

Pengaruh Urbanisasi, Kepadatan Penduduk, dan Konsumsi Bahan Bakar terhadap Emisi Karbon di Indonesia

Ilham Taufik¹, Fandy Tiawan²

^{1,2}Program Studi Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Negeri Padang, Indonesia.

*Korespondensi: iilhamtaufik3@gmail.com, fandytiawan@unp.ac.id

Info Artikel

Diterima:

1 September 2026

Disetujui:

15 September 2026

Terbit daring:

23 September 2026

DOI: -

Sitasi:

Taufik, I. & Triawan, F. (2026). Pengaruh Urbanisasi, Kepadatan Penduduk, dan Konsumsi Bahan Bakar terhadap Emisi Karbon di Indonesia.

Abstract:

This study analyzes the effects of urbanization, population density, and fuel consumption on carbon dioxide (CO₂) emissions in Indonesia over 1995–2024. Using annual secondary data from the World Bank, Statistics Indonesia (BPS), and the Ministry of Transportation, the study applies the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) approach to capture short-run and long-run dynamics. Stationarity is examined with the Augmented Dickey-Fuller test, and the selected ARDL(2,2,4,4) model passes normality, heteroscedasticity, and autocorrelation tests, and is structurally stable based on CUSUM tests. The bounds test confirms a long-run cointegrating relationship among the variables, although none of the three independent variables individually shows a significant long-run effect on emissions. In the short run, urbanization and fuel consumption significantly and positively affect emissions, while population density is not significant. Jointly, the three variables explain 91.44 percent of short-run variation in emissions, with a significant negative error correction term confirming convergence toward long-run equilibrium. The findings imply that short-run carbon emission control policy in Indonesia should prioritize fuel efficiency and energy transition in the transportation sector.

Keywords: urbanization; population density; fuel consumption; carbon emissions; ARDL

Abstrak:

Penelitian ini menganalisis pengaruh urbanisasi, kepadatan penduduk, dan konsumsi bahan bakar terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) di Indonesia selama periode 1995–2024. Menggunakan data sekunder tahunan dari World Bank, Badan Pusat Statistik (BPS), dan Kementerian Perhubungan, penelitian ini menerapkan pendekatan Autoregressive Distributed Lag (ARDL) untuk menangkap dinamika jangka pendek maupun jangka panjang. Uji stasioneritas dilakukan dengan Augmented Dickey-Fuller Test, dan model ARDL(2,2,4,4) terpilih lolos uji normalitas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi, serta stabil berdasarkan uji CUSUM. Hasil uji kointegrasi (bounds test) membuktikan adanya hubungan jangka panjang antarvariabel, meskipun secara individual urbanisasi, kepadatan penduduk, maupun konsumsi bahan bakar tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon dalam jangka panjang. Dalam jangka pendek, urbanisasi dan konsumsi bahan bakar berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon, sedangkan kepadatan penduduk tidak signifikan. Secara simultan, ketiga variabel berpengaruh signifikan dan menjelaskan 91,44 persen variasi emisi karbon dalam jangka pendek, dengan koefisien Error Correction Term yang negatif dan signifikan, menunjukkan konvergensi menuju keseimbangan jangka panjang. Temuan ini mengindikasikan bahwa kebijakan pengendalian emisi karbon di Indonesia dalam jangka pendek perlu memprioritaskan efisiensi bahan bakar dan transisi energi pada sektor transportasi.

Kata Kunci: urbanisasi; kepadatan penduduk; konsumsi bahan bakar; emisi karbon; ARDL

Kode Klasifikasi JEL: Q53, Q56, R11

PENDAHULUAN

Peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) merupakan salah satu isu lingkungan utama di tingkat global maupun nasional, karena berkontribusi terhadap pemanasan global, perubahan iklim, dan penurunan kualitas udara (IPCC, 2021). Urbanisasi merupakan salah satu determinan penting dari peningkatan emisi tersebut, karena pertumbuhan kota mendorong meningkatnya kebutuhan energi dan aktivitas industri (Zhang & Lin, 2012). Urbanisasi yang tidak terkendali juga dapat meningkatkan konsumsi energi berbasis bahan bakar fosil sehingga berdampak pada meningkatnya emisi karbon (Rafiq, Salim, & Nielsen, 2016). Selain urbanisasi, kepadatan penduduk turut memengaruhi emisi karbon, karena semakin tinggi kepadatan penduduk suatu wilayah, semakin besar pula kebutuhan energi, transportasi, dan perumahan (Liddle, 2014).

