KAMPUS AKADEMIK PUBLISING
Jurnal Ilmiah Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi (JEMBA)
Vol.3, No.6 November 2026
e-ISSN: 3047-6240, p-ISSN : 3047-6232, Hal 429-444
DOI : https://doi.org/10.61722/jemba.v3i6.3312

Pengaruh Produksi Listrik dari Batubara, Investasi Asing, dan Luas Hutan terhadap Emisi Karbon di Indonesia Periode 1990-2022

Salma Azzahra[1], Alia Nur Hermalia[2], Zalva Nisrina[3], Shindy Ayu Lestari[4], Fita Purwaningsih[5]

[1]Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Siliwangi
[2] Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Siliwangi
[3] Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Siliwangi
[4] Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Siliwangi
[5] Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Siliwangi
*Penulis Korespondensi: 2334012282student.unsil.ac.id

Abstract. *Per capita carbon dioxide (CO_2) emissions in Indonesia have almost tripled since 1990, alongside the dominance of coal in electricity generation and a shrinking forest area. This study examines the effects of the share of electricity production from coal, foreign direct investment (FDI), and forest area on CO_2 emissions in Indonesia over 1990–2022. Using 33 annual World Bank observations and a log-linear multiple linear regression estimated by ordinary least squares, the study finds that all three variables are statistically significant at the 1% level. The coal share (elasticity 0.316) and FDI (semi-elasticity 0.011 per US$ billion) are positively associated with emissions, while forest area is negatively associated (elasticity −1.937). The model explains 96.1% of the variation in emissions and passes normality, heteroskedasticity, and multicollinearity tests. However, unit root tests indicate that several series are non-stationary, so the results should be read as long-run associations rather than causal effects. Decarbonising the power sector, screening the quality of FDI, and protecting forests should be pursued together*.

Keywords: carbon emissions; coal-fired electricity; foreign direct investment; forest area; multiple linear regression.

Abstrak. Emisi karbon dioksida (CO_2) per kapita Indonesia meningkat hampir tiga kali lipat sejak 1990 seiring dominasi batubara dalam sistem kelistrikan dan menyusutnya luas hutan. Penelitian ini bertujuan menguji pengaruh pangsa produksi listrik dari batubara, arus masuk investasi asing langsung (FDI), dan luas hutan terhadap emisi CO_2 di Indonesia pada periode 1990–2022. Penelitian kuantitatif ini menggunakan data sekunder tahunan Bank Dunia sebanyak 33 observasi dan regresi linier berganda dengan metode kuadrat terkecil biasa (OLS) pada bentuk log-linier. Hasil estimasi menunjukkan bahwa ketiga variabel berpengaruh signifikan pada taraf 1%. Pangsa listrik batubara (elastisitas 0,316) dan FDI (semi-elastisitas 0,011 per miliar dolar AS) berpengaruh positif, sedangkan luas hutan berpengaruh negatif dengan elastisitas −1,937. Model menjelaskan 96,1% variasi emisi dan memenuhi uji normalitas, heteroskedastisitas, dan multikolinearitas. Namun, uji akar unit menunjukkan sebagian variabel tidak stasioner sehingga hasil perlu dibaca sebagai asosiasi jangka panjang, bukan hubungan kausal. Temuan ini menegaskan bahwa dekarbonisasi sektor listrik, seleksi kualitas FDI, dan perlindungan hutan perlu berjalan bersamaan dalam strategi penurunan emisi Indonesia.

Naskah Masuk: 04 November 2026; Revisi: 04 November 2026; Diterima: 04 November 2026; ; Terbit: 04 November 2026.

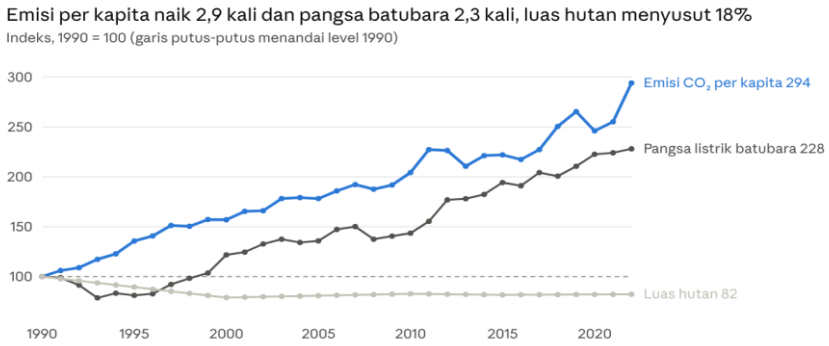
Kata kunci: emisi karbon; listrik batubara; investasi asing langsung; luas hutan; regresi linier berganda

1. LATAR BELAKANG

Naskah ditulis menggunakan spasi 1,5 dengan jenis huruf *times new roman* ukuran 12 pt. Bagian ini menjelaskan tentang latar belakang umum penelitian (secara ringkas dan jelas), *review* terkait topik penelitian yang relevan, uraian tentang kebaruan (*gap analysis*) yang mengandung urgensi dan kebaruan penelitian, serta tujuan penelitian. Latar belakang ditulis **tanpa** penomoran dan atau *pointers*.
Pembakaran bahan bakar fosil dan perubahan penggunaan lahan merupakan pendorong utama pemanasan global (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2023). Bagi Indonesia, dua hal itu bertemu dalam satu masalah pembangunan: pertumbuhan ekonomi didorong oleh listrik yang menggunakan batubara dan aliran modal dari luar negeri, sementara tutupan hutan terus berkurang. Bank Dunia (World Bank, n.d.) menunjukkan tingkat perubahannya. Emisi CO_2 per orang meningkat dari sekitar 0,88 ton pada tahun 1990 menjadi sekitar 2,59 ton pada tahun 2022. Pada masa yang sama, persentase batubara dalam produksi listrik meningkat dari sekitar 29,9% menjadi 68,2%, dan luas hutan berkurang dari sekitar 1,163 juta km² menjadi 0,957 juta km², yaitu turun sebesar 17,7%.

