



Eksplorasi Pengaruh Deforestasi, Lahan Pertanian, Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Kualitas Lingkungan di Indonesia

Exploration the Effects of Deforestation, Agricultural Land, Economic Growth on Environmental Quality in Indonesia

Hasbi¹

Sekolah Tinggi Agama Islam Mulia Astuti, Wonogiri, Indonesia

Suci Wulandari Siregar

Universitas Insaniah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Artikel Masuk : 13 Januari 2025

Artikel Diterima : 26 Januari 2026

Tersedia Online : 30 April 2026

Abstrak: Penelitian ini menganalisis pengaruh deforestasi, lahan pertanian, dan pertumbuhan ekonomi terhadap kualitas lingkungan yang diprosikan oleh emisi CO₂ di Indonesia. Studi ini bertujuan untuk menguji keberlakuan hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) serta mengidentifikasi dinamika hubungan jangka pendek dan jangka panjang antar variabel. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Vector Error Correction Model* (VECM) terhadap data runtun waktu periode 1990–2020. Hasil uji kointegrasi Johansen menunjukkan adanya hubungan jangka panjang yang signifikan di antara variabel penelitian (trace statistic = 98,88 > nilai kritis 47,86; $\alpha = 5\%$). Estimasi VECM jangka panjang menunjukkan bahwa deforestasi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ dengan koefisien sebesar 2,617 (t-statistik = 3,817; $p < 0,01$), lahan pertanian sebesar 1,414 (t-statistik = 2,932; $p < 0,01$), dan pertumbuhan ekonomi sebesar 0,545 (t-statistik = 2,342; $p < 0,05$). Sementara itu, dalam jangka pendek hanya deforestasi yang berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ dengan koefisien 2,324 (t-statistik = 2,088; $p < 0,05$), sedangkan lahan pertanian dan pertumbuhan ekonomi tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa degradasi kualitas lingkungan di Indonesia lebih dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan dan pertumbuhan ekonomi dalam jangka panjang dibandingkan efek jangka pendek. Implikasi kebijakan dari penelitian ini menekankan pentingnya pengendalian deforestasi dan pengelolaan lahan pertanian yang berkelanjutan sebagai bagian integral dari strategi pembangunan ekonomi rendah karbon di Indonesia.

Kata Kunci: Agrikultur, Deforestasi, Lingkungan, Pertumbuhan Ekonomi.

¹ Korespondensi Penulis: Sekolah Tinggi Agama Islam Mulia Astuti, Wonogiri, Indonesia

Email: haassbi@gmail.com

How to Cite

Hasbi, H., & Siregar, S. W. (2026). Eksplorasi Pengaruh Deforestasi, Lahan Pertanian, Pertumbuhan

Ekonomi Terhadap Kualitas Lingkungan di Indonesia. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 14(1), 76-

93. <https://doi.org/10.14710/jwl.14.1.76-93>

Abstract: This study examines the effects of deforestation, agricultural land, and economic growth on environmental quality, proxied by CO₂ emissions, in Indonesia. The study aims to test the validity of the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis and to identify both short-run and long-run dynamics among the variables. A quantitative approach is employed using the Vector Error Correction Model (VECM) with time-series data covering the period 1990–2020. The Johansen cointegration test confirms the existence of a significant long-run relationship among the variables (trace statistic = 98.88, exceeding the 5% critical value of 47.86). Long-run VECM estimates indicate that deforestation has a positive and statistically significant effect on CO₂ emissions, with a coefficient of 2.617 (t-statistic = 3.817; $p < 0.01$). Agricultural land and economic growth also exert significant positive effects, with coefficients of 1.414 (t-statistic = 2.932; $p < 0.01$) and 0.545 (t-statistic = 2.342; $p < 0.05$), respectively. In the short run, only deforestation significantly affects CO₂ emissions, with a coefficient of 2.324 (t-statistic = 2.088; $p < 0.05$), while agricultural land and economic growth are not statistically significant. These findings suggest that environmental degradation in Indonesia is driven primarily by land-use change and economic expansion in the long run rather than short-term fluctuations. The policy implications highlight the importance of deforestation control and sustainable land-use management as integral components of Indonesia's low-carbon and sustainable development strategy.

Keywords: Agricultural Land; Deforestation; Economic Growth; Environment

Pendahuluan

Selama beberapa tahun terakhir, kekhawatiran mengenai peningkatan suhu global dan bencana ekologi tertentu terus meningkat secara konsisten (Farooq et al., 2024). Untuk mengatasi kerusakan iklim, langkah pertama dan paling penting adalah mengurangi emisi gas rumah kaca, yang dapat dicapai melalui pengaturan serta pengurangan emisi CO₂ dan jejak ekologi (Adebayo et al., 2023). Pemanasan global yang terus meningkat menjadi penghalang utama bagi pembangunan berkelanjutan akibat pemborosan dan konsumsi energi yang berlebihan, serta penggunaan sumber daya alam yang tidak efisien. Energi dipandang sebagai pendorong utama pertumbuhan ekonomi dan faktor utama yang berkontribusi terhadap kerusakan ekologi (Athari, 2024). Pertumbuhan di sektor manufaktur juga disertai dengan peningkatan signifikan emisi CO₂ ke lingkungan. Karbon dioksida dalam emisi gas rumah kaca menjadi salah satu titik panas dalam penelitian perubahan iklim, banyak negara berdedikasi untuk mengembangkan kebijakan energi yang tepat (Hasbi, 2023).

Asia dan Pasifik merupakan kawasan yang paling sering dilanda bencana alam. Negara-negara dengan populasi terbanyak mengalami jumlah korban jiwa dan dampak ekonomi terbesar. Namun, dari segi besarnya bencana, negara-negara termiskin dan negara-negara kepulauan kecil yang sedang berkembang mengalami dampak ekonomi tertinggi (Warsame et al., 2024). Banyak negara berkembang telah mengalami pertumbuhan ekonomi yang signifikan dalam dua dekade terakhir. OECD (2010) memperkirakan bahwa kontribusi negara berkembang terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) global akan meningkat dari 40% pada tahun 2000 menjadi 57% pada tahun 2030. Pertumbuhan ekonomi yang pesat ini telah membantu mengurangi kemiskinan, menciptakan lebih banyak lapangan kerja, dan meningkatkan pendapatan per kapita. Namun, dampak negatif terhadap lingkungan juga terjadi, termasuk peningkatan polusi udara di negara berkembang. World Health Organization (2021) melaporkan bahwa 91% populasi yang terkena paparan polusi udara parah tinggal di negara berkembang.

Sejak krisis finansial tahun 1998, Indonesia telah tumbuh dengan rata-rata laju sebesar 5,3% per tahun (World Bank, 2021a) dan berhasil menurunkan tingkat kemiskinan dari 19,1% pada tahun 2000 menjadi 9,4% pada 2019 (World Bank, 2021b). Namun, distribusi pendapatan di Indonesia sangat tidak merata (lihat Gambar S4), di

mana aktivitas ekonomi lebih terpusat di Pulau Jawa dan Sumatra yang masing-masing menyumbang 60% dan 22% dari PDB nasional (BPS, 2019a). Di saat yang bersamaan, kualitas lingkungan di Indonesia terus memburuk. (Greenstone & Fan, 2019) melaporkan bahwa Indonesia berubah dari salah satu negara dengan tingkat polusi terendah menjadi salah satu yang tertinggi setelah 1998, yang disebabkan oleh peningkatan jumlah kendaraan, pembangkit listrik berbahan bakar batu bara, dan kebakaran hutan.

Teori *Environmental Kuznet Curve* (EKC) sering digunakan untuk memahami bagaimana perkembangan ekonomi memengaruhi polusi lingkungan dan kerusakan lahan (Hussein & Warsame, 2023). Dalam kasus deforestasi, teori ini menunjukkan bahwa deforestasi meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi. Namun, ketika pendapatan masyarakat naik dua kali lipat, jumlah hutan bisa bertambah dengan cepat, sehingga mengurangi penebangan hutan (Grossman & Krueger, 1995). Beberapa negara seperti India, Australia, Somalia dan Republik Demokratik Kongo telah menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi yang pesat mempercepat deforestasi. Penyebab deforestasi ini bisa berbeda-beda di setiap negara tergantung pada struktur ekonominya (Hussein & Warsame, 2023). Beberapa penelitian menyatakan bahwa polusi lingkungan berkontribusi langsung pada pertumbuhan ekonomi karena berdampak pada produksi dan penciptaan lapangan kerja (Ghosh, 2010; Shahijan et al., 2014). Sebagian besar studi hanya melihat hubungan satu arah, yaitu polusi lingkungan terjadi karena perkembangan ekonomi. Namun, ada juga penelitian yang menunjukkan bahwa polusi lingkungan dapat membantu mendorong pertumbuhan ekonomi. Misalnya, di Pakistan (Abbasi et al., 2021) dan beberapa negara lainnya (Magazzino et al., 2021), emisi CO₂ justru membantu memacu perkembangan ekonomi.