Di Indonesia, kepadatan penduduk meningkat dari sekitar 110 jiwa per km² pada pertengahan 1990-an menjadi sekitar 150 jiwa per km² pada tahun 2024 (Badan Pusat Statistik, 2023), sementara tingkat urbanisasi meningkat dari 30,58 persen pada tahun 1990 menjadi 59,20 persen pada tahun 2024 (World Bank, 2020). Peningkatan ini diikuti oleh meningkatnya konsumsi bahan bakar, terutama pada sektor transportasi. Sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang utama emisi gas rumah kaca dunia, karena meningkatnya jumlah kendaraan bermotor dan tingginya mobilitas masyarakat mendorong konsumsi bahan bakar fosil yang terus meningkat (United Nations Environment Programme, 2022). Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia meningkat dari sekitar 136 juta unit pada tahun 2020 menjadi lebih dari 166 juta unit pada tahun 2024 (Kementerian Perhubungan RI, 2024), sejalan dengan temuan Glaeser dan Kahn (2010) bahwa penggunaan kendaraan pribadi yang berlebihan meningkatkan emisi karbon di kawasan perkotaan.

Hubungan antara aktivitas ekonomi dan emisi karbon dapat dijelaskan melalui teori Environmental Kuznets Curve (EKC), yang menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi cenderung meningkatkan emisi karbon, namun setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu, kesadaran lingkungan yang lebih tinggi mendorong penggunaan teknologi yang lebih bersih (Grossman & Krueger, 1995). Kerangka IPAT ($Impact = Population \times Affluence \times Technology$) juga menjelaskan bahwa dampak lingkungan dipengaruhi oleh jumlah penduduk, aktivitas ekonomi, dan teknologi yang digunakan (Ehrlich & Holdren, 1971); dalam konteks penelitian ini, urbanisasi dan kepadatan penduduk merepresentasikan dimensi populasi, sedangkan konsumsi bahan bakar merepresentasikan dimensi aktivitas ekonomi dan teknologi.

Penelitian terdahulu telah mengkaji hubungan antara urbanisasi, kepadatan penduduk, transportasi, dan emisi karbon secara terpisah. Saleema et al. (2018) menunjukkan bahwa aktivitas transportasi dan kepadatan penduduk meningkatkan emisi karbon, sementara Alghamdi et al. (2024) membuktikan bahwa perkembangan infrastruktur transportasi dan urbanisasi berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca di negara berkembang. Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengintegrasikan urbanisasi, kepadatan penduduk, dan konsumsi bahan bakar sebagai determinan emisi karbon di Indonesia dalam satu kerangka model dinamis masih relatif terbatas, sehingga belum memberikan gambaran yang komprehensif mengenai pengaruh ketiga faktor tersebut, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh urbanisasi, kepadatan penduduk, dan konsumsi bahan bakar terhadap emisi karbon dioksida di Indonesia, baik secara parsial maupun simultan, dalam jangka pendek maupun jangka panjang, dengan menggunakan pendekatan *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). Secara teoritis, penelitian ini diharapkan memperkaya kajian ekonomi lingkungan dan ekonomi perkotaan mengenai determinan emisi karbon di negara berkembang. Secara praktis, hasil

penelitian diharapkan dapat menjadi masukan bagi pemerintah dalam merumuskan kebijakan pengendalian emisi, khususnya pada sektor transportasi dan energi, serta menjadi rujukan bagi peneliti selanjutnya yang mengkaji isu urbanisasi, demografi, dan lingkungan di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang memadukan analisis deskriptif dan asosiatif (kausal). Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan pola perkembangan urbanisasi, kepadatan penduduk, konsumsi bahan bakar, dan emisi karbon di Indonesia, sedangkan pendekatan asosiatif digunakan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara ketiga variabel bebas tersebut terhadap emisi karbon, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Metode analisis yang digunakan adalah *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) dengan data time series tahunan. ARDL dipilih karena tetap dapat digunakan meskipun variabel penelitian memiliki derajat integrasi berbeda, stasioner pada level I(0) maupun pada first difference I(1), relatif efisien untuk sampel terbatas, serta memungkinkan estimasi hubungan jangka pendek melalui Error Correction Model (ECM) dan hubungan jangka panjang melalui Levels Equation dalam satu kerangka model terpadu (Pesaran, Shin, & Smith, 2001).