Tiga faktor tersebut didasari oleh teori yang berbeda-beda. Batubara memengaruhi jumlah karbon yang dikeluarkan saat menyuplai energi, sehingga perubahan campuran jenis pembangkit listrik langsung memengaruhi banyaknya emisi. Investasi dari luar negeri bisa membuat emisi semakin tinggi jika menarik industri yang mencemari lingkungan ke negara dengan aturan lebih ringan (Copeland & Taylor, 1994; Walter & Ugelow, 1979), namun juga bisa mengurangi emisi jika membawa teknologi yang lebih ramah lingkungan (Zarsky, 1999). Hutan, di sisi lain, bertindak sebagai penyerap karbon (Pan et al., 2011) dan juga mencerminkan tekanan terhadap perubahan penggunaan lahan yang terjadi seiring dengan proses pembangunan.

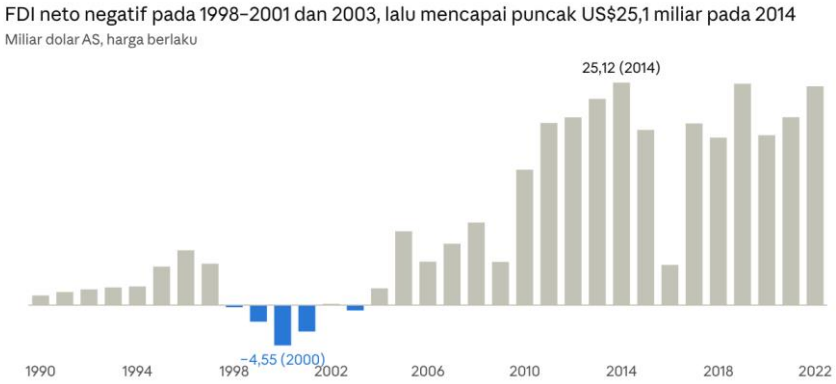
Gambar 1. Indeks emisi CO_2 per kapita, pangsa listrik batubara, dan luas hutan Indonesia, 1990–2022



Sumber: World Bank (n.d.), Data diolah excel

Gambar 1 menunjukkan tiga seri utama dalam indeks (1990 = 100) untuk memungkinkan perbandingan pergerakan pada ukuran yang seragam. Emisi CO_2 per orang meningkat 2,9 kali, dari 0,88 ton menjadi 2,59 ton. Persentase penggunaan batubara dalam produksi listrik meningkat 2,3 kali, dari 29,9% menjadi 68,2%, setelah sebelumnya turun ke titik terendah 23,5% pada tahun 1993. Luas hutan mengalami penurunan sebesar 17,7%. Penurunan hutan paling signifikan terjadi antara tahun 1990 hingga 2000 (−20,9%, dari 1,163 juta km² menjadi 0,920 juta km²), kemudian stabil di sekitar 0,96 juta km² setelah tahun 2005. Hubungan antara Emisi Karbon CO2 dan Produksi Batubara mencatat angka 0,924, sementara hubungan Emisi Karbon CO2 dengan Luas Hutan tercatat sebesar −0,755.

Gambar 2. Arus masuk neto investasi asing langsung di Indonesia, 1990–2022 (miliar dolar AS)



Sumber: World Bank, diolah excel

Pola FDI terlihat berbeda pada gambar 2 ini menunjukkan arus masuk bersih tercatat negatif antara tahun 1998 hingga 2001 serta tahun 2003, dengan angka terendah mencapai −US$4,55 miliar pada tahun 2000, yang bertepatan dengan periode pascakrisis moneter. Setelah itu, FDI mengalami pemulihan dan mencapai angka tertinggi sebesar US$25,12 miliar pada tahun 2014, namun kemudian anjlok tajam menjadi US$4,54 miliar pada tahun 2016. FDI kemudian kembali pulih hingga mencapai US$24,70 miliar pada tahun 2022. Fluktuasi ini memberikan variabilitas yang independen pada FDI dibandingkan dengan dua variabel lain, sehingga tingkat kolinearitas di antara ketiganya tergolong rendah (korelasi FDI dengan lnLuas hutan hanya −0,264).

Banyak penelitian empiris tentang emisi karbon di Indonesia, tetapi hasilnya terpisah-pisah. Rizki dan Anggaeni (2022), Perwithosuci et al.(2024), Barsua et al.(2024), serta Pujiati et al.(2023) menyatakan bahwa FDI, pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi, atau korupsi menjadi faktor yang menentukan emisi. Hasilnya tidak sama: FDI memiliki dampak negatif jangka panjang pada beberapa penelitian, tetapi tidak signifikan pada penelitian lain. Penelitian yang membahas batubara biasanya bersifat teknis, seperti mengukur faktor emisi dari pembangkit listrik (Erfian et al., 2025), bukan melakukan analisis ekonometrik pada tingkat makro. Sementara itu, peran luas hutan diuji bersama konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi (Amalia et al., 2024), atau bersama FDI, konsumsi energi agregat, dan lahan pertanian (Keh et al., 2024), tanpa memasukkan listrik batubara.

Berdasarkan penelitian yang dibahas dalam artikel ini, belum ada penelitian di Indonesia yang menguji secara bersamaan besaran penggunaan listrik batubara, investasi asing langsung, dan luas hutan dalam satu model emisi untuk waktu 1990 hingga 2022. Periode ini mencakup krisis moneter tahun 1998, peningkatan penggunaan listrik batubara di tahun 2000-an, serta dampak pandemi COVID-19. Penelitian ini mengisi celah tersebut.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mencoba mengisi celah penelitian sebelumnya dengan menganalisis Pengaruh produksi listrik dari batubara, investasi asing dan luas hutan terhadap emisis karbon di Indonesia menggunakan data tahunan periode (1990-2022). Penelitian ini menggabungkan faktor energi, ekonomi dan lingkungan untuk mengetahui keterkaitan ketiga variabel tersebut terhadap emisi karbon di Indonesia. Metode Ordinary Least Square (OLS) dipilih karena mampu mengestimasi hubungan antara variabel dependen dan beberapa variabel independen melalui regresi linier berganda. Selain itu, metode OLS memiliki sifat estimator yang tidak bias dan efisien apabila asumsi klasik terpenuhi (Gujarati & Porter 2009).