Salah satu penghasil emisi Gas Rumah Kaca (GRK) utama di dunia adalah sektor pertanian, yang menyumbang setidaknya 20% dari total emisi di seluruh dunia, yang mana lebih dari 44% emisi sektor pertanian dihasilkan di benua Asia (FAO, 2016). Penelitian ini sangat penting dan memberikan kontribusi signifikan, terutama karena sektor pertanian dan manufaktur telah menjadi pilar utama ekonomi Indonesia. Nilai tambah sektor pertanian terus meningkat dari 23,57 miliar USD pada tahun 1960 menjadi 143,78 miliar USD pada tahun 2018 (Prastiyo et al., 2020). Namun, seiring dengan pertumbuhan sektor industri dan jasa, kontribusi sektor pertanian terhadap PDB terus mengalami penurunan. Pada tahun 1960, sektor pertanian menyumbang 34,22% terhadap PDB, tetapi menurun menjadi 12,54% pada tahun 2018 (World Bank, 2019). Meskipun kontribusi sektor pertanian menurun, hingga tahun 2018, sektor ini masih menjadi sektor terbesar kedua yang menopang pertumbuhan ekonomi Indonesia, setelah sektor manufaktur (BPS, 2019b).

Sejumlah penelitian terdahulu di Indonesia telah mengkaji hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan dengan mengacu pada hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menggunakan pendekatan ekonometrika seperti ARDL dan VECM. Namun, sebagian besar studi tersebut masih berfokus pada variabel makroekonomi konvensional, seperti konsumsi energi, industrialisasi, keterbukaan perdagangan, dan urbanisasi, sebagai determinan utama emisi karbon (A et al., 2023; Azwar, 2019; Rahmayani et al., 2025; Sugiawan & Managi, 2016; Waluyo & Terawaki, 2016; Wella Amalia Yanuarti, 2024). Pendekatan ini cenderung mengabaikan peran perubahan penggunaan lahan, khususnya deforestasi dan konversi lahan pertanian, yang merupakan karakteristik utama pembangunan ekonomi Indonesia berbasis sumber daya alam. Selain itu, banyak studi EKC di Indonesia lebih menekankan pada hubungan kausal jangka pendek atau hanya menguji keberadaan hubungan linier maupun non linier antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon, tanpa mengeksplorasi mekanisme penyesuaian jangka panjang yang muncul akibat perubahan struktural penggunaan lahan (Hartono et al., 2023; Hasbi & Wibowo, 2025; Iskandar et al., 2020; Rahayuningrum, 2024). Akibatnya, pemahaman mengenai bagaimana deforestasi dan ekspansi lahan pertanian berkontribusi

terhadap degradasi kualitas lingkungan secara bertahap dan kumulatif masih relatif terbatas.

Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, terdapat beberapa celah penelitian (*research gaps*) yang belum banyak dibahas secara mendalam dalam konteks Indonesia. Pertama, meskipun deforestasi merupakan salah satu sumber utama emisi gas rumah kaca di Indonesia, variabel ini jarang diposisikan sebagai determinan utama emisi karbon dalam model EKC berbasis VECM/ARDL. Kedua, konversi lahan pertanian umumnya diperlakukan sebagai isu sektoral pertanian atau ketahanan pangan, bukan sebagai faktor kunci dalam dinamika emisi karbon nasional. Ketiga, masih terbatas penelitian yang secara simultan menganalisis interaksi jangka pendek dan jangka panjang antara deforestasi, lahan pertanian, pertumbuhan ekonomi, dan emisi karbon dalam satu kerangka dinamis yang terintegrasi. Oleh karena itu, penelitian ini berkontribusi dengan memperluas literatur EKC di Indonesia melalui pendekatan VECM yang secara eksplisit memasukkan deforestasi dan lahan pertanian sebagai determinan utama emisi karbon. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang lebih kontekstual mengenai hubungan pembangunan ekonomi dan degradasi lingkungan di negara berkembang berbasis sumber daya alam.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan kesenjangan penelitian tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan secara eksplisit sebagai berikut:

1. Apakah terdapat hubungan jangka panjang antara deforestasi, lahan pertanian, pertumbuhan ekonomi, dan emisi CO₂ di Indonesia?
2. Bagaimana pengaruh deforestasi, lahan pertanian, dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO₂ dalam jangka panjang?
3. Apakah deforestasi, lahan pertanian, dan pertumbuhan ekonomi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap emisi CO₂ dalam jangka pendek?
4. Bagaimana dinamika penyesuaian emisi CO₂ terhadap guncangan pada deforestasi, lahan pertanian, dan pertumbuhan ekonomi dalam kerangka VECM?

Rumusan masalah ini diharapkan mampu memberikan dasar analitis yang jelas dalam menguji hipotesis EKC serta memperkuat kontribusi empiris penelitian terhadap literatur ekonomi lingkungan di Indonesia.

Literature Review

Hipotesis *Environmental Kuznet Curve* (EKC) telah dibenarkan secara teoritis dengan mengacu pada skala, komposisi, dan efek teknik (Grossman & Krueger, 1991), efek pendapatan (Selden & Song, 1994) dan efek ambang batas (Copeland & Taylor, 2004). Banyak studi empiris telah menguji hipotesis untuk berbagai indikator degradasi lingkungan, yang mengukur polutan udara global dan lokal.

Sebagian besar studi global mengenai polutan didasarkan pada emisi CO₂ dan sebagian besar menolak hipotesis Kurva *Environmental Kuznets* (EKC). Sarkodie et al., (2019) menunjukkan kurva berbentuk U terbalik untuk CO₂ dengan titik balik pada US\$9 ribu menurut meta-analisis mereka. Namun, Purcel, (2020) mencatat bahwa beberapa titik balik yang diidentifikasi dalam penelitian tersebut berada pada GDP per kapita yang lebih tinggi dari tingkat saat ini dan, oleh karena itu, lebih diprediksi daripada diobservasi. Sebaliknya, sebagian besar studi terkait polutan lokal, seperti partikel materi dan sulfur dioksida, menunjukkan pola EKC. Polutan lokal yang meningkat memicu respons kebijakan politik karena dampak kesehatan yang serius terkait dengan polutan ini dan penurunan produktivitas tenaga kerja yang diakibatkannya (Gill et al., 2022).

Stern (2017) meninjau beberapa studi yang menunjukkan kurva berbentuk U terbalik untuk polutan lokal seperti SO₂ dan Materi Partikular Tersuspensi (SPM).

Sebagian besar studi tersebut didasarkan pada data lintas negara. Penilaian terhadap polutan lokal dengan data tingkat negara mungkin kurang tepat untuk negara berkembang karena variasi yang signifikan dalam tingkat pendapatan, struktur ekonomi, serta kebijakan dan regulasi lingkungan antar provinsi dan kota dalam suatu negara. Hal ini terutama berlaku untuk Indonesia, di mana masalah polusi lokal sering kali ditangani melalui kebijakan dan regulasi regional, dan kota-kota berada pada tahapan berbeda dalam EKC.

Lingkungan hijau sangat penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, kesehatan manusia, dan pertumbuhan ekonomi suatu negara. Akan tetapi, penggundulan hutan berdampak buruk pada keberlanjutan lingkungan. Banyak faktor yang melatarbelakangi penggundulan hutan, seperti pertumbuhan penduduk yang cepat, urbanisasi, kemiskinan, dan kurangnya kemajuan teknologi. Hubungan antara penggundulan hutan dan degradasi lingkungan merupakan topik hangat dan telah dibahas oleh banyak penulis untuk masing-masing negara dan kelompok seperti Murshed (2022) untuk Bangladesh, Arshad et al., (2020) untuk negara-negara Asia, Andrée et al., (2019) untuk 95 negara di dunia, Caravaggio, (2020) untuk negara berkembang, Nathaniel & Bekun, (2020) untuk Nigeria, dan Hussain et al., (2016) untuk Pakistan.

