

Faktor yang Berpengaruh terhadap Emisi Karbon dalam Kerangka Pembangunan Berkelanjutan: Analisis Empiris di Indonesia

Astia Saputri¹, Deky Aji Suseno²

Fakultas Ekonomika dan Bisnis, Universitas Negeri Semarang
astiasaputri02@students.unnes.ac.id, dekyajisuseno@gmail.com

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO₂) emissions are one of the main causes of climate change in the world. This study aims to analyze the impact of urbanization on carbon emissions within the framework of sustainable development, taking into account mediating variables such as gross domestic product (GDP) per capita, fossil energy consumption, renewable energy consumption, and forest cover area. The method used is a quantitative approach employing Structural Equation Modeling–Partial Least Squares (SEM-PLS) using WarpPLS 8.0. Data sources include Our World in Data and the World Bank, covering the period from 1990 to 2022. The results show that urbanization has a significant positive impact on GDP per capita and fossil fuel consumption with coefficients of 0.99 and 0.98. Urbanization also has a significant negative impact on renewable energy consumption and forest cover area with coefficients of -0.99 and -0.99. GDP per capita and fossil fuel consumption have a significant positive impact on carbon emissions, with coefficients of 0.33 and 0.47. Renewable energy consumption and forest cover area each show a significant negative impact on carbon emissions, with coefficients of -0.38 and -0.41. However, the direct relationship between urbanization and carbon emissions shows a non-significant positive effect with a coefficient of 0.24. These findings conclude that urbanization in Indonesia contributes to an increase in carbon emissions indirectly through mediating variables, while its direct relationship with emissions is not significant.

Keywords: Carbon Emissions; Urbanization; GDP per Capita; Fossil Energy Consumption; Renewable Energy Consumption; Forest Cover Area

ABSTRAK

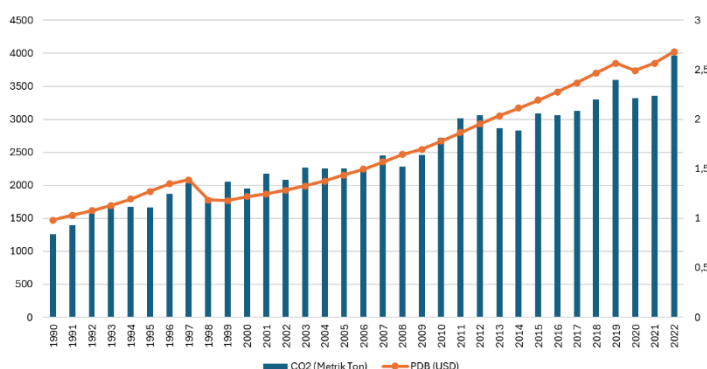
Emisi karbon dioksida (CO₂) menjadi salah satu penyebab utama perubahan iklim di dunia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh urbanisasi terhadap emisi karbon dalam kerangka pembangunan berkelanjutan, dengan mempertimbangkan variabel mediasi dari Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita, konsumsi energi fosil, konsumsi energi terbarukan, dan luas tutupan hutan. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan *Structural Equation Modeling–Partial Least Square* (SEM-PLS) menggunakan WarpPLS 8.0. Data bersumber dari Our World in Data dan World Bank, pada periode 1990–2022. Hasil menunjukkan bahwa urbanisasi memiliki dampak positif signifikan terhadap PDB per kapita dan konsumsi energi fosil dengan koefisien 0,99 dan 0,98. Urbanisasi juga berpengaruh negatif signifikan terhadap konsumsi energi terbarukan dan luas tutupan hutan dengan koefisien -0,99 dan -0,99. PDB per kapita dan konsumsi energi fosil memiliki dampak positif signifikan terhadap emisi karbon dengan koefisien 0,33 dan 0,47. Konsumsi energi terbarukan dan luas tutupan hutan masing-masing menunjukkan pengaruh negatif signifikan terhadap emisi karbon dengan koefisien -0,38 dan -0,41. Namun, hubungan langsung antara urbanisasi terhadap emisi karbon menunjukkan pengaruh positif yang tidak

signifikan dengan koefisien 0,24. Temuan ini menyimpulkan bahwa urbanisasi di Indonesia berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon secara tidak langsung melalui variabel mediasi, sedangkan hubungan langsungnya terhadap emisi tidak signifikan.