Objek penelitian adalah negara Indonesia dengan rentang waktu pengamatan dari tahun 1995 sampai 2024 (30 observasi tahunan). Data yang digunakan merupakan data sekunder yang bersumber dari World Bank, Badan Pusat Statistik (BPS), dan Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, dikumpulkan melalui teknik dokumentasi dan studi kepustakaan. Definisi operasional variabel penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Definisi Operasional Variabel

Variabel	Definisi Operasional	Satuan	Sumber Data
Emisi Karbon (Y)	Emisi CO ₂ per kapita	Metric ton per kapita	World Bank
Urbanisasi (X ₁)	Persentase penduduk perkotaan	%	Badan Pusat Statistik
Kepadatan Penduduk (X ₂)	Jumlah penduduk per km ²	Jiwa per km ²	Badan Pusat Statistik
Konsumsi Bahan Bakar (X ₃)	Total konsumsi energi setara minyak	Ribu BOE	World Bank / IEA

Sumber: diolah dari data penelitian, 2026.

Model dasar ARDL yang digunakan dirumuskan sebagai berikut:

$$CO2_t = \alpha_0 + \sum \beta_i CO2_{t-i} + \sum \gamma_j URB_{t-j} + \sum \delta_k KEPD_{t-k} + \sum \theta_l KONS_{t-l} + \varepsilon_t \tag{1}$$

dengan CO_{2t} sebagai emisi karbon pada periode t; URB, KEPD, dan KONS berturut-turut adalah urbanisasi, kepadatan penduduk, dan konsumsi bahan bakar; α₀ adalah konstanta; dan ε_t adalah komponen galat. Panjang lag optimum ditentukan otomatis oleh perangkat lunak EViews 12 berdasarkan kriteria informasi. Tahapan analisis meliputi: (1) uji stasioneritas menggunakan Augmented Dickey-Fuller (ADF) test; (2) penentuan model ARDL terbaik; (3)

uji kointegrasi melalui bounds test untuk mendeteksi hubungan jangka panjang; (4) uji asumsi klasik (normalitas Jarque-Bera, heteroskedastisitas Breusch-Pagan-Godfrey, dan autokorelasi Breusch-Godfrey LM); (5) estimasi koefisien jangka pendek melalui Conditional Error Correction Regression dan koefisien jangka panjang melalui Levels Equation; serta (6) uji stabilitas model menggunakan CUSUM dan CUSUM of Squares test.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Statistik Deskriptif

Selama periode 1995-2024, rata-rata emisi karbon (CO₂) di Indonesia sebesar 1,824 metric ton per kapita, dengan nilai maksimum 2,870 dan minimum 1,110 metric ton per kapita. Urbanisasi rata-rata sebesar 48,81 persen (kisaran 36,08-58,80 persen), kepadatan penduduk rata-rata 130,72 jiwa per km² (kisaran 108,70-148,60), dan konsumsi bahan bakar rata-rata 254.635 ribu BOE (kisaran 124.646-460.776 ribu BOE). Ringkasan statistik deskriptif disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Statistik Deskriptif

Statistik	CO ₂ (metric ton/kapita)	URB (%)	KEPD (jiwa/km ²)	KONS (ribu BOE)
Mean	1,824333	48,81233	130,7167	254.635,1
Median	1,725000	49,55000	131,6500	240.226,0
Maximum	2,870000	58,80000	148,6000	460.776,0
Minimum	1,110000	36,08000	108,7000	124.645,7
Std. Dev.	0,488458	6,662901	13,16856	89.512,3
Observations	30	30	30	30

Sumber: hasil olah data EViews, 2026.

Uji Stasioneritas dan Kointegrasi

Uji Augmented Dickey-Fuller (ADF) menunjukkan bahwa variabel urbanisasi (URB) stasioner pada level I(0), sedangkan emisi karbon (CO₂), kepadatan penduduk (KEPD), dan konsumsi bahan bakar (KONS) stasioner pada first difference I(1) (Tabel 3). Karena tidak terdapat variabel yang terintegrasi pada orde dua I(2), model ARDL layak digunakan. Model terbaik yang terpilih berdasarkan kriteria informasi adalah ARDL(2,2,4,4).