Penelitian oleh Murshed (2022) meneliti dampak deforestasi di Bangladesh dari 1972 hingga 2018, menunjukkan bahwa konsumsi energi, penurunan lahan pertanian, dan pertumbuhan populasi memicu deforestasi, dengan pertumbuhan PDB 1% menyebabkan deforestasi meningkat 13%. Nathaniel & Bekun, (2020) menemukan bahwa konsumsi energi, urbanisasi, dan pertumbuhan ekonomi signifikan terhadap deforestasi di Nigeria (1971-2015). Di Pakistan, Ullah et al., (2020) mencatat deforestasi dipicu oleh rendahnya kesadaran, kemiskinan, dan ketergantungan pada kayu bakar. Andrée et al., (2019) mengaitkan pertumbuhan ekonomi dengan peningkatan energi terbarukan, tetapi deforestasi mengikuti kurva U terbalik. Musa et al., (2022) menemukan bahwa deforestasi meningkatkan produksi CO₂ dan merusak lingkungan dalam jangka panjang di Nigeria.

Tingkat konversi lahan pertanian di Indonesia adalah 187.720 ha/tahun, dengan sebagian besar lahan yang dikonversi digunakan untuk pengembangan perumahan dan kawasan industri. Pengembangan perumahan menyumbang 48,96% dari total konversi lahan, diikuti oleh pengembangan industri (36,50%) dan perkantoran (14,55%) Agus & Irawan, (2006). Penyebab utama konversi lahan pertanian adalah tingginya permintaan lahan untuk penggunaan non-pertanian dan rendahnya keuntungan dari produksi pertanian tradisional. Pembangunan perkotaan yang pesat di area pinggiran kota meningkatkan nilai lahan pertanian untuk penggunaan perkotaan, sehingga mendorong petani untuk menjual lahan mereka (Irawan, 2008). Petani sering melihat menjual lahan sebagai kesempatan untuk mencari pekerjaan yang lebih menjanjikan dan memperoleh uang cepat untuk diinvestasikan di sektor lain (Agus & Irawan, 2006).

Pada tahun 2009, pemerintah Indonesia mengeluarkan UU No. 41 Tahun 2009 untuk melindungi dan mengendalikan laju konversi lahan pertanian. Ada dua mekanisme utama yang diusulkan untuk mengontrol konversi lahan. Pertama, melarang konversi lahan pertanian dengan membentuk "Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan" (LP2B), yaitu lahan pertanian yang dilindungi oleh hukum dan tidak dapat dikonversi selama 20 tahun. Penetapan LP2B dilakukan oleh pemerintah daerah (tingkat kabupaten) melalui peraturan daerah (PERDA). Kedua, memberikan insentif kepada petani untuk tetap melakukan aktivitas pertanian, seperti pengurangan pajak tanah, peningkatan infrastruktur pertanian, pendanaan penelitian varietas unggul, akses mudah ke informasi dan teknologi pertanian, penyediaan input pertanian, jaminan kepemilikan lahan, dan penghargaan bagi petani yang berprestasi (Rondhi et al., 2018). Tujuan utama mekanisme ini adalah meningkatkan nilai ekonomi dari kegiatan pertanian, sehingga mengurangi kemungkinan petani mengonversi lahan mereka untuk penggunaan lain.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif menggunakan data *time series* dari tahun 1990-2020 di Indonesia. Penelitian ini menggunakan *Vector Error Correction Model* (VECM) yang cocok digunakan untuk data runtun waktu yang tidak stasioner, karena mampu mengidentifikasi hubungan keseimbangan jangka panjang dan dinamika jangka pendek antar variabel (Hajifar et al., 2021; Jang & Ogaki, 2004).

$$EQ = \alpha_0 + \alpha_1 DF_{t-1} + \alpha_2 AGL_{t-i} + \alpha_3 EG_{t-i} + \epsilon_t \quad (1)$$

$$\Delta EQ = \beta_0 + \sum_{i=1}^m \beta_{1i} \Delta DF_{t-1} + \sum_{i=1}^m \beta_{2i} \Delta AGL_{t-i} + \sum_{i=1}^m \beta_{3i} \Delta EG_{t-i} + \lambda_1 ECT_{t-i} + \epsilon_t \quad (2)$$

Persamaan 1 menunjukkan hubungan jangka panjang dengan konstanta α_0 dan koefisien α_1 - α_3 untuk masing-masing variabel independen, sedangkan ϵ_t merepresentasikan *error term*. Persamaan 2 menggambarkan hubungan jangka pendek dengan koefisien β_1 - β_3 dan *Error Correction Term* (ECT) λ_1 , yang mencerminkan kecepatan penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang setelah adanya guncangan.

Sebelum mengestimasi model PVECM, dilakukan uji stasioneritas menggunakan *Augmented Dicky Fuller* (ADF) dan *Phillips-Perron* (PP) untuk memeriksa apakah data mengandung unit root, di mana jika data tidak stasioner, maka dilakukan differencing hingga mencapai stasioneritas (Engle & Granger, 1987; Widarjono, 2018). Selanjutnya, pemilihan panjang lag optimal menggunakan *Akaike Information Criterion* (AIC) dan *Schwarz Bayesian Criterion* (SBC) dilakukan untuk memastikan keakuratan model (Akaike, 1974; Schwarz, 1978). Setelah itu, dilakukan Uji Stabilitas untuk memastikan model stabil dalam jangka panjang, hal ini bertujuan melihat nilai root nominal (Widarjono, 2018). Sistem PVECM yang stabil ketika memiliki nilai modulus <1 atau berada dalam model lingkaran.

Setelah itu, uji kointegrasi menggunakan *Johansen Cointegration Test* dilakukan untuk memastikan adanya hubungan jangka panjang antara variabel, untuk membuktikan bahwa kointegrasi antar variabel diterima adalah ketika nilai *trace statistic* lebih besar dari nilai kritis pada tingkat alpha 5% (Johansen, 1991; Widarjono, 2018). Selanjutnya untuk melihat hubungan kausalitas dua arah antara variabel maka dilakukan uji kausalitas granger (Engle & Granger, 1987; Widarjono, 2018). *Impulse Response Function* (IRF) membantu memahami bagaimana guncangan dalam satu variabel mempengaruhi variabel lainnya, sementara Analisis *Variance Decomposition* menilai kontribusi relatif variabel independen terhadap variasi prediksi kualitas lingkungan (Widarjono, 2018). Pengujian yang terakhir adalah Uji *Variance Decomposition* memperkirakan persentase kontribusi varians tiap variabel akibat perubahan variabel lain dalam sistem PVECM, serta menunjukkan variabilitas dan besarnya variasi dalam model (Widarjono, 2018).

Selanjutnya, kami menggunakan dekomposisi varians kesalahan perkiraan (FEVD) untuk menunjukkan proporsi pergerakan dalam suatu urutan karena guncangannya sendiri (ϵ_{it}) versus guncangan dari variabel lain (ϵ_{1t} - ϵ_{3t}). Untuk memperkirakan X_{t+n} secara kondisional, kesalahan perkiraan periode n adalah:

$$X_{t-m} - E_t X_{t+m} = \sum_{i=0}^{m-1} \delta_0 \epsilon_{t+m-i} \quad (3)$$

Table 1. Variables and Data Sources

Variables	Measurement	Sources
• Kualitas Lingkungan (EQ)	• Emisi Karbon (kt)	• World Bank
• Deforestasi (FOREST)	• Luas Hutan (sq. km)	• World Bank
• Lahan Pertanian (AGL)	• Luas Lahan(sq. km)	• World Bank
• Pertumbuhan Ekonomi (EG)	• PDB (US\$)	• World Bank

Pada tabel 1 menyajikan definisi operasional variabel yang digunakan dalam penelitian. Kualitas lingkungan (EQ) diproksikan oleh emisi karbon (CO₂) dalam satuan kiloton (kt) yang mencerminkan tingkat tekanan aktivitas ekonomi terhadap lingkungan. Deforestasi (FOREST) diukur berdasarkan luas kawasan hutan (km²) sebagai indikator perubahan penggunaan lahan dan degradasi ekosistem. Lahan pertanian (AGL) direpresentasikan oleh luas lahan pertanian (km²) yang menggambarkan ekspansi dan konversi lahan untuk aktivitas agrikultur. Sementara itu, pertumbuhan ekonomi (EG) diukur menggunakan Produk Domestik Bruto (PDB) dalam satuan dolar Amerika Serikat (US\$) sebagai indikator tingkat aktivitas dan kinerja ekonomi nasional. Seluruh data bersumber dari World Bank untuk menjamin konsistensi, keterbandingan, dan reliabilitas data dalam analisis empiris.