Kata kunci: Emisi Karbon; Urbanisasi; PDB per Kapita; Konsumsi Energi Fosil; Konsumsi Energi Terbarukan; Luas Tutupan Hutan

PENDAHULUAN

Perubahan iklim menjadi salah satu tantangan global yang paling serius pada abad ke-21, mengancam keberlanjutan ekologis dan stabilitas sosial ekonomi di berbagai belahan dunia. Salah satu faktor utama penyebab terjadinya perubahan iklim adalah meningkatnya emisi karbon dioksida (CO₂), yang sumber utamanya berasal dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil, konversi lahan, dan deforestasi. *Intergovernmental Panel on Climate Change* menyatakan bahwa emisi karbon telah mencapai tingkat tertinggi sepanjang sejarah manusia modern, mempercepat pemanasan global dan meningkatkan frekuensi bencana iklim (IPCC, 2021). Indonesia sebagai negara berkembang memiliki posisi yang strategis namun juga rentan dalam isu perubahan iklim. Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa PDB per kapita dan emisi CO₂ per kapita Indonesia menunjukkan tren yang meningkat. Pola ini sesuai dengan fase awal *Environmental Kuznets Curve* (EKC), yaitu *scale effect* di mana peningkatan aktivitas ekonomi mendorong konsumsi energi fosil dan industrialisasi sehingga menambah emisi karbon.



Gambar 1. PDB per Kapita terhadap Emisi Karbon per Kapita Periode 1990-2022

Sumber: Our World in Data dan World Bank, 2023

Namun, terdapat *gap* pada tahun-tahun tertentu seperti, 1994–1995 dan 2008 dimana PDB per kapita terus meningkat tetapi emisi karbon menurun karena terjadi perbaikan teknologi industri dan krisis keuangan global. Pada 2013–2014 dan 2017–2018, peningkatan PDB tidak diikuti dengan kenaikan emisi karbon yang signifikan, hal itu terjadi karena Indonesia mulai mengalami perubahan struktur ekonomi dan kebijakan energi bersih. Sebaliknya, pada 1999 emisi karbon meningkat meskipun PDB per kapita turun, akibat deforestasi, kebakaran hutan, dan

ketergantungan pada energi fosil. Dalam jangka pendek, ketidaksesuaian ini dipengaruhi faktor eksternal seperti krisis dan harga energi global. Namun, dalam jangka panjang, tren menunjukkan ketergantungan pada energi fosil masih tinggi sehingga titik balik EKC belum tercapai.

Urbanisasi menjadi variabel penting dalam konteks pembangunan berkelanjutan (Sun & Huang, 2020). Peningkatan populasi di daerah perkotaan mendorong peningkatan permintaan energi, konsumsi transportasi berbahan bakar fosil, dan perubahan penggunaan lahan yang sering kali mengorbankan tutupan hutan. Dengan demikian, urbanisasi tidak hanya berkontribusi secara langsung terhadap emisi karbon, tetapi juga memiliki pengaruh tidak langsung melalui peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB), konsumsi energi, dan degradasi lingkungan. Konsumsi energi fosil (KEF) menjadi penyumbang terbesar emisi karbon di Indonesia, dengan 88% kebutuhan energi masih bergantung pada batu bara, minyak bumi, dan gas alam (IEA, 2022). Di mana peningkatannya berkorelasi positif dengan lonjakan emisi di negara berkembang (Aji et al., 2024). Sebaliknya, konsumsi energi terbarukan, seperti tenaga surya dan air, berpotensi menekan emisi meski kontribusinya masih kecil (IEA, 2023). Luas tutupan hutan (LTH) berperan sebagai penyerap karbon alami namun deforestasi akibat ekspansi perkotaan dan pertanian terus mengurangi kapasitas penyerapan karbon (Kurniawati, 2021).