2. KAJIAN TEORITIS

Identitas IPAT yang dikembangkan oleh Ehrlich dan Holdren pada tahun 1971, yang menyebutkan bahwa dampak terhadap lingkungan dipengaruhi oleh jumlah populasi, tingkat kesejahteraan, dan teknologi. Prosentase penggunaan batubara dalam pembangkit listrik mencerminkan aspek teknologi serta campuran energi, sementara investasi asing langsung (FDI) melambangkan jalur kesejahteraan dan transfer teknologi antar negara. Luasan hutan menunjukkan kemampuan ekosistem dalam menyerap karbon. Keterkaitan antara pendapatan dan kerusakan lingkungan sering kali dijelaskan melalui Kurva Kuznets Lingkungan (EKC). Grossman dan Krueger pada tahun 1995 menemukan adanya hubungan berbentuk U terbalik antara pendapatan per kapita dan beberapa jenis polutan. Dinda (2004) merangkum bahwa bukti mengenai EKC sangat bergantung pada tipe polutan dan konteks negara yang bersangkutan, sedangkan Stern (2004) memberikan kritik terkait kelemahan ekonometrika dari studi EKC, termasuk isu akar unit dan kointegrasi. Ulasan ini penting untuk penelitian ini dan akan dibahas di bagian hasil. Terkait dengan FDI, terdapat dua hipotesis yang bertentangan. Hipotesis tempat pembuangan limbah menyatakan bahwa perbedaan ketentuan regulasi lingkungan mendorong industri kotor berpindah ke negara-negara berkembang (Walter & Ugelow, 1979; Copeland & Taylor, 1994). Sebaliknya, hipotesis halo polusi mengemukakan bahwa perusahaan multinasional membawa teknologi dan standar pengelolaan yang lebih bersih (Zarsky, 1999). Mengenai hutan, Pan et al. (2011) mengindikasikan bahwa hutan di seluruh dunia menjadi penyerap karbon bersih sekitar 2,4 Pg C setiap tahun antara 1990 dan 2007, sementara Hansen et al. (2013) mencatat kehilangan sekitar 2,3 juta km² tutupan hutan global dari tahun 2000 hingga 2012. Oleh karena itu, pengurangan luas hutan secara teori mengurangi kapasitas penyerapan serta melepaskan karbon yang tersimpan.

Dari hasil temuan studi tersebut menunjukkan bahwa tidak ada studi di atas yang mengintegrasikan tiga variabel yang diteliti. Penelitian mengenai FDI jarang mengontrol kombinasi listrik, hanya sebagian kecil penelitian mengenai hutan yang mempertimbangkan FDI (Tashim & Rudatin, 2023; Keh et al., 2024) dan tidak ada yang

mencakup kombinasi listrik dari batubara, sedangkan penelitian batubara juga jarang menerapkan metode ekonometrik makro. Oleh karena itu, studi ini akan menguji tiga 433egative433 berikut.

- H1: Proporsi produksi listrik dari batubara memiliki dampak positif terhadap emisi CO_2 di Indonesia.

- H2: FDI berdampak positif terhadap emisi CO_2 di Indonesia, sesuai dengan 433egative433 tempat pelarian polusi.

- H3: Luas 433egativ hutan berdampak 433egative terhadap emisi CO_2 di Indonesia

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bersifat kuantitatif dengan pendekatan asosiatif. Data yang digunakan adalah data sekunder deret waktu tahunan untuk Indonesia pada periode 1990–2022 (33 observasi), yang seluruhnya bersumber dari World Development Indicators Bank Dunia (World Bank, n.d.). Pengolahan data dilakukan dengan Eviews 12. Definis operasional variabel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Definisi Operasional Variabel

Variabel	Simbol	Definisi dan satuan	Sumber
Emisi CO_2 (terikat)	lnEmisi CO_2	Logaritma natural emisi CO_2 per kapita (ton metrik)	World Bank
Listrik batubara	lnListrik Batubara	Logaritma natural persentase produksi listrik dari batubara terhadap total produksi listrik	World Bank
Investasi asing	FDI	Arus masuk neto investasi asing langsung (miliar dolar AS, harga berlaku)	World Bank
Luas hutan	lnLuas hutan	Logaritma natural luas hutan (km^2)	World Bank

Model penelitian ini dibuat mengaccu pada bentuk umum regresi linier berganda yang telah dijelaskan oleh Mardiatmoko (2020). Berdasarkan bentuk variabel dalam data penelitian, emisi karbon, produksi listrik dari batubara, dan luas hutan diubah menggunakan transformasi logaritma natural, sedangkan investasi asing tetap dalam nilai aslinya karena data investasi pada beberapa tahun memiliki nilai negatif. Dengan demikian, model empiris penelitian tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$\ln EmisiCO2_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Listrik\ Batubara_t + \beta_2\ FDI_t + \beta_3\ \ln Luas\ hutan_t + \varepsilon_t$$

Keterangan:

- lnCO2t: emisi karbon di Indonesia pada tahun ke-(t), sebagai variabel dependen.

- β_0: konstanta, yaitu nilai intersep model.

- $\ln Listrik\ Batubara_t$: produksi listrik dari batubara pada tahun ke-(t).

- β_1: koefisien regresi produksi listrik dari batubara, yang secara teoritis diperkirakan bertanda positif.

- FDI_t: investasi asing pada tahun ke-(t), menggunakan nilai asli sesuai data yang tersedia.
- β_2: koefisien regresi investasi asing, yang arah pengaruhnya belum ditentukan secara pasti karena dapat bergantung pada karakteristik investasi dan aktivitas ekonomi yang menyertainya.
- $\ln Luas\ hutan_t$: luas hutan di Indonesia pada tahun ke-(t).
- β_3: koefisien regresi luas hutan, yang secara teoritis diperkirakan bertanda negatif.
- ε: komponen kesalahan yang mencakup variasi emisi karbon yang tidak dapat dijelaskan oleh variabel dalam model.
- t: tahun pengamatan selama periode 1990–2022.