Hasil dan Pembahasan

Statistik Deskriptif

Data statistik deskriptif menunjukkan bahwa rata-rata kualitas lingkungan (CO₂) diukur pada 12.72, dengan sedikit variasi di antara observasi, ditandai oleh standar deviasi 0.395. Rata-rata deforestasi berada di 4.01 dengan variasi kecil (standar deviasi 0.084), sedangkan lahan pertanian rata-rata sebesar 13.15 dengan variasi minimal. Pertumbuhan ekonomi menunjukkan rata-rata 7.76, dengan standar deviasi 0.29, mencerminkan variasi moderat. Secara keseluruhan, data menunjukkan stabilitas pada keempat variabel ini di antara 31 observasi.

Table 2. Deskriptif Statistik

	EQ	FOREST	AGL	GDP
Mean	12.71558	4.005101	13.14748	7.763183
Median	12.74300	3.979904	13.16408	7.684745
Maximum	13.31346	4.181099	13.37390	8.266787
Minimum	11.90728	3.893284	12.93244	7.302252
Std. Dev.	0.395544	0.083711	0.143453	0.290359
Observations	31	31	31	31

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Stationary Test: The ADF Test and PP Test

Table 3. The ADF Test and PP Test

Variables	Augmented Dickey Fuller (ADF)		Philip-Perron (PP)	
	LEVEL	1st difference	LEVEL	1st difference
EQ	0.151	0.004	0.000	0.000
FOREST	0.087	0.004	0.125	0.004
AGL	0.98	0.000	0.983	0.000
GDP	0.918	0.007	0.918	0.009
POP	0.5291	0.0000	0.0000	0.0000

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Berdasarkan uji stasioneritas pada tabel 3, rata-rata variabel tidak stasioner pada tingkat level, namun setelah mentransformasi data ke *first difference*, variabel-variabel tersebut menjadi stasioner. Setelah memastikan semua variabel stasioner maka tahap selanjutnya adalah melakukan uji lag optimal untuk menentukan jumlah lag yang tepat, dan memastikan bahwa model dapat menangkap hubungan antara variabel dengan akurasi yang tinggi.

Optimal Lag Test Results

Berdasarkan hasil uji panjang lag optimal pada tabel 4, kriteria AIC, SC, dan HQ menunjukkan lag 3 sebagai yang paling sesuai untuk model. Nilai AIC terendah tercapai pada lag 3 serta didukung oleh nilai FPE terendah sebesar 1.38e+11, serta hasil optimal pada SC dan HQ di lag 3.

Table 4. Optimal Lag Test Results

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	161.0961	NA	1.57e-10	-11.22115	-11.03083	-11.16297
1	288.3375	209.0395	5.66e-14	-19.16696	-18.21539	-18.87606
2	301.5908	17.98663	7.45e-14	-18.97077	-17.25794	-18.44714
3	342.3958	43.71965*	1.57e-14*	-20.74256*	-18.26846*	-19.98620*

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Stability Test

Berdasarkan tabel 5, sebagian besar akar karakteristik model VAR memiliki nilai modulus < 1, yang menunjukkan stabilitas model. Beberapa akar memiliki nilai modulus sangat kecil, seperti 0,000877 yang menguatkan stabilitas jangka panjang pada model. dan perlu pemantauan. Secara keseluruhan, model stabil tetapi membutuhkan perhatian lebih jika ada perubahan signifikan dalam data.

Table 5. Stability Test Results

Root	Modulus
0.989132	0.989132
0.764314 - 0.205783i	0.791532
0.764314 + 0.205783i	0.791532
0.049114 - 0.440025i	0.442757
0.049114 + 0.440025i	0.442757
0.327328	0.327328
0.133316 - 0.217473i	0.255084
0.133316 + 0.217473i	0.255084

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Granger Causality Test

Table 6. Granger Causality

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
FOREST does not Granger Cause CO2	29	0.07240	0.9304
CO2 does not Granger Cause FOREST		1.78817	0.1888
AGL does not Granger Cause CO2	29	1.96903	0.1615
CO2 does not Granger Cause AGL		4.37353	0.0240
GDP does not Granger Cause CO2	29	0.80530	0.4587
CO2 does not Granger Cause GDP		0.51151	0.6060
AGL does not Granger Cause FOREST	29	1.39204	0.2679
FOREST does not Granger Cause AGL		2.72172	0.0860
GDP does not Granger Cause FOREST	29	1.69748	0.2044
FOREST does not Granger Cause GDP		0.55293	0.5824

Null Hypothesis:	Obs	F-Statistic	Prob.
GDP does not Granger Cause AGL	29	3.10583	0.0632
AGL does not Granger Cause GDP		1.80421	0.1862

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Hasil uji *Granger Causality* menunjukkan sebagian besar hubungan antar variabel tidak signifikan. Deforestasi (FOREST) tidak mempengaruhi CO2, begitu juga sebaliknya. Lahan pertanian (AGL) tidak mempengaruhi CO2, namun CO2 secara signifikan mempengaruhi lahan pertanian. Pertumbuhan ekonomi (GDP) tidak mempengaruhi CO2, deforestasi, atau lahan pertanian secara signifikan, meskipun ada indikasi bahwa GDP mungkin mempengaruhi lahan pertanian ($p = 0.0632$). Hubungan kausal yang kuat hanya ditemukan antara CO2 dan lahan pertanian, di mana CO2 mempengaruhi konversi lahan pertanian.

Hasil ini mengindikasikan bahwa hubungan antara Deforestasi, Lahan pertanian, pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon di Indonesia tidak bersifat kausal langsung dalam jangka pendek, melainkan lebih mencerminkan proses penyesuaian struktural jangka panjang. Temuan ini relevan dengan karakter pembangunan Indonesia, di mana dampak aktivitas ekonomi dan perubahan penggunaan lahan terhadap kualitas lingkungan umumnya terjadi secara bertahap dan terakumulasi, bukan secara instan (Suratin et al., 2023). Dengan demikian, ketidaksignifikanan kausalitas jangka pendek tidak serta-merta meniadakan hubungan ekonomi–lingkungan, tetapi justru menegaskan pentingnya pendekatan kebijakan jangka panjang yang konsisten.

Co-integration test: The Johansson co-integration test

Table 7. Trace Statistics

Hypothesized No. of CE(s)	Unrestricted Cointegration Rank Test (Trace)			
	Eigenvalue	Trace Statistics	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.830561	98.88178	47.85613	0.0000
At most 1 *	0.738482	52.72492	29.79707	0.0000
At most 2 *	0.345434	17.85240	15.49471	0.0217
At most 3 *	0.231142	6.834063	3.841465	0.0089

Trace test indicates 3 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Table 8. Maximum Eigenvalue

Hypothesized No. of CE(s)	Unrestricted Cointegration Rank Test (Maximum Eigenvalue)			
	Eigenvalue	Max-Eigen Statistics	0.05 Critical Value	Prob.**
None *	0.830561	46.15686	27.58434	0.0001
At most 1 *	0.738482	34.87252	21.13162	0.0003
At most 2	0.345434	11.01834	14.26460	0.1533
At most 3 *	0.231142	6.834063	3.841465	0.0089

Max-eigenvalue test indicates 3 cointegrating eqn(s) at the 0.05 level

* denotes rejection of the hypothesis at the 0.05 level

**MacKinnon-Haug-Michelis (1999) p-values

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Berdasarkan hasil uji kointegrasi pada tabel 7 dan 8, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan jangka panjang yang signifikan antara variabel-variabel yang diuji.

Pada tabel 7 terdapat 4 kointegrasi yang signifikan, begitu pun pada tabel 8 terdapat 3 kointegrasi yang signifikan dengan menggunakan nilai maximum eigenvalue. Hasil ini menggambarkan bahwa variabel-variabel yang diuji bergerak bersama dalam jangka panjang yang mencerminkan keseimbangan yang stabil.

Tabel 9. Short-Term and Long-Term PVECM Estimates

Variables	Coefficient Value	T-statistic	Information
Short Run Results			
CointEq1	-0.566975	[-1.58928]	
D(FOREST(-2))	2.324307	[2.08808]	Significant
D(AGL(-2))	0.931934	[1.81439]	Not Significant
D(GDP(-2))	0.286971	[1.02984]	Not Significant
Long Run Results			
EQ	1.000000	1.000000	
FOREST	2.617002	[3.81733]	Significant
AGL	1.414419	[2.93189]	Significant
GDP	0.545128	[2.34167]	Significant

Note: T-tabel ($\alpha=0,05$) = 1.96641368

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Hasil estimasi PVECM pada Tabel 9 menunjukkan dinamika yang berbeda antara jangka pendek dan jangka panjang dalam hubungan antara deforestasi, lahan pertanian, pertumbuhan ekonomi, dan emisi CO₂ di Indonesia. Nilai *error correction term* (CointEq1) yang negatif menunjukkan arah penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang meskipun koreksi tersebut tidak signifikan secara statistik, yang mencerminkan sifat perubahan lingkungan dan penggunaan lahan yang memerlukan waktu untuk berdampak secara struktural (Nazeer Ahmed et al., 2024).

