijakan yang mengaturnya.

Selanjutnya pada konsumsi energi, dalam jangka pendek peningkatan konsumsi energi secara langsung mendorong peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini disebabkan oleh dominasi penggunaan energi dari sumber-sumber fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam yang memiliki intensitas karbon tinggi (Osman et al., 2023). Ketergantungan pada energi fosil ini menyebabkan setiap peningkatan aktivitas ekonomi yang membutuhkan energi akan berdampak langsung terhadap peningkatan emisi. Negara-negara berkembang, khususnya, cenderung mengalami peningkatan konsumsi energi secara cepat seiring pertumbuhan ekonomi, tetapi belum sepenuhnya mengadopsi energi bersih atau teknologi rendah emisi (Nuansa & Widodo, 2018). Selain itu, infrastruktur energi yang belum optimal dan efisiensi energi yang rendah di banyak negara memperparah dampak konsumsi energi terhadap emisi karbon (Andriamahery et al., 2022).

Dalam jangka panjang, pengaruh positif dan signifikan konsumsi energi terhadap emisi CO<sub>2</sub> tetap konsisten. Ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat perkembangan dalam teknologi energi yang lebih efisien dan upaya transisi ke energi terbarukan, pengaruh negatif dari konsumsi energi terhadap lingkungan masih sangat nyata. Hal ini disebabkan oleh lambatnya transisi energi di banyak negara serta pertumbuhan permintaan energi yang terus meningkat, terutama dari sektor industri dan transportasi (Magazzino et al., 2022). Selain itu, investasi dalam infrastruktur energi bersih dan kebijakan yang mendukung energi terbarukan seringkali belum cukup untuk menggantikan ketergantungan jangka panjang pada bahan bakar fosil (Bie et al., 2023). Oleh karena itu, untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan dalam jangka panjang, diperlukan reformasi kebijakan energi yang ambisius dan percepatan penggunaan sumber energi bersih serta penguatan regulasi terhadap emisi sektor energi.

## KESIMPULAN

Hasil estimasi menunjukkan bahwa interaksi antara variabel makroekonomi seperti Produk Domestik Bruto (PDB), Foreign Direct Investment (FDI), dan konsumsi energi dengan emisi CO<sub>2</sub> bersifat kompleks dan bergantung pada kerangka waktu analisis. Dalam jangka pendek, PDB berkorelasi negatif dan signifikan terhadap emisi, yang mencerminkan bahwa fase awal pertumbuhan ekonomi dapat meningkatkan efisiensi energi dan mempercepat adopsi teknologi bersih. Namun, dalam jangka panjang, pertumbuhan ekonomi justru menjadi kontributor signifikan terhadap peningkatan emisi, mendukung hipotesis efek ekspansi karbon. Sementara itu, FDI menunjukkan pengaruh positif namun tidak signifikan terhadap emisi dalam kedua horizon waktu, yang dapat dikaitkan dengan rendahnya intensitas emisi dari sektor yang menerima investasi atau penerapan teknologi ramah lingkungan oleh investor asing.

Sebaliknya, konsumsi energi muncul sebagai determinan paling konsisten dan signifikan dalam mendorong emisi CO<sub>2</sub>, baik dalam jangka pendek maupun panjang. Hubungan positif yang kuat ini mencerminkan dominasi energi berbasis fosil dalam struktur energi nasional, meskipun telah terjadi peningkatan dalam efisiensi dan penetrasi energi terbarukan. Sayangnya, kemajuan tersebut belum cukup untuk menahan laju pertumbuhan emisi. Oleh karena itu, upaya pengurangan emisi yang efektif memerlukan transformasi sistem energi melalui kebijakan yang progresif—seperti insentif untuk investasi energi terbarukan, penguatan regulasi lingkungan, dan integrasi teknologi rendah karbon ke dalam sektor industri. Pendekatan kebijakan yang holistik dan berkelanjutan sangat penting untuk menyeimbangkan antara pertumbuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan.