Proses analisis dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak EViews 12 untuk memperoleh estimasi model OLS sekaligus menjalankan rangkaian uji 434erhitunga. Evaluasi terhadap asumsi klasik didasarkan pada panduan dari Mardiatmoko (2020), yang tekanan urgensi pemeriksaan menyeluruh terhadap residu serta sifat-sifat model regresi sebelum interpretasi hasil dilakukan. Serangkaian pengujian tersebut meliputi pengecekan normalitas residu melalui prosedur Jarque–Bera, deteksi gejala multikolinearitas melalui 434erhitungan Variance Inflation Factor (VIF), verifikasi heteroskedastisitas dengan memakai Breusch–Pagan–Godfrey atau White Test, serta pengecekan autokorelasi melalui Breusch–Godfrey Serial Correlation LM Test. Seluruh rangkaian pengujian ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi potensi kendala dalam model yang berisiko mengganggu validitas inferensi statistik.

Menggunakan regresi pada data deret waktu berisiko menciptakan korelasi semu jika variabelnya tidak stasioner (Granger & Newbold, 1974), sehingga perlu memeriksa kestasioneran dengan uji Augmented Dickey-Fuller (ADF), yang juga termasuk di residual model. Proses estimasi regresi dan pengujian asumsi klasik utama dilakukan dengan Eviews, sedangkan uji tambahan (Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan, Breusch-Godfrey orde 1, dan ADF), pengujian ketahanan, serta visualisasi dikerjakan menggunakan Python (NumPy dan SciPy), semuanya dengan tingkat signifikansi 5% kecuali dinyatakan berbeda.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

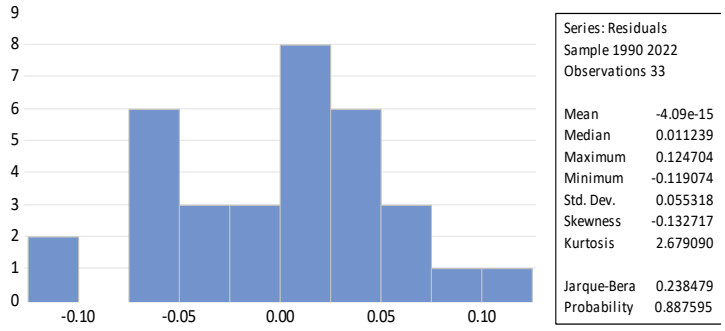
Bagian ini menjelaskan hasil pengujian yang dilakukan secara rapi untuk melihat hubungan antara produksi listrik dari batubara, investasi asing langsung dan luas hutan terhadap emisi karbon di Indonesia. Untuk memastikan bahwa model memenuhi kriteria Best Linear Unbiased Estimator (BLUE), dilakukan serangkaian uji asumsi klasik meliputi Uji normalitas, untuk memastikan distribusi residual mengikuti pola normal, Uji multikolinearitas, menggunakan Variance Inflation Factor (VIF), Uji heterokedastisitas, menggunakan uji Breusch-Pagan dan Uji autokolerasi, menggunakan Durbin-Watson Test.

Uji Asumsi Klasik

Uji Normalitas

Berdasarkan uji Normalitas diperoleh nilai JB-Test sebesar 0.057595 dengan probabilitas sebesar 0.971613 mengindikasikan bahwa residual model tidak menyimpang yang jauh di atas level signifikansi 0.05 (5%). Maka, dapat disimpulkan bahwa data residual berdistribusi normal atau tidak mempunyai masalah normalitas.

Gambar 3. Uji Normalitas



Sumber: World Bank, Data diolah Eviews 12

Uji Multikolinearitas menggunakan Variance Inflation Factor (VIF)

Uji VIF digunakan untuk melihat secara statistik seberapa besar variabel independen saling memengaruhi, dengan pedoman umum:

a. VIF < 10, tidak terjadi multikolinearitas

b. VIF > 10, terjadi multikolinearitas

Tabel 2. Uji Multikolinearitas

Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	10.98465	107354.8	NA
LN_Listrik Batubara	0.004106	558.8248	4.290934*
FDI	3.25E-24	5.680948	2.894848*
LN_Luas Hutan	0.052479	97586.96	1.899167*

Sumber: Data Diolah Eviews 12

*Keterangan: *signifikan pada taraf 10%*

Berdasarkan hasil uji Variance Inflation Factor (VIF), seluruh variabel independen memiliki nilai Centered Variance Inflation Factor di bawah 10. Variabel produksi listrik dari batubara (LN_Listrik Batubara) memiliki nilai VIF sebesar 4.290934, investasi asing (FDI) sebesar 2.894848, dan luas hutan (LN_Luas_hutan) sebesar 1.899167. Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh variabel independen tidak mengalami gejala multikolinearitas karena nilai VIF masing-masing variabel berada di bawah batas 10. Dengan demikian, model regresi yang digunakan telah memenuhi kriteria uji multikolinearitas.

Nilai VIF tertinggi terdapat pada variabel produksi listrik dari batubara sebesar 4.290934, sedangkan nilai terendah terdapat pada variabel luas hutan sebesar 1.899167. Meskipun memiliki nilai VIF yang berbeda, seluruh variabel masih berada di bawah ambang batas yang ditetapkan. Sementara itu, nilai Uncentered VIF yang tinggi pada beberapa variabel tidak dijadikan dasar utama dalam pengambilan keputusan karena pengujian multikolinearitas pada model yang menggunakan konstanta umumnya mengacu pada nilai Centered VIF. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model regresi tidak menunjukkan adanya gejala multikolinearitas, sehingga variabel produksi listrik dari batubara, investasi asing, dan luas hutan dapat digunakan secara bersama-sama dalam analisis pengaruhnya terhadap emisi karbon di Indonesia periode 1990–2022.

Uji Heteroskedastisitas menggunakan Uji Breusch-Pagan-Godfrey

Uji heteroskedastisitas dilakukan dengan menggunakan Breusch-Pagan-Godfrey untuik mendeteksi apakah terdapat varians residual yang tidak konstan.