Penelitian ini didasari oleh beberapa teori utama yang saling melengkapi dalam memahami kompleksitas hubungan antara urbanisasi dan emisi karbon. Teori pembangunan berkelanjutan menekankan keseimbangan pertumbuhan ekonomi, pelestarian lingkungan, dan keadilan sosial agar kebutuhan saat ini tidak mengorbankan generasi mendatang, di mana urbanisasi dapat mendorong ekonomi sekaligus memberi tekanan pada lingkungan (WCED, 1987; Pertiwi Nurlita, 2017). Teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menjelaskan bahwa pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, emisi karbon meningkat, lalu menurun setelah titik balik berkat teknologi bersih dan kesadaran lingkungan (Grossman & Krueger, 1991; Yanuarti & Rachmawati, 2024). Penelitian A'yun et al. (2023) menunjukkan bahwa Indonesia masih berada pada tahap awal EKC, di mana pertumbuhan ekonomi mendorong peningkatan emisi karena dominasi energi fosil. Teori modernisasi ekologi menjelaskan bahwa awal urbanisasi memicu peningkatan emisi akibat konsumsi energi dan konversi lahan tetapi seiring perkembangan terjadi, kota dapat bertransformasi menjadi pusat inovasi teknologi bersih dan efisiensi energi, sehingga menurunkan emisi karbon (Mol & Spaargaren, 2000; Shadick et al., 2021; Frantzeskaki et al., 2018). Sementara itu, teori konsumsi energi menyatakan bahwa konsumsi energi fosil menjadi kontributor utama emisi, terutama di negara berkembang dengan urbanisasi yang tinggi (Kunwal et al., 2023; Abbasi et al., 2022).

Sebaliknya, teori energi terbarukan menekankan bahwa transisi ke sumber energi bersih dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon dan mendukung pembangunan kota berkelanjutan (Bekun et al., 2019). Penelitian Bekun et al. (2021)

menunjukkan bahwa peningkatan pangsa energi terbarukan menurunkan emisi di negara-negara E7, termasuk Indonesia. Terakhir, *forest sink theory* menegaskan pentingnya hutan sebagai penyerap karbon alami. Wahyuni & Suranto (2021) menyebutkan bahwa deforestasi mengurangi kapasitas penyimpanan karbon secara signifikan. Penelitian Basuki et al. (2022) menemukan deforestasi menyebabkan penurunan kemampuan hutan dalam menyerap karbon selama puluhan hingga ratusan tahun. Restorasi dapat membantu, namun tidak bisa sepenuhnya menggantikan fungsi ekologis dan stok karbon hutan alam. Oleh karena itu, perlindungan dan restorasi hutan menjadi krusial dalam upaya mitigasi perubahan iklim.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh urbanisasi terhadap emisi karbon di Indonesia, dengan mempertimbangkan peran mediasi dari PDB per kapita, konsumsi energi fosil, konsumsi energi terbarukan, dan luas tutupan hutan. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya menelaah variabel-variabel ini secara parsial, studi ini mengintegrasikannya ke dalam satu model struktural (*Structural Equation Modeling*) untuk menguji hubungan langsung maupun tidak langsung secara simultan, termasuk jalur mediasi, sehingga menghasilkan gambaran keterkaitan yang lebih komprehensif dibandingkan regresi konvensional. Urgensi penelitian ini terletak pada perlunya memahami secara menyeluruh dampak urbanisasi terhadap lingkungan, khususnya emisi karbon sebagai indikator utama perubahan iklim global yang relevan dengan *Paris Agreement* dan target *net-zero emission*. Kontribusi utamanya adalah penyajian model empiris berbasis SEM-PLS yang menggabungkan aspek ekonomi, energi, dan lingkungan untuk menjelaskan faktor-faktor penentu emisi karbon di Indonesia, sekaligus memperluas literatur pembangunan berkelanjutan dan mendukung Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) terutama Tujuan 7, Tujuan 11, dan Tujuan 13.

METODE PENELITIAN

Metode, Waktu, dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang berfokus pada pengukuran dan analisis data numerik untuk menguji hubungan kausal antar variabel (Sugiyono, 2017). Waktu penelitian menggunakan data *time series* dari tahun 1990 hingga 2022, rentang waktu ini dipilih untuk memberikan gambaran jangka panjang terhadap dinamika emisi karbon dan faktor-faktor yang mempengaruhinya dalam konteks pembangunan berkelanjutan. Lokasi penelitian dilakukan di negara Indonesia karena didasari oleh tingginya laju urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi yang diiringi tantangan besar dalam pengelolaan energi dan lingkungan. Sumber data dalam penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari Our World in Data, World Bank, dan beberapa literatur lain seperti jurnal ilmiah dan buku.