Dalam jangka pendek, deforestasi memiliki pengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ dengan koefisien positif 2,324. Secara ekologis dan ekonomi, hal ini menunjukkan bahwa aktivitas penebangan hutan dan konversi lahan menyebabkan pelepasan karbon yang cepat dari biomassa hutan ke atmosfer, serta mengurangi kapasitas penyimpanan karbon (*carbon sink*). Temuan ini sejalan dengan studi yang menemukan dampak langsung deforestasi terhadap emisi gas rumah kaca di negara berkembang, terutama di kawasan tropis (Arshad et al., 2020). Sebaliknya, lahan pertanian dan pertumbuhan ekonomi tidak menunjukkan pengaruh signifikan dalam jangka pendek, yang mengindikasikan bahwa dampak kedua variabel tersebut terhadap emisi CO₂ perlu waktu untuk terwujud melalui perubahan struktural dalam sistem produksi dan konsumsi energi (Si et al., 2021).

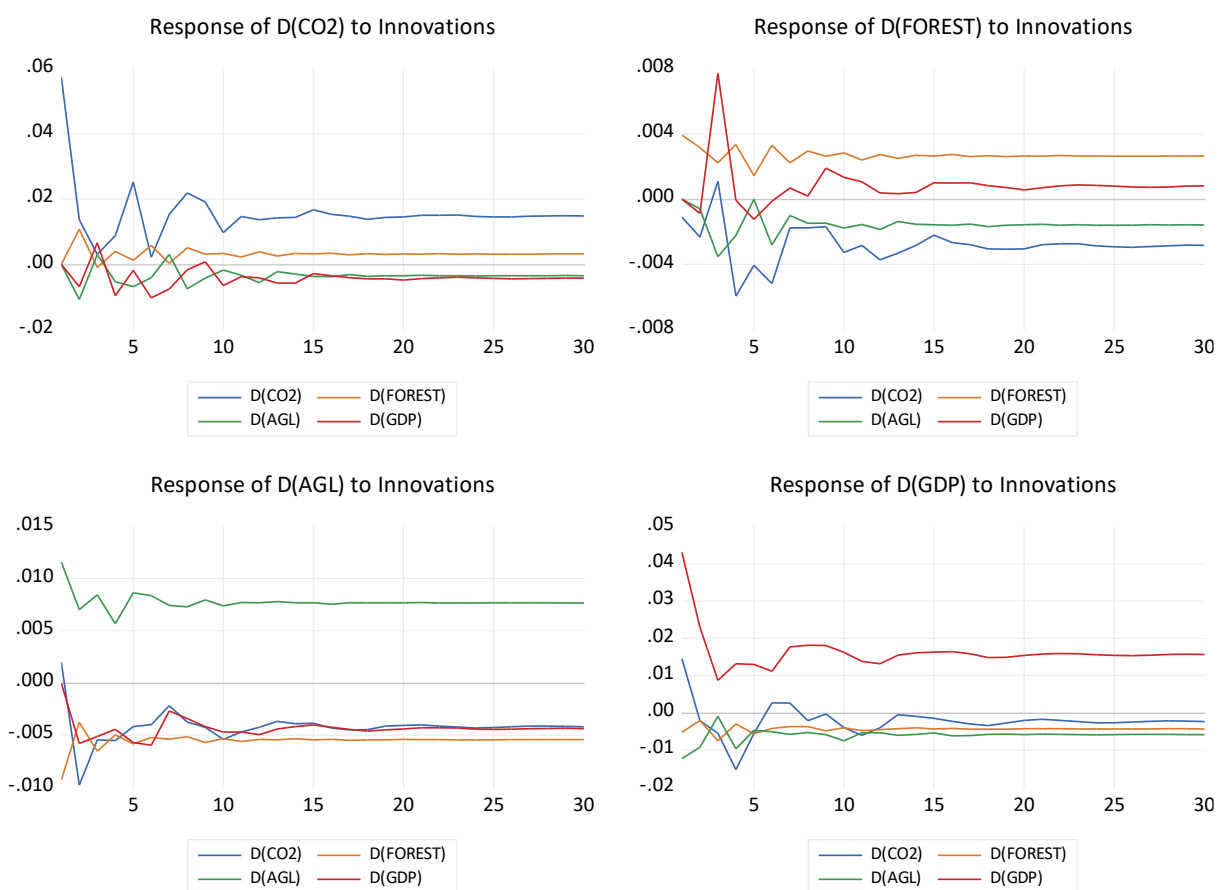
Dalam jangka panjang, seluruh variabel independen berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂. Deforestasi menunjukkan koefisien tertinggi sebesar 2,617, yang menegaskan bahwa hilangnya tutupan hutan merupakan determinan utama degradasi lingkungan dalam konteks Indonesia. Hal ini konsisten dengan temuan bahwa deforestasi secara sistematis berkontribusi pada peningkatan emisi karbon jangka panjang melalui pengurangan stok karbon hutan dan perubahan fungsi lahan (Putri et al., 2025). Lahan pertanian juga signifikan dengan koefisien 1,414, yang menunjukkan bahwa ekspansi dan intensifikasi lahan pertanian berdampak pada emisi CO₂ melalui degradasi tanah dan penggunaan input berbasis energi fosil, sebagaimana ditemukan dalam studi-studi terkait konversi lahan pertanian dan emisi (Putri et al., 2025).

Pertumbuhan ekonomi menunjukkan koefisien positif 0,545 dalam jangka panjang, yang berarti bahwa pertumbuhan ekonomi di Indonesia masih bersifat *carbon-intensive*. Artinya, peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB) masih berkaitan dengan peningkatan emisi karbon, menunjukkan bahwa transisi ke teknologi rendah karbon belum optimal. Temuan ini mengikuti literatur yang menyatakan bahwa negara berkembang sering kali

mengalami hubungan positif antara pertumbuhan ekonomi dan emisi sebelum transisi teknologi bersih menjadi signifikan (Salahuddin et al., 2018).

Impulse Responde Function (IRF) and Forecast Error Variance Decomposition (FEVD)

Response to Cholesky One S.D. (d.f. adjusted) Innovations



Sumber : Data diolah peneliti (2024)

Gambar 1. Impulse Responde Function

Hasil impulse response function (IRF) menunjukkan bahwa guncangan antar variabel memicu respons yang fluktuatif pada periode awal sebelum sistem kembali stabil, mengindikasikan bahwa dampak perubahan ekonomi dan penggunaan lahan terhadap emisi karbon di Indonesia bersifat jangka pendek dan transisional. CO2 merespons positif terhadap guncangan dirinya sendiri, menegaskan adanya persis tensi emisi, sementara respons CO2 terhadap deforestasi dan lahan pertanian cenderung melemah dan berbalik negatif dalam jangka panjang. Respons CO2 terhadap GDP relatif netral, menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi tidak secara langsung meningkatkan emisi karbon.

Di sisi lain, deforestasi dan lahan pertanian merespons positif terhadap guncangan CO2 dan GDP pada periode awal, yang mencerminkan tekanan pembangunan wilayah, urbanisasi, dan konversi lahan di Indonesia. Pola stabilisasi pada periode selanjutnya menegaskan bahwa dampak kebijakan lingkungan dan pengelolaan tata guna lahan tidak bersifat instan, tetapi memerlukan konsistensi jangka panjang (Hoehnerman et al., 2025). Dengan demikian, hasil IRF menekankan pentingnya kebijakan pengendalian deforestasi dan perlindungan lahan pertanian yang terintegrasi lintas sektor dan wilayah untuk menekan emisi karbon secara berkelanjutan.