Tabel 3. Uji Heterokedastisitas

F-Statistic	2.246953	Prob. F(3,9)	0.1040
Obs*R-squared	6.223923	Prob. Chi-Square(3)	0.1012
Scaled explained SS	4.035304	Prob. Chi-Square(3)	0.2577

Sumber: Data diolah Eviews 12

Berdasarkan hasil uji heteroskedastisitas menggunakan metode Breusch-Pagan-Godfrey, diperoleh nilai ObsR-squared* sebesar 6,223953 dengan nilai probabilitas Prob. Chi-Square(3) sebesar 0,1012. Nilai probabilitas tersebut lebih besar dari tingkat signifikansi 0,05 (0,1012 > 0,05), sehingga H_0 tidak ditolak. H_0 dalam pengujian ini menyatakan bahwa model memiliki varians residual yang konstan (homoskedastisitas).

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model regresi tidak mengalami gejala heteroskedastisitas, karena tidak terdapat bukti yang cukup untuk menyatakan bahwa varians residual tidak konstan. Hasil ini menunjukkan bahwa model regresi telah memenuhi asumsi homoskedastisitas, sehingga dapat dilanjutkan ke pengujian asumsi klasik lainnya dan pengujian hipotesis.

Uji Autokolerasi

Uji autokolerasi dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada hubungan sistematis antara residual dari satu data pengamatan dengan residual dari data pengamatan lainnya dalam model regresi.

Tabel 4. Uji Autokolerasi

Statistic	Value	Prob.
F-statistic	1.611657	0.2182** (F(2,27))
Obs*R-squared	3.519448	0.1721** (Chi-Square(2))

Sumber: Data diolah Eviews 12

Berdasarkan hasil uji autokorelasi menggunakan metode Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test, diperoleh nilai ObsR-squared sebesar 3,519448 dengan nilai probabilitas Prob. Chi-Square(2) sebesar 0,1721. Nilai probabilitas tersebut lebih besar dari tingkat signifikansi 0,05 (0,1721 > 0,05), sehingga H_0 tidak ditolak. H_0 dalam pengujian ini menyatakan bahwa tidak terdapat autokorelasi hingga lag ke-2.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model regresi tidak mengalami gejala autokorelasi, karena tidak terdapat bukti yang cukup untuk menyatakan adanya korelasi antarresidual pada lag yang diuji. Hasil ini menunjukkan bahwa model regresi telah memenuhi asumsi nonautokorelasi hingga lag ke-2, sehingga dapat dilanjutkan ke tahap pengujian hipotesis dan analisis regresi lebih lanjut.

Uji Hipotesis

Uji Parsial (t-stat)

Untuk melihat seberapa besar pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dapat dilihat dari nilai koefisien regresinya. Sedangkan untuk mengetahui apakah pengaruh tersebut signifikan atau tidak, dapat dilihat dari nilai probabilitas (prob) t-statistik dengan tingkat signifikansi (a) seber 5%. Jina nilai prob > 0,05 (5%) maka pengaruh tidak signifikan dan sebaliknya (Mardiatmoko, 2020).

Tabel 5. Uji Parsial

Variabel	Coefficient
C	25.90061
LNX1_Listrik Batubara	0.316218
X2_FDI	1.09E-11
LNX3_Luas Hutan	-1.937118

Sumber: Data diolah Eviews 12

Berdasarkan hasil estimasi regresi linier berganda dengan nilai koefisien variabel Produksi Listrik Batubara (LNX1_Listrik Batubara) sebesar 0.316218, artinya apabila produksi listrik batubara meningkat 1 satuan maka emisi CO2 akan meningkat sebesar 0.3162 satuan. Nilai Prob. t-stat sebesar 0.0000 < a = 5%, artinya produksi listrik batubara berpengaruh signifikan positif terhadap emisi CO2 di Indonesia.

Untuk nilai koefisien variabel FDI (X2_FDI) sebesar 1.09E-11, yang menunjukkan bahwa setiap kenaikan konsumsi listrik sebesar 1 satuan akan meningkatkan emisi CO2 sebesar 1.0900 satuan. Nilai Prob. t-stat sebesar 0.0000 < a = 5%, artinya FDI berpengaruh signifikan positif terhadap emisi CO2 di Indonesia.

Sedangkan untuk nilai koefisien variabel luas hutan (LNX3_Luas hutan) sebesar -1.937118, artinya ketika luas hutan meningkat 1 juta hektar, maka emisi CO2 akan menurun 1.9371 satuan. Nilai Prob. t-stat sebesar 0.0000 < a = 5%, menunjukkan bahwa luas hutan berpengaruh signifikan negative terhadap emisi CO2 di Indonesia.

Uji Simultan (f-stat)

Berdasarkan hasil uji simultan (f-stat), nilai prob f-stat sebesar 0.0000 < a=5% dan F-statistic sebesar 270.0287 yang berarti variabel produksi listrik batubara, fdi dan luas hutan berpengaruh signifikan terhadap Emisi CO^2.

Tabel 5. Uji Simultan

F-statistic	238.8279
Prob(F-statistic)	0.0000**

Sumber: Data Diolah Eviews 12

*Keterangan: ** signifikan pada taraf 5%*

Berdasarkan hasil uji simultan (f-stat), nilai prob f-stat sebesar 0.0000 < a=5% dan F-statistic sebesar 238.8279 yang berarti variabel produksi listrik batubara, fdi dan luas hutan berpengaruh signifikan terhadap Emisi CO2.

Uji Koefisien Determinasi (R2)

Tabel 6. Koefisien Determinasi

Adjusted R-squared	0.957075

Sumber: Data Diolah Eviews 12

Berdasarkan uji koefisien determinasi (R2), diperoleh nilai Adjusted R-squared sebesar 0.9570 atau 95.7%, yang berarti variasi emisi CO2 dapat dijelaskan oleh konsumsi listrik, produksi listrik batubara dan luas hutan. Sementara sisanya, yaitu 4,3% dijelaskan oleh variabel lain diluar model.