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan adalah *Structural Equation Modeling* (SEM) untuk menganalisis hubungan kausal kompleks antar variabel laten secara simultan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Kelebihan SEM dibandingkan dengan regresi linier klasik terletak pada kemampuannya dalam mengukur hubungan simultan antar konstruk serta memperhitungkan *error measurement*. Dalam penelitian ini, SEM dilakukan dengan pendekatan *Partial Least Squares* (PLS) melalui perangkat lunak WarpPLS versi 8.0. WarpPLS dipilih karena mampu mengakomodasi data yang tidak normal, ukuran sampel kecil menengah, serta mendeteksi hubungan non-linear antar konstruk. Estimasi parameter dalam WarpPLS menggunakan algoritma *Partial Least Squares* dengan metode regresi bertahap yang mengoptimalkan varian konstruk laten yang diprediksi.

Berdasarkan struktur persamaan matematis dari model regresi SEM sebagai berikut:

$$PDB = \beta_1 URB + \varepsilon_1$$

$$KEF = \beta_2 URB + \varepsilon_2$$

$$KET = \beta_3 URB + \varepsilon_3$$

$$LTH = \beta_4 URB + \varepsilon_4$$

$$CO_2 = \beta_5 PDB + \beta_6 KEF + \beta_7 KET + \beta_8 LTH + \beta_9 URB + \varepsilon_5$$

Definisi Operasional Variabel

Penelitian ini terdiri dari satu variabel dependen yaitu emisi karbon per kapita, satu variabel independen yaitu urbanisasi, serta empat variabel mediasi yaitu PDB per kapita, konsumsi energi fosil, konsumsi energi terbarukan, dan luas tutupan hutan. Variabel penelitian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

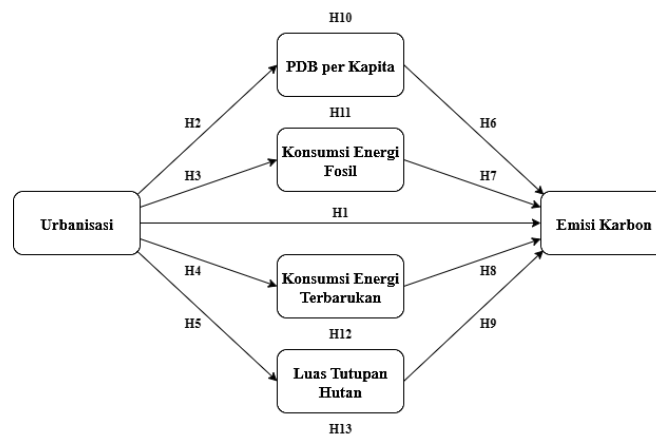
Variabel	Definisi Operasional	Satuan	Sumber
Emisi Karbon	Jumlah total emisi karbon dioksida (CO ₂) tahunan dibagi jumlah penduduk Indonesia pada tahun bersangkutan.	Metrik ton per kapita	Our World in Data
Urbanisasi	Persentase penduduk yang tinggal di wilayah perkotaan terhadap total populasi nasional pada tahun bersangkutan.	Persen	World Bank
Produk Domestik Bruto per Kapita	PDB riil per kapita dalam dollar AS konstan (USD <i>constant</i>) yang telah disesuaikan dengan inflasi.	USD	World Bank

Konsumsi Energi Fosil	Persentase konsumsi energi fosil terhadap total konsumsi energi domestik per tahun.	Persen	World Bank
Konsumsi Energi Terbarukan	Persentase konsumsi energi terbarukan terhadap total konsumsi energi domestik per tahun.	Persen	World Bank
Luas Tutupan Hutan	Persentase luas daratan Indonesia yang tercatat sebagai kawasan hutan pada tahun pengamatan.	Persen	World Bank

Sumber: Our World in Data dan World Bank, 2023

Hipotesis penelitian

Hipotesis adalah dugaan sementara atau jawaban sementara dari adanya masalah penelitian yang telah dibuat dalam bentuk pertanyaan (Sugiyono, 2017). Hipotesis dalam penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 2. Kerangka Berpikir

Sumber: Hasil Olah Peneliti, 2025

Berdasarkan Gambar 2 hipotesis penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