Tabel 10. Variance Decomposition

Period	S.E.	D(CO2)	D(FOREST)	D(AGL)	D(GDP)
1	0.057583	100.0000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.061504	92.61440	3.040748	3.089238	1.255616
3	0.062011	91.34871	3.015584	3.270083	2.365623
4	0.063724	88.41832	3.252625	3.789910	4.539140
5	0.068906	89.00931	2.812259	4.226742	3.951686
6	0.070064	86.19046	3.399182	4.426092	5.984267
7	0.072190	85.70740	3.203392	4.348722	6.740490
8	0.075994	85.62690	3.337545	4.904247	6.131311
9	0.078552	86.08480	3.282803	4.883255	5.749147
10	0.079506	85.52972	3.379250	4.816389	6.274643
11	0.081040	85.60667	3.328849	4.805267	6.259213
12	0.082572	85.18989	3.424557	5.097847	6.287707
13	0.084062	85.07155	3.396880	4.991368	6.540196
14	0.085606	84.86999	3.429643	4.935576	6.764794
15	0.087415	85.06713	3.419835	4.916376	6.596659
16	0.088970	85.09589	3.449879	4.930216	6.524013
17	0.090378	85.12618	3.448365	4.900104	6.525351
18	0.091665	85.01313	3.476401	4.930763	6.579707
19	0.093013	84.96779	3.480722	4.933454	6.618034
20	0.094390	84.89032	3.493515	4.927442	6.688722
21	0.095797	84.89036	3.497481	4.905623	6.706536
22	0.097175	84.89221	3.509912	4.897967	6.699911
23	0.098537	84.91850	3.514641	4.888919	6.677945
24	0.099829	84.90214	3.525683	4.891468	6.680708
25	0.101081	84.87785	3.533188	4.890379	6.698587
26	0.102325	84.84081	3.541901	4.890244	6.727041
27	0.103586	84.82233	3.547402	4.885103	6.745167
28	0.104840	84.80914	3.554404	4.879566	6.756891
29	0.106082	84.80827	3.559822	4.872709	6.759202
30	0.107302	84.80383	3.566260	4.869815	6.760091

Source: Secondary data processed by the author using EViews 12, 2024

Hasil dekomposisi varian dari model ini menunjukkan bahwa pada awalnya, perubahan kualitas lingkungan (D(CO2)) sepenuhnya dipengaruhi oleh guncangan dari dirinya sendiri, namun seiring waktu, variabel lain seperti deforestasi (D(FOREST)), penggunaan lahan pertanian (D(AGL)), dan pertumbuhan ekonomi (D(GDP)) mulai memberikan kontribusi yang signifikan. Pada periode ke-30, meskipun pengaruh D(CO2) masih dominan (84,80%), kontribusi deforestasi meningkat menjadi 3,56%, penggunaan lahan pertanian sebesar 4,87%, dan pertumbuhan ekonomi mencapai 6,76%. Kesimpulannya, meski kualitas lingkungan sebagian besar dipengaruhi oleh faktor internal, dalam jangka panjang, deforestasi, penggunaan lahan pertanian, dan pertumbuhan ekonomi memainkan peran penting dalam menentukan kualitas lingkungan. Implikasi dari hasil ini adalah perlunya kebijakan yang lebih terintegrasi yang mempertimbangkan dampak deforestasi, penggunaan lahan, dan aktivitas ekonomi terhadap kualitas lingkungan untuk mencapai pembangunan yang berkelanjutan.

Pembahasan

Temuan empiris penelitian ini memvalidasi keberadaan hubungan kointegrasi jangka panjang di antara variabel yang dianalisis, yang mengindikasikan adanya keterkaitan struktural antara deforestasi, konversi lahan, pertumbuhan ekonomi, dan emisi karbon di Indonesia. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan pada sektor

penggunaan lahan dan aktivitas ekonomi tidak hanya berdampak secara temporer, tetapi membentuk pola degradasi lingkungan yang berkembang secara bertahap dan berkelanjutan dalam jangka panjang.

Deforestasi terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, yang menegaskan peran sentral sektor kehutanan dalam dinamika emisi karbon nasional. Dalam jangka pendek, ketika pohon ditebang atau dibakar, karbon yang tersimpan dalam biomassa hutan dilepaskan secara langsung ke atmosfer dalam bentuk CO₂, sehingga meningkatkan emisi gas rumah kaca secara instan. Selain itu, berkurangnya jumlah pohon juga secara cepat menurunkan kapasitas penyerapan karbon melalui proses fotosintesis, yang mengakibatkan penurunan fungsi hutan sebagai *carbon sink* (Murshed, 2022; Musa et al., 2022). Dampak ini bersifat langsung dan relatif cepat, sehingga deforestasi menjadi faktor yang paling responsif terhadap perubahan emisi karbon dalam jangka pendek.

Namun, dampak deforestasi menjadi lebih besar dan persisten dalam jangka panjang. Seiring dengan meluasnya area hutan yang hilang, degradasi tanah dan kerusakan ekosistem semakin meningkat, yang secara sistematis menurunkan kemampuan lingkungan untuk menyerap karbon secara keseluruhan. Kondisi ini memperburuk akumulasi karbon di atmosfer dan menciptakan tekanan ekologis yang bersifat jangka panjang. Hilangnya tutupan hutan juga menimbulkan efek lanjutan melalui perubahan fungsi lahan, seperti konversi menjadi lahan pertanian atau pemukiman, yang umumnya disertai dengan aktivitas beremisi tinggi, termasuk penggunaan bahan bakar fosil dan intensifikasi pertanian. Oleh karena itu, deforestasi tidak hanya berfungsi sebagai pemicu emisi langsung, tetapi juga sebagai faktor struktural yang memperkuat degradasi lingkungan dalam jangka panjang (Andrée et al., 2019; Caravaggio, 2020).

Pengalihan hutan menjadi lahan pertanian menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap emisi karbon dalam jangka panjang, namun tidak berdampak langsung dalam jangka pendek. Dalam jangka pendek, sisa biomassa dari hutan yang baru dibuka masih menyimpan karbon yang belum sepenuhnya dilepaskan ke atmosfer, sementara tanah yang baru dikonversi masih memiliki kapasitas penyimpanan karbon yang relatif tinggi. Kondisi ini menyebabkan dampak awal konversi lahan terhadap emisi karbon belum terlihat secara signifikan (Nunti et al., 2020; Prastiyo et al., 2020). Namun, dalam jangka panjang, praktik pertanian intensif—seperti penggunaan pupuk kimia, pengolahan tanah yang berlebihan, serta mekanisasi berbasis bahan bakar fosil—menyebabkan degradasi tanah dan penurunan kapasitas tanah dalam menyerap karbon. Seiring waktu, hilangnya vegetasi alami dan perubahan fungsi ekosistem tersebut memicu peningkatan emisi karbon secara bertahap dan kumulatif (Naeem Ahmed et al., 2019).

Produk Domestik Bruto (GDP) juga menunjukkan pengaruh signifikan terhadap emisi karbon dalam jangka panjang, sementara dalam jangka pendek dampaknya belum terlihat secara nyata. Dalam jangka pendek, peningkatan GDP sering kali berkaitan dengan aktivitas pembangunan dan investasi awal yang belum langsung tercermin dalam lonjakan emisi, terutama ketika peningkatan produktivitas masih ditopang oleh efisiensi sementara atau adopsi teknologi yang relatif lebih baik. Selain itu, beberapa sektor ekonomi dapat mengalami pertumbuhan output tanpa peningkatan emisi yang sebanding, sehingga efek jangka pendek pertumbuhan ekonomi terhadap emisi karbon menjadi tidak signifikan (Suci Wulandari Siregar, 2023).

Sebaliknya, dalam jangka panjang, pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan meningkatkan permintaan energi, penggunaan bahan bakar fosil, serta ekspansi sektor industri dan transportasi, yang secara kumulatif berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon. Pertumbuhan GDP juga mendorong urbanisasi, konsumsi energi rumah tangga, dan pembangunan infrastruktur berskala besar, yang memperkuat tekanan

lingkungan dari sektor manufaktur, transportasi, dan energi. Ketergantungan pada teknologi lama yang relatif berpolusi serta lambatnya transisi menuju energi bersih semakin memperbesar dampak pertumbuhan ekonomi terhadap emisi karbon dalam jangka panjang (M. Khan & Ozturk, 2021; Solarin et al., 2021; try Hariani et al., 2022).

Secara kritis, perbedaan pengaruh variabel dalam jangka pendek dan jangka panjang menunjukkan bahwa degradasi lingkungan di Indonesia bersifat struktural dan tidak dapat dijelaskan semata-mata oleh fluktuasi ekonomi jangka pendek. Signifikannya deforestasi dalam kedua horizon waktu menegaskan bahwa sektor penggunaan lahan merupakan determinan utama emisi karbon, sementara lahan pertanian dan pertumbuhan ekonomi berfungsi sebagai pendorong degradasi lingkungan yang bekerja secara bertahap melalui mekanisme akumulatif. Temuan ini mengindikasikan bahwa manfaat efek teknik dan efek komposisi dalam kerangka *Environmental Kuznets Curve* (EKC) belum mampu mengimbangi efek skala pembangunan, sehingga peningkatan pendapatan nasional belum otomatis menurunkan tekanan lingkungan.