Analisis Regresi Linier Berganda

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh persamaan:

LnEmisiCo2 = 25.90061 + 0.31621 LnListrik_Batubara +1.0905 Fdi - 1.93711 Luas_Hutan

Tabel 7. Uji Regresi Linier Berganda

Variabel	Coefficient	Prob.
C	25.90061	0.0000**
LN_Listrtik Batubara	0.316218	0.0000**
FDI	1.09E-11	0.0000**
LN_Luas hutan	-1.937118	0.0000**

Sumber: Data Diolah Eviews 12

*Keterangan: ** signifikan pada taraf 5%*

Mengacu pada estimasi OLS yang disajikan di sini, model tersebut menggunakan emisi CO_2 per kapita sebagai variabel dependen, sementara logaritma natural dari persentase listrik yang dihasilkan dari batubara serta luas tutupan hutan berfungsi sebagai variabel independen yang sudah disesuaikan, ditambah FDI dalam bentuk aslinya. Angka koefisien untuk porsi listrik dari batu bara berada di level 0,316218, untuk FDI sebesar $1{,}09 \times 10^{-11}$, dan untuk kawasan hutan sendiri sebesar $-1{,}937118$. Seluruh koefisien tersebut terbukti signifikan jika mengacu pada nilai probabilitas yang tertera dalam tabel estimasi. Mengingat adanya temuan yang tidak stasioner pada beberapa waktu yang lalu, maka hasil ini seharusnya dianggap sekadar sebagai keterkaitan statistik dalam model, bukan sebagai konfirmasi hubungan kausal yang mutlak.

Nilai koefisien logaritma produksi listrik tenaga batubara tercatat sebesar 0,316218 dengan tanda positif. Dalam kerangka model log-linier tersebut, angka ini merepresentasikan elastisitas: dengan asumsi variabel lain tidak berubah, setiap kenaikan 1% pada porsi listrik batubara akan mendorong peningkatan emisi CO_2 per kapita sebesar kira-kira 0,316%. Hubungan searah ini menunjukkan bahwa semakin dominan peran batubara dalam bauran energi listrik, maka emisi di sektor energi pun akan semakin melonjak. Interpretasi ini mendukung kajian Erfian dkk. (2025) terkait determinan emisi dari pembangkit listrik tenaga uap batubara di Indonesia, sekaligus selaras dengan observasi Pujiati dkk. (2023) yang menyebutkan bahwa penggunaan energi kotor berkontribusi terhadap degradasi kualitas lingkungan di Indonesia. Meskipun demikian, variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah proporsi listrik berbahan bakar batubara, bukan volume absolut produksi listrik; sehingga, temuan ini sebaiknya dimaknai sebagai kaitan antara struktur pembangkitan dan emisi, bukannya pengaruh langsung dari setiap penambahan unit listrik yang dihasilkan.

Nilai koefisien FDI menampilkan nilai positif sebesar $1{,}09 \times 10^{-11}$, yang dalam naskah ini dioptimalkan secara signifikan secara statistik. Mengingat satuan FDI adalah dolar AS, besaran yang tampak sangat kecil ini harus dicermati dengan memperhatikan konteks unit pengukurannya. Merujuk pada skala yang digunakan dalam dokumen tersebut, peningkatan arus modal FDI sebesar US$1 miliar terkait dengan penambahan emisi CO_2 per kapita sebesar kira-kira 1,1%, dengan asumsi variabel lainnya bersifat konstan. Tren positif ini konsisten dengan pollution haven hypothesis, yang berargumen bahwa modal penanaman cenderung mengalir ke sektor -sektor industri intensif energi atau yang memiliki risiko polusi tinggi di wilayah dengan aturan lingkungan yang lebih

longgar (Walter & Ugelow, 1979; Copeland & Taylor, 1994). Hasil ini juga selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Keh et al. (2024), yang menemukan korelasi positif antara FDI dan emisi CO_2 di Indonesia untuk jangka panjang, serta kajian lintas negara yang dipaparkan oleh Tashim dan Rudatin (2023). Namun demikian, data ini tidak mengimplikasikan bahwa setiap FDI secara otomatis menyebabkan kenaikan emisi. Dampak nyata yang muncul bisa berbeda-beda tergantung pada sektor sasaran investasi, jenis teknologi yang dipakai, serta standar keinginan yang dianut oleh perusahaan terkait. Zarsky (1999) justru menawarkan perspektif lain lewat konsep efek halo polusi, di mana masuknya investasi asing justru membawa teknologi dan melakukan praktik operasionalyang lebih bersih. Dengan demikian, koefisien positif pada model ini lebih akurat jika dipahami sebagai hubungan rata-rata selama kurun waktu observasi, bukannya sebagai vonis bagi tiap-tiap proyek investasi yang ada.

Nilai koefisien logaritma variabel luas hutan sebesar −1,937118 mengindikasikan korelasi negatif terhadap besaran emisi CO_2 per kapita. Jika dilihat dari sisi elastisitas, setiap kenaikan cakupan hutan sebesar 1% ditutupi dengan penyusutan emisi sekitar 1,937%, dengan asumsi faktor lain tidak berubah. Kecenderungan ini selaras dengan peran hutan sebagai penyerap karbon sebagaimana ditegaskan oleh Pan et al. (2011), sekaligus konfirmasi temuan Keh dkk. (2024) serta Tashim dan Rudatin (2023) yang juga menemukan kaitan negatif antara luasan hutan dan emisi. Riset yang dilakukan Amalia dkk. (2024) pun menampilkan bahwa pola hubungan serupa mungkin terjadi dalam rentang waktu yang lebih lama. Akan tetapi, interpretasi terhadap koefisien tersebut perlu dilakukan secara cermat: indikator emisi CO_2 yang dipakai dalam penelitian ini tidak mencakup seluruh emisi yang timbul akibat alih fungsi lahan. Oleh karena itu, hubungan negatif yang teramati ini jangan dipandang sebagai representasi langsung dari volume penyerapan karbon oleh hutan. Selain itu, variabel luas hutan bisa jadi mencerminkan pergeseran struktural lain selama masa observasi, sehingga koefisien reliabilitas serta sifat data tidak memerlukan waktu yang tetap untuk diketahui.