Tabel 3 Hasil Uji Stasioneritas (Augmented Dickey-Fuller Test)

Variabel	ADF Level (Prob.)	ADF 1st Diff (Prob.)	Keterangan
CO ₂ (Y)	0,866031 (0,9934)	-7,280529 (0,0000)	I(1)
URB (X ₁)	-8,749456 (0,0000)	–	I(0)
KEPD (X ₂)	-1,810782 (0,3680)	-4,444616 (0,0016)	I(1)

Variabel	ADF Level (Prob.)	ADF 1st Diff (Prob.)	Keterangan
KONS (X3)	-0,004002 (0,9505)	-7,926724 (0,0000)	I(1)

Sumber: hasil olah data EViews, 2026.

Uji kointegrasi bounds test menghasilkan nilai F-statistic sebesar 7,041400, lebih besar dari batas atas I(1) pada taraf signifikansi 1, 5, maupun 10 persen (Tabel 4), sehingga hipotesis nol tidak adanya hubungan jangka panjang ditolak. Dengan demikian terdapat hubungan kointegrasi antara urbanisasi, kepadatan penduduk, konsumsi bahan bakar, dan emisi karbon di Indonesia.

Tabel 4 Hasil Uji Kointegrasi (Bounds Test)

Statistik Uji	Signifikansi	Batas I(0)	Batas I(1)
F-statistic = 7,041400	10%	2,676	3,586
	5%	3,272	4,306
	1%	4,614	5,966

Sumber: hasil olah data EViews, 2026.

Model ARDL(2,2,4,4) yang digunakan telah memenuhi asumsi klasik: uji normalitas Jarque-Bera menghasilkan probabilitas 0,8649 (residual berdistribusi normal), uji heteroskedastisitas Breusch-Pagan-Godfrey menghasilkan probabilitas Chi-Square 0,3826 (tidak terdapat heteroskedastisitas), dan uji autokorelasi Breusch-Godfrey LM menghasilkan probabilitas F sebesar 0,2940 (tidak terdapat autokorelasi serius). Uji stabilitas CUSUM dan CUSUM of Squares juga menunjukkan bahwa garis statistik uji berada di dalam batas kritis signifikansi 5 persen sepanjang periode pengamatan, sehingga model dinyatakan stabil dan layak digunakan untuk interpretasi lebih lanjut.

Estimasi Jangka Pendek dan Jangka Panjang

Estimasi jangka pendek melalui Conditional Error Correction Regression menghasilkan R-squared sebesar 0,914392 dan F-statistic sebesar 12,62325 (Prob. 0,000033), yang menunjukkan bahwa model signifikan pada taraf 1 persen dan mampu menjelaskan 91,44 persen variasi emisi karbon jangka pendek. Koefisien Error Correction Term (CointEq(-1)) sebesar -1,724183 (Prob. 0,0000) signifikan pada taraf 1 persen, menunjukkan adanya mekanisme koreksi kesalahan yang valid menuju keseimbangan jangka panjang. Variabel-variabel yang signifikan dalam jangka pendek disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Variabel Signifikan pada Estimasi Jangka Pendek

Variabel	Koefisien	Probabilitas
D(URB)	-0,870687	0,0026
D(URB(-1))	1,196686	0,0002
D(KEPD(-1),2)	-0,051307	0,0977*

Variabel	Koefisien	Probabilitas
D(KONS,2)	0,00000208	0,0027
D(KONS(-1),2)	0,00000238	0,0069
D(KONS(-2),2)	0,00000240	0,0058
D(KONS(-3),2)	0,00000218	0,0027
CointEq(-1)	-1,724183	0,0000

Sumber: hasil olah data EViews, 2026. *signifikan pada taraf 10%.

Berbeda dengan hasil jangka pendek, estimasi jangka panjang melalui Levels Equation (Tabel 6) menunjukkan bahwa tidak ada satu pun variabel independen yang berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon pada taraf 5 maupun 10 persen, meskipun ketiga variabel menunjukkan arah koefisien positif yang sesuai dengan ekspektasi teori.