Hasil penelitian ini menegaskan bahwa kebijakan mitigasi perubahan iklim yang berfokus pada stabilisasi ekonomi jangka pendek berpotensi tidak efektif dalam menekan emisi karbon. Pengendalian deforestasi dan pengelolaan penggunaan lahan yang berkelanjutan perlu diprioritaskan sebagai instrumen kebijakan utama baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, sementara transformasi menuju pertumbuhan ekonomi rendah karbon menjadi prasyarat penting untuk mengurangi degradasi lingkungan secara struktural dan berkelanjutan.

Kesimpulan

Penelitian ini memberikan bukti empiris yang kuat mengenai adanya hubungan kointegrasi jangka panjang antara deforestasi, lahan pertanian, pertumbuhan ekonomi, dan emisi karbon di Indonesia. Hasil estimasi menunjukkan bahwa keterkaitan antar variabel bersifat struktural dan membentuk dinamika emisi karbon dalam jangka panjang, bukan sekadar respons sementara terhadap fluktuasi ekonomi. Deforestasi terbukti sebagai faktor yang paling kuat dan konsisten dalam meningkatkan emisi karbon. Variabel ini berpengaruh positif dan signifikan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, dengan besaran koefisien terbesar dibandingkan variabel lainnya. Temuan ini menegaskan bahwa pelepasan karbon dari biomassa hutan dan hilangnya fungsi hutan sebagai penyerap karbon memberikan dampak langsung dan berkelanjutan terhadap peningkatan emisi karbon nasional.

Lahan pertanian tidak menunjukkan pengaruh signifikan dalam jangka pendek, namun berpengaruh positif dan signifikan dalam jangka panjang. Hasil ini mengindikasikan bahwa dampak sektor pertanian terhadap emisi karbon terjadi melalui mekanisme akumulatif yang memerlukan waktu, terutama akibat degradasi tanah, konversi lahan, dan peningkatan aktivitas pertanian berbasis energi fosil. Meskipun kekuatan pengaruhnya lebih rendah dibandingkan deforestasi, signifikansi jangka panjangnya menunjukkan bahwa sektor pertanian memiliki peran struktural dalam dinamika emisi karbon. Pertumbuhan ekonomi yang diukur melalui Produk Domestik Bruto juga berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon dalam jangka panjang, sementara dalam jangka pendek pengaruhnya tidak signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi di Indonesia masih diiringi oleh peningkatan konsumsi energi dan aktivitas produksi yang beremisi tinggi, sehingga pola pembangunan yang ada masih bersifat intensif karbon. Besaran koefisien yang lebih kecil dibandingkan variabel penggunaan lahan menunjukkan bahwa faktor ekonomi berperan sebagai pendorong tambahan, namun bukan determinan utama peningkatan emisi karbon.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penelitian ini menggunakan emisi karbon sebagai satu satunya indikator kualitas

lingkungan, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan dimensi lingkungan lainnya seperti degradasi keanekaragaman hayati atau kualitas udara dan air. Kedua, analisis dilakukan pada tingkat nasional sehingga belum mampu menangkap perbedaan karakteristik regional yang dapat memengaruhi hubungan antara penggunaan lahan dan emisi karbon. Ketiga, penelitian ini belum memasukkan variabel kebijakan lingkungan, teknologi energi bersih, atau intensitas energi yang berpotensi memoderasi hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon. Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas indikator kualitas lingkungan dengan memasukkan variabel lingkungan lainnya serta menggunakan data tingkat regional atau provinsi agar variasi spasial dapat dianalisis secara lebih mendalam. Penelitian mendatang juga perlu mempertimbangkan peran kebijakan lingkungan, adopsi teknologi bersih, dan struktur energi untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme pengendalian emisi karbon. Selain itu, penggunaan pendekatan metodologis yang mengakomodasi kemungkinan hubungan non linier dan asimetris juga direkomendasikan untuk memperkaya analisis dinamika jangka pendek dan jangka panjang.

Daftar Pustaka

- A, I. Q., Nasir, M. S., Azhar, Z., Abdulkarim, F. M., & Hussain, M. (2023). *Testing the Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis in Indonesia and India : Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Model Approach*. 24(2), 320–330. <https://doi.org/10.23917/jep.v24i1.23191>
- Abbasi, K. R., Shahbaz, M., Jiao, Z., & Tufail, M. (2021). How energy consumption, industrial growth, urbanization, and CO2 emissions affect economic growth in Pakistan? A novel dynamic ARDL simulations approach. *Energy*, 221, 119793. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119793>
- Adebayo, T. S., Ullah, S., Kartal, M. T., Ali, K., Pata, U. K., & Ağa, M. (2023). Endorsing sustainable development in BRICS: The role of technological innovation, renewable energy consumption, and natural resources in limiting carbon emission. *Science of the Total Environment*, 859, 160181.
- Agus, F., & Irawan, I. (2006). *Agricultural land conversion as a threat to food security and environmental quality*.
- Ahmed, Nazeer, Guo, X., Chandio, A. A., & Alnafissa, M. (2024). Unveiling the Holistic Nexus: Renewable Energy Supply, Sustainable Technology, Forest Plantations, Greenhouse Gas Emissions, and Agricultural Economic Growth in China from Novel Dynamic Ardl Simulation Model. *Sustainable Technology, Forest Plantations, Greenhouse Gas Emissions, and Agricultural Economic Growth in China from Novel Dynamic Ardl Simulation Model*.
- Ahmed, Naeem, Khan, A., & Mansoori, M. T. (2019). *Issues in Existing Agricultural Credit and Scope of Bay' al-Salam as an Alternative*. 9(1), 98–111.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723.
- Andrée, B. P. J., Chamorro, A., Spencer, P., Koomen, E., & Dogo, H. (2019). Revisiting the relation between economic growth and the environment; a global assessment of deforestation, pollution and carbon emission. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 114, 109221.
- Arshad, Z., Robaina, M., Shahbaz, M., & Veloso, A. B. (2020). The effects of deforestation and urbanization on sustainable growth in Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 10065–10086.
- Athari, S. A. (2024). The impact of financial development and technological innovations on renewable energy consumption: Do the roles of economic openness and financial stability matter in BRICS economies? *Geological Journal*, 59(1), 288–300.
- Azwar. (2019). *ECONOMIC GROWTH AND CO2 EMISSIONS IN INDONESIA : INVESTIGATING THE ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE HYPOTHESIS*. 12, 42–52.
- BPS. (2019a). *Economic Growth of Indonesia Fourth Quarter 2019*. Badan Pusat Statistik, Jakarta, Indonesia. <https://www.bps.go.id/pressrelease/2020/02/05/1755/ekonomi-indonesia-2019-tumbuh-5-02-persen.html>
- BPS. (2019b). *Sektor Pertanian Indonesia*.

91 Eksplorasi Pengaruh Deforestasi, Lahan Pertanian, Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Kualitas Lingkungan di Indonesia

- Caravaggio, N. (2020). Economic growth and the forest development path: A theoretical re-assessment of the environmental Kuznets curve for deforestation. *Forest Policy and Economics*, 118, 102259.
- Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2004). Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic Literature*, 42(1), 7–71.
- Engle, R. F., & Granger, C. W. J. (1987). Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 251–276.
- FAO. (2016). *The State Of Food And Agriculture climate Change, Agriculture And Food Security*. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/07bc7c6e-72e5-488d-b2f7-3c1499d098fb/content>
- Farooq, U., Shafiq, M. N., Subhani, B. H., & Gillani, S. (2024). Climate policy uncertainty and regional innovation performance: New empirical evidence from the United States. *Managerial and Decision Economics*, 45(3), 1497–1510.
- Ghosh, S. (2010). Examining carbon emissions economic growth nexus for India: a multivariate cointegration approach. *Energy Policy*, 38(6), 3008–3014.
- Gill, A. R., Haq, M. A. U., Arshad, A., & Akram, F. (2022). Pro-Environmental Habits and Ecological Responsibilities. *2022 International Conference on Decision Aid Sciences and Applications (DASA)*, 1737–1742.
- Greenstone, M., & Fan, Q. (2019). Indonesia's worsening air quality and its impact on life expectancy. *Air Quality Life Index*, 1–10.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental impacts of a North American free trade agreement*. National Bureau of economic research Cambridge, Mass., USA.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377.
- Hajifar, S., Sun, H., Megahed, F. M., Jones-Farmer, L. A., Rashedi, E., & Cavuoto, L. A. (2021). A forecasting framework for predicting perceived fatigue: Using time series methods to forecast ratings of perceived exertion with features from wearable sensors. *Applied Ergonomics*, 90, 103262.
- Hartono, D., Indriyani, W., Iryani, B. S., Komarulzaman, A., Nugroho, A., & Kurniawan, R. (2023). Carbon tax, energy policy, and sustainable development in Indonesia. *Sustainable Development*, 31(4), 2332–2346.
- Hasbi. (2023). *Determinan Emisi Karbon di Negara-Negara G-20 dengan Financial Development Sebagai Variabel Moderasi*. UIN SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA.
- Hasbi, H., & Wibowo, M. G. (2025). Determinants Of Carbon Emissions In G-20 Countries with Financial Development as A Moderation Variable. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan; Vol 12, No 3 (2024): Desember 2024* DO - 10.14710/jwl.12.3.225-241 . <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jwl/article/view/22372>
- Hocherman, T., Trop, T., & Ghermandi, A. (2025). Time lags in environmental governance: A critical review. *Ambio*, 1–18.
- Hussain, I., Rahman, S. U., Zaheer, A., & Saleem, S. (2016). Integrating factors influencing consumers' halal products purchase: Application of theory of reasoned action. *Journal of International Food & Agribusiness Marketing*, 28(1), 35–58.
- Hussein, H. A., & Warsame, A. A. (2023). Testing environmental Kuznets curve hypothesis in Somalia: empirical evidence from ARDL technique. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(5), 678–684.
- Irawan, B. (2008). Meningkatkan efektifitas kebijakan konversi lahan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 26(2), 116–131.
- Iskandar, A., Possumah, B. T., & Aqbar, K. (2020). Islamic financial development, economic growth and CO2 emissions in Indonesia. *Journal of Islamic Monetary Economics and Finance*, 6(2), 353–372.
- Jang, K., & Ogaki, M. (2004). The effects of monetary policy shocks on exchange rates: a structural vector error correction model approach. *Journal of the Japanese and International Economies*, 18(1), 99–114.
- Johansen, S. (1991). Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1551–1580.
- Khan, I., Hou, F., & Le, H. P. (2021). The impact of natural resources, energy consumption, and population growth on environmental quality: Fresh evidence from the United States of America. *Science of the Total Environment*, 754, 142222. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142222>