- H₁: Terdapat pengaruh positif urbanisasi terhadap emisi karbon di Indonesia
- H₂: Terdapat pengaruh positif urbanisasi terhadap PDB per kapita.
- H₃: Terdapat pengaruh positif urbanisasi terhadap konsumsi energi fosil.
- H₄: Terdapat pengaruh negatif urbanisasi terhadap konsumsi energi terbarukan.
- H₅: Terdapat pengaruh negatif urbanisasi terhadap luas tutupan hutan.
- H₆: Terdapat pengaruh positif PDB per kapita terhadap emisi karbon.
- H₇: Terdapat pengaruh positif konsumsi energi fosil terhadap emisi karbon.
- H₈: Terdapat pengaruh negatif konsumsi energi terbarukan terhadap emisi karbon.
- H₉: Terdapat pengaruh negatif luas tutupan hutan terhadap emisi karbon.
- H₁₀: Terdapat pengaruh urbanisasi terhadap emisi karbon melalui PDB per kapita.
- H₁₁: Terdapat pengaruh urbanisasi terhadap emisi karbon melalui konsumsi energi fosil.

H₁₂: Terdapat pengaruh urbanisasi terhadap emisi karbon melalui konsumsi energi terbarukan.

H₁₃: Terdapat pengaruh urbanisasi terhadap emisi karbon melalui luas tutupan hutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Dalam pendekatan SEM-PLS, sebelum melakukan pengujian hipotesis langkah awal yang harus dilakukan adalah melakukan uji *outer model*, uji *inner model*, serta uji kecocokan model.

a. Uji Outer Model

Analisa *outer model* dilakukan untuk mengetahui hubungan antar variabel laten dengan indikator-indikatornya. Ada tiga tahapan dalam uji outer model sebagai berikut.

1. Uji Validitas Konvergen

Validitas konvergen digunakan untuk mengukur konsistensi indikator dalam merefleksikan konstruk laten. Kriteria yang digunakan adalah nilai *outer loading* > 0,70 dan nilai p-value < 0,05 (Hair et al., 2021). Berdasarkan tabel 2, seluruh indikator dalam penelitian ini yaitu emisi karbon, urbanisasi, PDB per kapita, konsumsi energi fosil, konsumsi energi terbarukan, dan luas tutupan hutan memiliki nilai *outer loading* sebesar 1,000 dan p-value < 0,001. Hasil ini menunjukkan bahwa semua indikator secara signifikan merefleksikan konstruk latennya dengan sangat kuat.

Tabel 2. Uji Validitas Konvergen

Indikator	Outer Loading	P-values
Emisi Karbon	1.000	<0.001
Urbanisasi	1.000	<0.001
PDB per Kapita	1.000	<0.001
Konsumsi Energi Fosil	1.000	<0.001
Konsumsi Energi Terbarukan	1.000	<0.001
Luas Tutupan Hutan	1.000	<0.001

Sumber: Hasil Olah Peneliti, 2025

2. Uji Realibilitas (*Composite Reliability* dan Cronbach Alpha)

Uji reliabilitas bertujuan untuk mengukur sejauh mana suatu konstruk dapat diukur secara konsisten oleh indikator-indikatornya. Dalam model reflektif, reliabilitas konstruk diuji dengan dua ukuran utama, yaitu *composite reliability* dan cronbach's alpha. Konstruk dikatakan reliabel apabila memiliki nilai *composite reliability* > 0,70 dan cronbach's alpha > 0,70.

Tabel 3. Uji Reliabilitas

Indikator	Composite Reliability	Cronbach's Alpha
Emisi Karbon	1.000	1.000
Urbanisasi	1.000	1.000
PDB per Kapita	1.000	1.000
Konsumsi Energi Fosil	1.000	1.000
Konsumsi Energi Terbarukan	1.000	1.000
Luas Tutupan Hutan	1.000	1.000

Sumber: Hasil Olah Peneliti, 2025

Berdasarkan tabel 3, seluruh konstruk dalam model ini yaitu emisi karbon, urbanisasi, PDB per kapita, konsumsi energi fosil, konsumsi energi terbarukan, dan luas tutupan hutan memiliki nilai *composite reliability* sebesar 1,000 dan cronbach's alpha 1.000. Hal ini menunjukkan bahwa setiap konstruk memiliki reliabilitas yang sangat tinggi dan dapat dipercaya untuk merepresentasikan variabelnya masing-masing.

3. Uji Validitas Diskriminan

Validitas diskriminan bertujuan untuk mengetahui sejauh mana suatu konstruk benar-benar berbeda dari konstruk lainnya. Terdapat dua pendekatan dalam menguji validitas diskriminan yaitu dengan menggunakan nilai Average Variance Extracted (AVE) dan *cross loading*. Kriteria AVE agar suatu variabel valid adalah harus > 0,50 dan *cross loading* harus memiliki nilai tertinggi dari suatu indikator pada konstruk yang ingin diukur dibandingkan dengan konstruk lain.