Pada penelitian ini, uji statistik F menghasilkan probabilitas 0,0000, yang berimplikasi pada penolakan hipotesis nol yang menyatakan bahwa keseluruhan koefisien koefisien independen bernilai nol pada tingkat signifikansi 5%. Hal ini menandakan bahwa proporsi listrik berbasis batubara, penanaman modal asing secara langsung, serta luas tutupan hutan memiliki hubungan yang signifikan terhadap emisi CO_2 dalam kerangka model yang digunakan. Nilai Adjusted R-squared sebesar 0,957075 mencerminkan bahwa kurang lebih 95,71% variansi variabel dependen dalam sampel mampu dijelaskan oleh variabel-variabel di dalam model karena berhubungan dengan jumlah prediktor. Sedangkan sisa 4,29% lainnya dipengaruhi oleh faktor-faktor di luar cakupan model maupun komponen residu. Angka tersebut mengkonfirmasi bahwa model memiliki tingkat kesesuaian yang memadai pada data sampel, namun hal ini juga tidak menjadi bukti bahwa model telah mengidentifikasi hubungan kausalitas atau akan mempertahankan presisi prediksi yang serupa pada data di luar sampel.

Implikasi Kebijakan

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa guna menekan angka emisi CO_2 di Indonesia, diperlukan langkah-langkah terpadu yang mencakup ranah kebijakan energi, modal penanaman, serta sektor kehutanan. Awalnya, korelasi positif antara pemanfaatan energi listrik berbasis batubara dengan tingginya emisi menegaskan urgensi untuk segera

beralih ke sumber energi yang lebih bersih. Transformasi ini wajib dibarengi dengan pembangunan kapabilitas energi baru terbarukan, penguatan stabilitas jaringan transmisi, dan penyusunan strategi transisi yang memperhitungkan daya beli masyarakat, berikut efek sosial-ekonomi bagi para pekerja serta wilayah yang selama ini menjadi sentra industri batubara. Temuan Erfian dkk. (2025) terkait emisi yang dihasilkan PLTU batubara pun menyoroti signifikansi pengetatan regulasi emisi dalam lingkup pembangkit listrik.

Selain itu, keterkaitan positif antara penanaman modal asing (FDI) terhadap emisi memberikan sinyal bahwa kebijakan investasi tidak boleh semata-mata mengejar besaran nilai modal yang masuk. Otoritas terkait seharusnya memperketat mekanisme pemantauan lingkungan, keterbukaan data emisi, kewajiban penggunaan teknologi hijau, serta pengawasan kepatuhan terhadap proyek -proyek padat energi. Kebijakan tersebut perlu dipastikan agar investasi mampu mendorong penyerapan energi kerja sekaligus meningkatkan produktivitas, sambil terus mendorong transisi menuju sektor-sektor bernilai tambah yang rendah karbon. Pada saat yang sama, fenomena halo polusi sebagaimana dijelaskan Zarsky (1999) harus dioptimalkan melalui skema transfer teknologi danpenerapan metode produksi yang lebih ramah lingkungan.

Ketiga, korelasi negatif antara luasan tutupan hutan dan emisi menegaskan betapa mendesaknya upaya perlindungan kawasan hutan, pencegahan deforestasi, serta restorasi lahan yang terdegradasi. Studi yang dilakukan Pan et al. (2011) menggarisbawahi peran vital hutan di seluruh dunia sebagai penyerap karbon, yang menjadikan pelestarian hutan sebagai komponen fundamental dalam agenda mitigasi perubahan iklim. Walaupun demikian, kebijakan semacam ini tidak boleh berasumsi bahwa ekspansi luas hutan saja sudah memadai untuk mengompensasi emisi yang dihasilkan sektor energi. Mengingat metrik emisi yang digunakan dalam riset ini belum mencakup secara menyeluruh emisi yang dipicu oleh alih fungsi lahan, penilaian kebijakan kehutanan semestinya diperkuat dengan data terkait deforestasi, insiden kebakaran, degradasi hutan, serta fluktuasi cadangan karbon.

Secara garis besar, implikasi kebijakan yang krusial dari temuan ini mengisyaratkan pentingnya penyelarasan antara dekarbonisasi di sektor pembangkit energi, peningkatan mutu investasi asing, dan konservasi hutan ke dalam satu kerangka strategis yang terpadu. Ketiga elemen tersebut memiliki sifat komplementer: upaya memangkas emisi dari sektor energi harus berjalan beriringan dengan komitmen investasi yang lebih berkelanjutan serta pemeliharaan ekosistem. Oleh karena hasil uji ekonometrika belum tuntas sepenuhnya dalam mengatasi persoalan stasioneritas, saran ini sebaiknya diposisikan sebagai acuan kebijakan yang berpijak pada pola hubungan dalam data, alih-alih dianggap sebagai estimasi dampak kausal yang absolut

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menjawab tujuannya sebagai berikut. Pertama, pangsa produksi listrik dari batubara berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO_2 Indonesia 1990–2022 dengan elastisitas 0,316. Kedua, FDI berpengaruh positif dan signifikan dengan semi-elastisitas 0,0109, atau sekitar 1,1% per tambahan US$1 miliar, sehingga mendukung pollution haven hypothesis. Ketiga, luas hutan berpengaruh negatif dan signifikan dengan elastisitas −1,937. Model menjelaskan 96,1% variasi emisi dan memenuhi uji normalitas, heteroskedastisitas, dan multikolinearitas.