- Khan, M., & Ozturk, I. (2021). Examining the direct and indirect effects of financial development on CO₂ emissions for 88 developing countries. *Journal of Environmental Management*, 293, 112812.
- Magazzino, C., Mutascu, M., Sarkodie, S. A., Adedoyin, F. F., & Owusu, P. A. (2021). Heterogeneous effects of temperature and emissions on economic productivity across climate regimes. *Science of The Total Environment*, 775, 145893. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145893>
- Murshed, M. (2022). Revisiting the deforestation-induced EKC hypothesis: the role of democracy in Bangladesh. *GeoJournal*, 87(1), 53–74.
- Musa, K. S., Maijama'a, R., & Yakubu, M. (2022). Deforestation, sectoral Co₂ emissions and environmental pollution nexus: Evidence from Nigeria. *Asian Research Journal of Current Science*, 161–181.
- Nathaniel, S. P., & Bekun, F. V. (2020). Environmental management amidst energy use, urbanization, trade openness, and deforestation: The Nigerian experience. *Journal of Public Affairs*, 20(2), e2037.
- Nunti, C., Somboon, K., & Intapan, C. (2020). The impact of climate change on agriculture sector in ASEAN. *Journal of Physics: Conference Series*, 1651(1), 12026.
- OECD. (2010). *Perspectives on Global Development*. https://www.oecd-ilibrary.org/development/perspectives-on-global-development-2010_9789264084728-en
- Prastiyo, S. E., Irham, Hardyastuti, S., & Jamhari, fnm. (2020). How agriculture, manufacture, and urbanization induced carbon emission? The case of Indonesia. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(33), 42092–42103.
- Purcel, A.-A. (2020). New insights into the environmental Kuznets curve hypothesis in developing and transition economies: a literature survey. *Environmental Economics and Policy Studies*, 22(4), 585–631.
- Putri, M. A., Karimi, S., Ridwan, E., & Muharja, F. (2025). Fertilizer use, deforestation, and energy consumption: key drivers of nitrous oxide emissions in Indonesia. *Discover Sustainability*, 6(1), 411.
- Rahayuningrum, S. T. (2024). Analysis of the existence of Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis on co₂ emission, energy consumption, and economic growth in Indonesia. *Journal of Economics Research and Social Sciences*, 8(1), 38–52.
- Rahmayani, D., Anas, M., Rachman, M. A., & Vikia, M. (2025). *The Dynamic Nexus Among Energy Consumption, Economic Growth, and Green Finance on Environmental Quality*. 21(3), 336–353.
- Rondhi, M., Pratiwi, P. A., Handini, V. T., Sunartomo, A. F., & Budiman, S. A. (2018). Agricultural land conversion, land economic value, and sustainable agriculture: A case study in East Java, Indonesia. *Land*, 7(4), 148.
- Salahuddin, M., Alam, K., Ozturk, I., & Sohag, K. (2018). The effects of electricity consumption, economic growth, financial development and foreign direct investment on CO₂ emissions in Kuwait. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2002–2010.
- Sarkodie, S. A., Strezov, V., Jiang, Y., & Evans, T. (2019). Proximate determinants of particulate matter (PM_{2.5}) emission, mortality and life expectancy in Europe, Central Asia, Australia, Canada and the US. *Science of the Total Environment*, 683, 489–497.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, 461–464.
- Selden, T. M., & Song, D. (1994). Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and Management*, 27(2), 147–162.
- Shahijan, M. K., Rezaei, S., Preece, C. N., & Ismail, W. K. W. (2014). Examining retailers' behaviour in managing critical points in Halal meat handling: A PLS analysis. *Journal of Islamic Marketing*.
- Si, R., Aziz, N., & Raza, A. (2021). Short and long-run causal effects of agriculture, forestry, and other land use on greenhouse gas emissions: evidence from China using VECM approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 64419–64430.
- Solarin, S. A., Nathaniel, S. P., Bekun, F. V., Okunola, A. M., & Alhassan, A. (2021). Towards achieving environmental sustainability: environmental quality versus economic growth in a developing economy on ecological footprint via dynamic simulations of ARDL. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(14), 17942–17959. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11637-8>
- Stern, D. I. (2017). The environmental Kuznets curve. In *Oxford research encyclopedia of environmental science* (p. 401). Oxford University Press Oxford, UK.
- Suci Wulandari Siregar, H. (2023). Analisis Pengaruh Keterbukaan Perdagangan, Konsumsi Energi, Dan Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Emisi Karbon Di Negara D-8. *Jurnal Magister Ekonomi Syariah*, 2(1

93 *Eksplorasi Pengaruh Deforestasi, Lahan Pertanian, Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Kualitas Lingkungan di Indonesia*

Juni), 61–77.

- Sugiawan, Y., & Managi, S. (2016). The environmental Kuznets curve in Indonesia: Exploring the potential of renewable energy. *Energy Policy*, 98, 187–198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.029>
- Suratin, A., Utomo, S. W., Martono, D. N., & Mizuno, K. (2023). Indonesia's renewable natural resource management in the low-carbon transition: A conundrum in changing trajectories. *Sustainability*, 15(14), 10997.
- try Hariani, E., Widyawati, R. F., & Ginting, A. L. (2022). Determinants of Carbon Emissions in 10 ASEAN Countries. *Economics Development Analysis Journal*, 11(3), 313–320.
- Ullah, S., Gang, T., Rauf, T., Sikandar, F., Liu, J. Q., & Noor, R. S. (2020). Identifying the socio-economic factors of deforestation and degradation: A case study in Gilgit Baltistan, Pakistan. *GeoJournal*, 1–14.
- Waluyo, E. A., & Terawaki, T. (2016). Environmental Kuznets curve for deforestation in Indonesia: an ARDL bounds testing approach. *Journal of Economic Cooperation & Development*, 37(3), 87.
- Warsame, A. A., Mohamed, J., & Sarkodie, S. A. (2024). Natural disasters, deforestation, and emissions affect economic growth in Somalia. *Heliyon*, 10(6), e28214. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28214>
- Wella Amalia Yanuarti, L. R. (2024). *Analyzing Sustainable Development in Indonesia Based on Environmental Kuznet Curve*. 17(1), 42–56.
- Widarjono, A. (2018). Pengantar dan Aplikasinya Disertai Panduan Eviews. *Buku Ekonometrika. Edisi, 5*.
- World Bank. (2019). *Agriculture in Indonesia*.
- World Bank. (2021a). *GDP growth (annual %) - Indonesia*. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD.ZG?locations=ID>
- World Bank. (2021b). *Poverty headcount ratio at national poverty lines (% of population) - Indonesia*. <https://data.worldbank.org/indicator/SI.POV.NAHC?locations=ID>
- World Health Organization. (2021). *Climate change and health*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>