## REFERENSI

- Acheampong, A. O., & Opoku, E. E. O. (2023). Environmental degradation and economic growth: Investigating linkages and potential pathways. *Energy Economics*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106734>
- Andriamahery, A., Danarson, J. H., & Qamruzzaman, M. (2022). Nexus between trade and environmental quality in sub-saharan Africa: Evidence from panel GMM. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 986429.
- Atha'ammam, M., & Kuswati, R. (2023). The Effect of Environmental Knowledge and Environmental Risk Perception on Sustainable Consumption mediated by Environmental Concern. *The*, 16th, 548–564.
- Bie, F., Sun, M., Wei, X., & Ahmad, M. (2023). Transitioning to a zero-emission energy system towards environmental sustainability. *Gondwana Research*. *Gondwana Research*. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2023.03.022>
- Cayolla, R., Escadas, M., McCullough, B. P., Biscaia, R., Cabilhas, A., Santos, T., J., M. J., & Ilo, C. K. K. (2023). Does pro-environmental attitude predicts pro-environmental behavior? Comparing sustainability connection in emotional and cognitive environments among football fans and university students. *The Impact of Job Satisfaction on Creating a Sustainable Workplace: An Empirical Analysis of Organizational Commitment and Lifestyle Behavior*. *Sustainability (Switzerland)*, 9(11).
- Chien, F., Ajaz, T., Andlib, Z., Chau, K. Y., Ahmad, P., & Sharif, A. (2021). The role of technology innovation, renewable energy and globalization in reducing environmental degradation in Pakistan: A step towards sustainable environment. *Renewable Energy*, 177, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.05.101>
- Hieu, V. M., & Hai, N. T. (2023). The role of environmental, social, and governance responsibilities and economic development on achieving the SDGs: evidence from BRICS countries. *Economic Research-Ekonomika Istrazivanja*, 36(1), 1338–1360. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2022.2086598>

- Kalkuhl, M., & Wenz, L. (2020). The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 103. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2020.102360>
- Kuznets, S. (2019). Economic growth and income inequality. In *The gap between rich and poor* (pp. 25–37). Routledge.
- Magazzino, C., Toma, P., Fusco, G., Valente, D., & Petrosillo, I. (2022). Renewable energy consumption, environmental degradation and economic growth: the greener the richer? *Ecological Indicators*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108912>
- Maharani, I. A. E., & Setyowati, E. (2024). Analisis Determinan Foreign Direct Investment di ASEAN-6. *Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis*, 177–183. <https://doi.org/10.37034/infec.v6i1.830>
- Mahmood, H., Furqan, M., Hassan, M. S., & Rej, S. (2023). The Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis in China: A Review. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 7). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su15076110>
- Mujtaba, A., Jena, P. K., Bekun, F. V., & Sahu, P. K. (2022). Symmetric and asymmetric impact of economic growth, capital formation, renewable and non-renewable energy consumption on environment in OECD countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 160, 112300.
- Nuansa, C. G., & Widodo, W. (2018). Environmental Kuznets curve hypothesis: A perspective of sustainable development in Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 09021. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/20183109021>
- Osman, A. I., Chen, L., Yang, M., Msigwa, G., Farghali, M., Fawzy, S., Rooney, D. W., & Yap, P. S. (2023). Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(2), 741–764. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01532-8>
- Osuntuyi, B. V., & Lean, H. H. (2022). Economic growth, energy consumption and environmental degradation nexus in heterogeneous countries: does education matter? *Environmental Sciences Europe*, 34(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00624-0>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (1996). *Testing for the 'Existence of a Long-run Relationship'* (Issue 9622). Faculty of Economics, University of Cambridge.
- Popova, O., Koval, V., Vdovenko, N., Sedikova, I., Nesenenko, P., & Mikhno, I. (2022). Environmental footprinting of agri-food products traded in the European market. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1036970.
- Rantanen, M., Karpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T., & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth and Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00498-3>
- Rizkiawan, M. F. A., & Prakoso, A. L. (2022). Paris Agreement 2015: Formulating Indonesia's Efforts and Challenges in Facing Climate Change. *Interdisciplinary Social Studies*. <https://doi.org/10.55324/iss.v1i7.169>
- Santos, F. D., Ferreira, P. L., & Pedersen, J. S. T. (2022). The Climate Change Challenge: A Review of the Barriers and Solutions to Deliver a Paris Solution. In *Climate* (Vol. 10, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cli10050075>
- Wang, J., & Azam, W. (2024). Natural resource scarcity, fossil fuel energy consumption, and total greenhouse gas emissions in top emitting countries. *Geoscience Frontiers*, 15(2). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101757>
- Zeng, Z., Zhong, W., & Naz, S. (2023). Can environmental knowledge and risk perception make a difference? The role of environmental concern and pro-environmental behavior in fostering sustainable consumption behavior. *Sustainability*, 15(6), 4791.