Temuan ini memiliki batas yang jelas. Beberapa variabel tidak stasioner pada level, bukti kointegrasi tidak kuat, koefisien lnHUTAN tidak stabil antarsubperiode, dan pada model selisih pertama hanya FDI yang mendekati signifikan. Selain itu, model tidak mengontrol PDB, konsumsi energi, maupun volume produksi listrik, dan indikator emisi tidak mencakup alih guna lahan. Karena itu, hasil dibaca sebagai asosiasi jangka panjang, bukan efek kausal.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk (1) memakai ARDL atau VECM agar dinamika jangka pendek dan jangka panjang dapat dipisahkan; (2) menambahkan PDB per kapita, konsumsi energi, dan volume produksi listrik batubara sebagai kontrol; (3) memecah FDI menurut sektor; dan (4) menggunakan ukuran emisi yang mencakup alih guna lahan untuk menilai peran hutan secara langsung.

DAFTAR REFERENSI

Amalia, M., Junianto, R., Kartiasih, F., & Rahmadani, R. (2024). Examining the Impact of Energy Use, Economic Growth, and Forest Area on CO2 Emissions: Consequences for Achieving the SDGs. *Jurnal Pendidikan Lingkungan Dan Pembangunan Berkelanjutan*, *25*(02), 1–26. https://doi.org/10.21009/plpb.v25i02.42230

Clive W. J, G., & Paul, N. (1974). Spurious Regressions in Econometrics. *Journal of Econometrics*, *2*(2), 111–120. https://doi.org/10.1016/0304-4076(74)90034-7

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

Ehrlich, P. R., & Holdren, J. P. (1971). Impact of Population Growth. *Science, New Series*, *171*(3977), 1212–1217. http://www.jstor.org/stable/1731166

Erfian, A., Syafei, A. D., Zuki, F. M., Hermana, J., Assomadi, A. F., Susanto, A. P. Y., & Lazuardi, D. J. (2025). Determining Carbon Dioxide Emission Factors of Indonesia Coal-Fired Power Plants with CEMS Measurement Data. *Aerosol and Air Quality Research*, *25*(1–4), 3. https://doi.org/10.1007/s44408-025-00002-4

Felbermayr, G., Peterson, S., & Wanner, J. (2025). Trade and the environment, trade policies and environmental policies—How do they interact? *Journal of Economic Surveys*, *39*(3), 1148–1184. https://doi.org/10.1111/joes.12628

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

Gujarati, D. N., & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics* (5th ed). McGraw-Hill Irwin.

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, *342*(6160), 850–853. https://doi.org/10.1126/science.1244693

Ingo, W., & Judith L., U. (1979). Environmental Policies in Developing Countries. *Ambio*, *8*(2/3), 102–109. https://doi.org/10.2307/4312437

Keh, C.-G., Tan, Y.-T., Tang, S.-E., Sim, J.-J., & Lee, C.-Y. (2023). EVALUATING THE ROLE OF FORESTED AREA, AGRICULTURAL LAND, ENERGY CONSUMPTION AND FOREIGN DIRECT INVESTMENT ON CO2 EMISSIONS IN INDONESIA. *Journal of Tourism, Hospitality and Environment Management*, *8*(32), 72–87. https://doi.org/10.35631/JTHEM.832006

Kinski, N., Hidayat, P., & Suhaimi, S. (2026). *ANALYSIS OF ECONOMIC GROWTH AND CARBON EMISSIONS IN INDONESIA*. *9*(2).

Mardiatmoko, G. (2020). PENTINGNYA UJI ASUMSI KLASIK PADA ANALISIS REGRESI LINIER BERGANDA (STUDI KASUS PENYUSUNAN PERSAMAAN ALLOMETRIK KENARI MUDA [CANARIUM INDICUM L.]). *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, *14*(3), 333–342. https://doi.org/10.30598/barekengvol14iss3pp333-342

Mu Tashim, T., & Rudatin, A. (2024). Analisis ekonomi negara BRICS terhadap emisi karbon dioksida (CO2). *Jurnal Kebijakan Ekonomi dan Keuangan*, 205–214. https://doi.org/10.20885/JKEK.vol2.iss2.art12

Noviyanti, N. K., Barsua, N. P. E. U., & Antanara, I. G. A. (2024). *ANALYSIS OF DETERMINANTS OF CO2 EMISSIONS IN THE ENERGY SECTOR AS A REFLECTION OF THE GREEN ECONOMY IN INDONESIA, 2000—2022*.

Pan, Y., Birdsey, R. A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W. A., Phillips, O. L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Pacala, S. W., McGuire, A. D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S., & Hayes, D. (2011). A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, *333*(6045), 988–993. https://doi.org/10.1126/science.1201609

Perwithosuci, W., Kurniawan, M. L. A., & Kuncoro, T. G. (2024). CARBON EMISSIONS, ECONOMIC GROWTH, AND RENEWABLE ENERGY IN INDONESIA: AN AUTOREGRESSIVE DISTRIBUTED LAG MODEL. *Jurnal Ekonomi Dan Bisnis (EK&BI)*, *7*(2), 454. https://doi.org/10.37600/ekbi.v7i2.1743

Pujiati, A., Yanto, H., Dwi Handayani, B., Ridzuan, A. R., Borhan, H., & Shaari, M. S. (2023). The detrimental effects of dirty energy, foreign investment, and corruption on environmental quality: New evidence from Indonesia. *Frontiers in Environmental Science*, *10*, 1074172. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1074172

Raihan, A., & Tuspekova, A. (2022). Dynamic impacts of economic growth, energy use, urbanization, agricultural productivity, and forested area on carbon emissions: New insights from Kazakhstan. *World Development Sustainability*, *1*, 100019. https://doi.org/10.1016/j.wds.2022.100019

Rizki, C. A., & Anggraeni, P. W. (2022). ANALISIS PENGARUH FOREIGN DIRECT INVESTMENT, PENANAMAN MODAL DALAM NEGERI, DAN GROSS DOMESTIC PRODUCT TERHADAP EMISI KARBON DI INDONESIA. *Journal of Development Economic and Social Studies*, *1*(4), 529–538. https://doi.org/10.21776/jdess.2022.01.4.03

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

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

Taylor, M. S. (2004). *Trade, Growth and the Environment*.

Zarsky, L. (1999). *Havens, Halos and Spaghetti: Untangling the Evidence About the Relationship Between Foreign Investment and the Environment*.