Tabel 4. Uji Validitas Diskriminan

Indikator	Cross Loading	AVE
Emisi Karbon	0.705	1.000
Urbanisasi	0.460	1.000
PDB per Kapita	0.491	1.000
Konsumsi Energi Fosil	0.506	1.000
Konsumsi Energi Terbarukan	0.465	1.000
Luas Tutupan Hutan	0.469	1.000

Sumber: Hasil Olah Peneliti, 2025

Berdasarkan tabel 4, seluruh konstruk dalam model ini memiliki nilai AVE sebesar 1,000, yang menunjukkan bahwa setiap konstruk mampu menjelaskan seluruh varians indikator yang menyusunnya secara sempurna. Ini menunjukkan validitas konvergen sangat tinggi dan sudah melampaui ambang batas minimum 0,50. Selain itu, nilai *cross loading* untuk masing-masing indikator juga lebih besar

terhadap konstruknya sendiri dibandingkan dengan konstruk lain, dimana emisi karbon sebesar 0,705; urbanisasi 0,460; PDB per kapita 0,491; konsumsi energi fosil 0,506; konsumsi energi terbarukan 0,465; dan luas tutupan hutan 0,469. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa setiap indikator lebih merefleksikan konstruknya sendiri dibandingkan dengan konstruk lain. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa seluruh konstruk dalam model ini telah memenuhi validitas diskriminan baik melalui pendekatan AVE maupun *cross loading*.

b. Uji *Inner Model*

Uji *inner model* atau model struktural digunakan untuk menilai hubungan antar konstruk dalam model penelitian. Analisis ini mencakup uji pengaruh langsung (*direct effect*) dan pengaruh tidak langsung (*indirect effect*) dari variabel terhadap variabel lainnya.

1. Uji signifikansi pengaruh langsung (*direct effect*)

Analisis path coefficients digunakan untuk menguji pengaruh langsung antar konstruk dalam model.

Tabel 5. Uji Direct Effect

Direct Effect	Path Coefficients	P-Value
URB → CO2	0.243	0.064
URB → PDB	0.988	<0.001
URB → KEF	0.984	<0.001
URB → KET	-0.992	<0.001
URB → LTH	-0.991	<0.001
PDB → CO2	0.331	0.017
KEF → CO2	0.466	0.001
KET → CO2	-0.384	0.006
LTH → CO2	-0.406	0.004

Sumber: Hasil Olah Peneliti, 2025

Berdasarkan tabel 5 diketahui bahwa pengaruh langsung urbanisasi terhadap emisi karbon bernilai positif sebesar 0,243, namun tidak signifikan secara statistik dengan p-value sebesar 0,064, sehingga hipotesis tersebut ditolak. Nilai R-squared emisi karbon sebesar 0,884 menandakan bahwa kombinasi variabel PDB per kapita, konsumsi energi, dan tutupan hutan mampu menjelaskan 88,4% variasi emisi karbon. Sebaliknya, urbanisasi memiliki pengaruh langsung yang signifikan terhadap seluruh variabel mediasi terhadap PDB ($\beta = 0,988$; $p < 0,001$), terhadap konsumsi energi fosil ($\beta = 0,984$; $p < 0,001$), terhadap konsumsi energi terbarukan ($\beta = -0,992$; $p < 0,001$), serta terhadap luas tutupan hutan ($\beta = -0,991$; $p < 0,001$). Hal ini menunjukkan bahwa urbanisasi secara signifikan meningkatkan PDB dan konsumsi energi fosil, namun menurunkan konsumsi energi terbarukan dan luas tutupan hutan. Sementara itu, seluruh variabel mediasi juga terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi

karbon: PDB berpengaruh positif ($\beta = 0,331$; $p = 0,017$), konsumsi energi fosil berpengaruh positif ($\beta = 0,466$; $p < 0,001$), konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif ($\beta = -0,384$; $p < 0,006$), dan luas tutupan hutan juga berpengaruh negatif terhadap emisi karbon ($\beta = -0,406$; $p < 0,004$). Keempat variabel mediasi tersebut menunjukkan nilai R-squared yang tinggi, yaitu PDB per kapita ($R^2 = 0,976$), konsumsi energi fosil ($R^2 = 0,968$), konsumsi energi terbarukan ($R^2 = 0,984$), dan luas tutupan hutan ($R^2 = 0,982$). Dengan demikian, seluruh hipotesis berpengaruh langsung, kecuali dari URB ke CO₂.