Tabel 6 Hasil Estimasi Koefisien Jangka Panjang

Variabel	Koefisien	Std. Error	t-Statistic	Prob.
URB (X1)	0,023534	0,015467	1,521511	0,1625
KEPD (X2)	0,047018	0,108428	0,433636	0,6748
KONS (X3)	0,00000065	0,00000411	0,157334	0,8785
C	-1,418710	1,179933	-1,202365	0,2599

Sumber: hasil olah data EViews, 2026.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Emisi Karbon (H₁)

Berdasarkan hasil estimasi jangka panjang, urbanisasi (H₁) tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon (koefisien 0,023534; Prob. 0,1625), meskipun arah koefisiennya tetap positif dan sesuai dengan ekspektasi teori awal. Sebaliknya, dalam jangka pendek urbanisasi justru terbukti berpengaruh signifikan, namun dengan arah yang berlawanan antarlag: pada periode kontemporer koefisiennya bertanda negatif (-0,870687; Prob. 0,0026), sedangkan pada lag pertama berbalik menjadi positif (1,196686; Prob. 0,0002). Pola berlawanan arah ini menunjukkan bahwa respons emisi terhadap urbanisasi tidak bersifat instan, melainkan berkembang secara bertahap seiring waktu. Pada tahap awal, peningkatan urbanisasi kemungkinan besar diiringi oleh perbaikan efisiensi energi perkotaan, konsolidasi sistem transportasi publik, serta realokasi aktivitas ekonomi yang lebih tertata, sehingga tekanan emisi justru menurun dalam periode yang sama. Namun, begitu proses urbanisasi berjalan lebih lama, ekspansi wilayah perkotaan mulai mendorong kebutuhan energi, pembangunan infrastruktur, dan mobilitas penduduk secara kumulatif, sehingga dampaknya terhadap emisi baru terlihat nyata satu tahun setelahnya.

Temuan ini sejalan dengan pandangan Zhang dan Lin (2012) serta Rafiq, Salim, dan Nielsen (2016), yang menekankan bahwa urbanisasi meningkatkan kebutuhan energi di wilayah perkotaan sehingga secara tidak langsung mendorong emisi karbon. Hasil ini juga selaras dengan Agung, Prima, dkk. (2017), yang menunjukkan bahwa urbanisasi lebih banyak berpengaruh melalui peningkatan konsumsi energi dan bahan bakar dibandingkan

berdampak langsung terhadap emisi CO₂, sehingga sifat pengaruhnya cenderung tidak langsung dan bertahap. Namun, temuan ini berbeda dengan Alghamdi et al. (2024), yang menemukan pengaruh langsung dan signifikan antara urbanisasi dan emisi karbon di beberapa negara berkembang. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan cakupan wilayah penelitian, periode observasi, serta metode estimasi yang digunakan. Dengan demikian, H₁ diterima secara parsial, yaitu hanya terbukti dalam jangka pendek, khususnya pada lag pertama, sementara pengaruhnya dalam jangka panjang belum terbukti secara statistik.

Pengaruh Kepadatan Penduduk terhadap Emisi Karbon (H₂)

Hasil estimasi menunjukkan bahwa kepadatan penduduk (H₂) tidak terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang (koefisien jangka panjang 0,047018; Prob. 0,6748). Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan konsentrasi penduduk di suatu wilayah tidak serta-merta meningkatkan emisi karbon apabila tidak diiringi oleh kenaikan konsumsi energi per kapita. Kondisi ini masuk akal mengingat wilayah berkepadatan tinggi di Indonesia, seperti kota-kota besar, umumnya justru memiliki akses transportasi publik dan infrastruktur energi yang relatif lebih baik dibandingkan wilayah dengan kepadatan penduduk rendah, sehingga kenaikan jumlah penduduk per satuan luas tidak selalu diikuti oleh kenaikan emisi secara proporsional. Selain itu, karena kepadatan penduduk dan urbanisasi memiliki keterkaitan konseptual yang erat, sebagian pengaruh kepadatan penduduk terhadap emisi kemungkinan telah "terserap" oleh variabel urbanisasi dalam model, sehingga pengaruhnya menjadi tidak signifikan secara statistik ketika kedua variabel dimasukkan bersamaan.

Hasil ini berbeda dengan kerangka teori IPAT dari Ehrlich dan Holdren (1971) serta temuan Ud Din et al. (2022) dan Pangestu dan Ayuningsasi (2026), yang menyatakan bahwa kepadatan penduduk secara teoretis meningkatkan tekanan lingkungan melalui peningkatan kebutuhan energi dan sumber daya. Perbedaan hasil ini dapat dijelaskan oleh perbedaan spesifikasi model; penelitian Pangestu dan Ayuningsasi (2026), misalnya, memasukkan konsumsi energi baru terbarukan sebagai variabel mediasi, sementara penelitian ini menempatkan kepadatan penduduk secara langsung bersama urbanisasi dan konsumsi bahan bakar, sehingga berpotensi terjadi tumpang tindih (overlap) konseptual antarvariabel. Dengan demikian, H₂ ditolak.

Pengaruh Konsumsi Bahan Bakar terhadap Emisi Karbon (H₃)

Konsumsi bahan bakar (H₃) tidak terbukti signifikan dalam jangka panjang (Prob. 0,8785), tetapi justru menjadi variabel yang paling konsisten pengaruhnya dalam jangka pendek: seluruh koefisien D(KONS) pada berbagai lag yang diuji berpengaruh positif dan signifikan (Prob. < 0,05). Konsistensi ini menunjukkan bahwa hubungan antara konsumsi bahan bakar dan emisi karbon bersifat langsung dan cepat, berbeda dengan pola urbanisasi maupun kepadatan penduduk yang membutuhkan waktu penyesuaian lebih panjang untuk terlihat pengaruhnya. Hal ini sejalan dengan sifat alamiah proses pembakaran bahan bakar fosil, di mana setiap peningkatan volume konsumsi bahan bakar akan secara langsung menghasilkan gas karbon dioksida melalui reaksi pembakaran, tanpa memerlukan mekanisme penyesuaian struktural sebagaimana yang terjadi pada urbanisasi maupun kepadatan penduduk.

Temuan ini konsisten dengan laporan United Nations Environment Programme (2022), yang menegaskan bahwa sektor transportasi merupakan salah satu penyumbang terbesar emisi gas rumah kaca global, khususnya karbon dioksida dari pembakaran bahan bakar fosil oleh kendaraan bermotor. Hasil ini juga sejalan dengan temuan Kurniarahma dan Prasetyanto (2020), yang menempatkan konsumsi bahan bakar minyak dan dominasi kendaraan berbahan

bakar fosil sebagai faktor utama peningkatan emisi CO₂ di Indonesia. Dengan demikian, H₃ diterima untuk jangka pendek, sementara pengaruhnya dalam jangka panjang belum terbukti secara statistik.

Pengaruh Simultan Ketiga Variabel terhadap Emisi Karbon (H₄)

Secara simultan (H₄), uji F pada model jangka pendek menghasilkan F-statistic sebesar 12,62325 dengan probabilitas 0,000033, jauh di bawah taraf signifikansi 5 persen. Hasil ini menunjukkan bahwa urbanisasi, kepadatan penduduk, dan konsumsi bahan bakar secara bersama-sama terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon dalam jangka pendek, dengan kemampuan menjelaskan 91,44 persen variasi emisi karbon selama periode penelitian, sedangkan sisanya sebesar 8,56 persen dijelaskan oleh faktor lain di luar model, seperti kebijakan energi, struktur industri, bauran energi, maupun faktor iklim. Temuan ini diperkuat oleh koefisien Error Correction Term (CointEq(-1)) sebesar -1,724183 dengan probabilitas 0,0000, yang menegaskan adanya mekanisme koreksi kesalahan yang valid, yaitu ketika terjadi penyimpangan emisi karbon dari keseimbangan jangka panjangnya akibat guncangan pada ketiga variabel, penyimpangan tersebut akan terkoreksi kembali menuju keseimbangan pada periode berikutnya.

Hasil ini sejalan dengan kerangka konseptual bahwa emisi karbon merupakan hasil interaksi antara dimensi populasi, aktivitas ekonomi perkotaan, dan intensitas penggunaan energi, sebagaimana ditekankan dalam teori IPAT (Ehrlich & Holdren, 1971) dan berbagai kajian ekonomi lingkungan (Field & Field, 2017). Temuan ini juga didukung oleh hubungan kointegrasi jangka panjang yang terbukti melalui bounds test serta model ARDL(2,2,4,4) yang stabil dan lolos seluruh uji asumsi klasik, sehingga hasil estimasi dapat dipercaya sebagai dasar interpretasi. Dengan demikian, H₄ diterima.