2. Pengujian Mediasi (*indirect effect*)

Tabel 6. Uji Indirect Effect

Indirect Effect	Path Coefficients	P-Value
URB→PDB→CO2	0.327	
URB→KEF→CO2	0.458	
URB→KET→CO2	0.381	
URB→LTH→CO2	0.403	
Total Indirect Effect	1.569	<0.001

Sumber: Hasil Olah Peneliti, 2025

Berdasarkan tabel 6, menunjukkan bahwa urbanisasi terbukti secara tidak langsung meningkatkan emisi karbon melalui empat jalur mediasi, yaitu PDB per kapita, konsumsi energi fosil, konsumsi energi terbarukan, dan luas tutupan hutan. Secara berturut-turut dengan koefisien sebesar 0,327; 0.458; 0.381; 0.403. Nilai total efek tidak langsung sebesar 1,569, dengan p-value < 0,001 yang menunjukkan signifikansi tinggi. Artinya, terdapat pengaruh mediasi yang signifikan antara urbanisasi terhadap emisi karbon melalui keempat mediator tersebut. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun pengaruh langsung urbanisasi terhadap emisi karbon tidak signifikan, namun secara tidak langsung urbanisasi mampu meningkatkan emisi karbon melalui peningkatan PDB dan konsumsi energi fosil, serta melalui penurunan konsumsi energi terbarukan dan tutupan hutan. Dengan kata lain, model ini mengkonfirmasi bahwa urbanisasi memengaruhi emisi karbon secara signifikan melalui jalur tidak langsung.

c. Uji Kecocokan Model

Uji kecocokan model atau *Goodness of Fit* bertujuan untuk mengetahui sejauh mana model yang dibangun sesuai dengan data yang digunakan dan apakah model dapat diandalkan untuk menjelaskan fenomena penelitian.

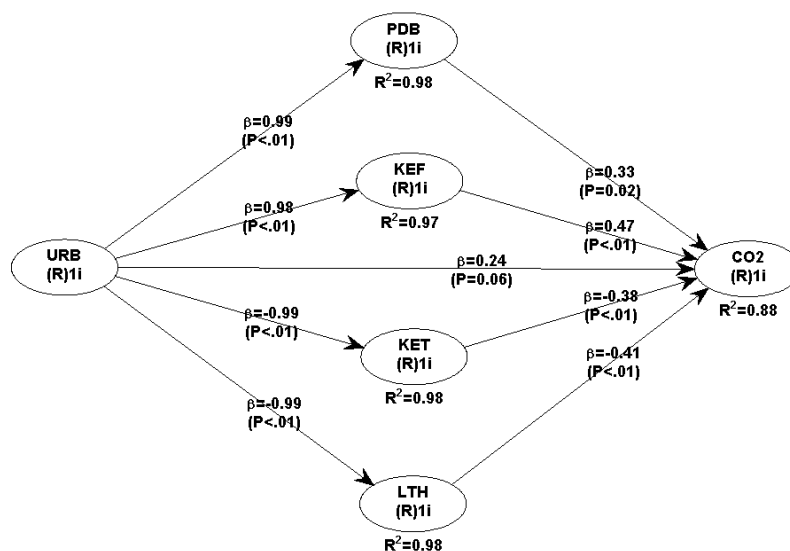
Tabel 7. Uji Kecocokan Model

Model Fit	Indeks	P-value	Keterangan
Average path coefficient (APC)	0.643	<0,001	Diterima
Average R-squared (ARS)	0.959	<0,001	Diterima

Average adjusted R-squared (AARS)	0.954	<0,001	Diterima
Tenenhaus GoF (GoF)	0.979	Kecil >0,1 Sedang 0,25 Besar 0,36	Sangat baik
Sympson's paradox ratio (SPR)	1.000	>0.7 (ideal = 1)	Diterima
R-squared contribution ratio (RSCR)	1.000	>0.9 (ideal = 1)	Diterima
Statistical suppression ratio (SSR)	1.000	>0.7	Diterima