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa urbanisasi berpengaruh terhadap emisi karbon di Indonesia hanya dalam jangka pendek, dengan arah yang berbeda antara periode kontemporer dan lag pertama, sedangkan pengaruhnya dalam jangka panjang belum terbukti signifikan. Kepadatan penduduk tidak terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon, baik jangka pendek maupun jangka panjang, kemungkinan karena wilayah padat penduduk di Indonesia relatif memiliki infrastruktur energi dan transportasi yang lebih baik serta keterkaitannya yang erat dengan urbanisasi. Konsumsi bahan bakar terbukti menjadi determinan yang paling konsisten dan signifikan terhadap emisi karbon dalam jangka pendek pada seluruh lag yang diuji, meski belum signifikan dalam jangka panjang. Secara simultan, ketiga variabel berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon dalam jangka pendek dan mampu menjelaskan 91,44 persen variasinya, didukung oleh hubungan kointegrasi jangka panjang yang terbukti melalui bounds test serta model ARDL (2,2,4,4) yang stabil dan lolos seluruh uji asumsi klasik.

Berdasarkan temuan tersebut, pemerintah, khususnya Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral serta Kementerian Perhubungan, perlu mempercepat transisi energi di sektor transportasi melalui perluasan kendaraan berbasis energi terbarukan dan peningkatan standar efisiensi bahan bakar. Pemerintah daerah perlu mendorong perencanaan tata ruang kota yang berkelanjutan dan memperkuat transportasi publik agar urbanisasi tidak diikuti tekanan lingkungan yang berlebihan, sementara masyarakat diharapkan berperan melalui penghematan bahan bakar dan pemanfaatan transportasi publik. Penelitian selanjutnya disarankan menambahkan variabel lain seperti bauran energi atau pertumbuhan ekonomi,

memperpanjang periode pengamatan, serta mempertimbangkan pendekatan Nonlinear ARDL untuk mengidentifikasi kemungkinan hubungan asimetris antarvariabel.

DAFTAR RUJUKAN

- Agung, P., dkk. (2017). Pengaruh urbanisasi terhadap konsumsi energi dan emisi CO₂: Analisis provinsi di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 17(2).
- Alamsyah, & Hakim. (2023). Mobilitas penduduk dan kualitas udara saat pandemi COVID-19: Studi kasus DKI Jakarta. *Jurnal Ilmiah UNNES*, 1(1), 1–12. <https://journal.unnes.ac.id>
- Alghamdi, A., et al. (2024). Urbanization, transportation infrastructure, and environmental degradation. *Journal of Environmental Management*, 350, Article 118000. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.118000>
- Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik Indonesia 2023. <https://www.bps.go.id>
- Field, B. C., & Field, M. K. (2017). *Environmental economics: An introduction*. McGraw-Hill.
- Glaeser, E. L., & Kahn, M. E. (2010). The greenness of cities: Carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of Urban Economics*, 67(3), 404–418. <https://doi.org/10.1016/j.jue.2009.11.006>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377.
- International Energy Agency. (2021). *Global energy review*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>
- IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1>
- Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2024). *Statistik transportasi darat*. <https://dephub.go.id>
- Kurniarahma, & Prasetyanto. (2020). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi emisi CO₂ di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik*, 11(2).
- Liddle, B. (2014). Impact of population, age structure, and urbanization on carbon emissions. *Energy Economics*, 46, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2014.06.013>
- Noviani, R., Saputra, A. E., & Rochmatullah, M. R. (2025). The effects of urbanization on Indonesian community and environment. *Journal of Indonesian Social Studies*, 3(1).
- Pangestu, & Ayuningsasi. (2026). Analisis pengaruh kepadatan penduduk dan laju pertumbuhan ekonomi terhadap emisi CO₂ dengan konsumsi energi baru terbarukan sebagai variabel intervening di Indonesia. *Jurnal Ekonomi dan Lingkungan*, 8(1).
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289–326.
- Rafiq, S., Salim, R., & Nielsen, I. (2016). Urbanization, openness, emissions, and energy intensity. *Energy Economics*, 54, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.11.018>
- Ud Din, M., et al. (2022). Population density and environmental pressure. *ScienceDirect*. <https://www.sciencedirect.com>
- United Nations Environment Programme. (2022). *Global environment outlook*. <https://www.unep.org>

World Bank. (2020). World development indicators. <https://data.worldbank.org>

World Bank. (2023). Environmental and economic growth report. <https://www.worldbank.org>

Zhang, C., & Lin, Y. (2012). Panel estimation for urbanization, energy consumption, and CO₂ emissions. *Energy Policy*, 49, 488–498. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.06.048>