Sumber: Hasil Olah Peneliti, 2025

Uji Hipotesis



Gambar 3. Hasil Uji Hipotesis

Sumber: Hasil Olah Peneliti, 2025

Berdasarkan hasil uji hipotesis pada gambar 3, urbanisasi memiliki dampak positif signifikan terhadap PDB per kapita dengan koefisien 0,99 dan p-value <0,01, serta terhadap konsumsi energi fosil dengan koefisien 0,98 dan p value <0,01. Urbanisasi juga berpengaruh negatif signifikan terhadap konsumsi energi terbarukan dengan koefisien -0,99 dan p-value <0,01, serta terhadap luas tutupan hutan dengan koefisien -0,99 dan p-value <0,01. PDB per kapita memiliki dampak positif signifikan terhadap emisi karbon dengan koefisien 0,33 dan p-value 0,02, sedangkan konsumsi energi fosil juga berpengaruh positif signifikan terhadap emisi karbon dengan koefisien 0,47 dan p-value <0,01. Konsumsi energi terbarukan dan luas tutupan hutan masing-masing menunjukkan pengaruh negatif signifikan terhadap emisi karbon dengan koefisien -0,38 dan -0,41, keduanya dengan p-value <0,01. Namun, hubungan langsung antara urbanisasi terhadap emisi karbon menunjukkan pengaruh positif yang tidak signifikan dengan koefisien 0,24 dan p-value 0,06. Dengan demikian,

urbanisasi secara tidak langsung meningkatkan emisi karbon melalui peningkatan PDB dan konsumsi energi fosil, serta penurunan energi terbarukan dan tutupan hutan.

Pembahasan

Bagian ini menguraikan hasil penelitian secara mendalam dengan mengaitkan temuan empiris dengan teori-teori yang relevan serta hasil penelitian sebelumnya. Pembahasan mencakup bagaimana urbanisasi memengaruhi emisi karbon secara langsung maupun melalui variabel-variabel mediasi seperti PDB per kapita, konsumsi energi fosil, konsumsi energi terbarukan, dan luas tutupan hutan.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Emisi Karbon

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi memiliki pengaruh positif namun tidak signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia, dengan koefisien sebesar 0,243 dan p-value sebesar 0,064. Artinya, peningkatan urbanisasi tidak secara langsung meningkatkan emisi karbon pada periode 1990–2022. Ketidaksignifikanan ini mengindikasikan adanya peran variabel mediasi yang lebih dominan dalam hubungan tersebut. Oleh karena itu, hipotesis H_1 dalam penelitian ini tidak diterima. Secara teoritis, hasil ini dapat dijelaskan melalui pendekatan *Ecological Modernization Theory* yang menekankan bahwa urbanisasi modern dapat mengarah pada transformasi kota menjadi lebih hijau, dengan peningkatan efisiensi energi dan regulasi lingkungan yang lebih kuat (Shadick et al., 2021). Temuan ini sejalan dengan studi Helda (2017) yang menemukan bahwa pengaruh urbanisasi terhadap emisi karbon di beberapa negara berkembang lebih terasa secara tidak langsung melalui konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi daripada melalui penambahan penduduk di wilayah urban itu sendiri.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Produk Domestik Bruto per Kapita

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita di Indonesia, dengan koefisien 0,988 dan p-value $< 0,001$. Artinya peningkatan jumlah penduduk yang tinggal di wilayah perkotaan secara langsung berkorelasi dengan peningkatan pendapatan per kapita, sesuai dengan hipotesis H_2 . Hasil ini didukung oleh teori aglomerasi ekonomi, yang menjelaskan bahwa konsentrasi penduduk dan aktivitas ekonomi di kawasan perkotaan menciptakan efisiensi skala, inovasi, serta pertumbuhan produktivitas yang lebih tinggi (Gosen & Susanti, 2019). Proses urbanisasi mempermudah konektivitas antara perusahaan dan tenaga kerja, memperkuat infrastruktur, dan memperluas akses layanan publik serta pasar, sehingga mempercepat pertumbuhan ekonomi. Studi Zahrotul Jannah et al. (2025) dan Fitri Wildani et al. (2025) menyimpulkan bahwa urbanisasi di negara berkembang seperti Indonesia meningkatkan pertumbuhan ekonomi melalui penciptaan lapangan kerja, peningkatan konsumsi domestik, dan efisiensi ekonomi.

Dengan demikian, urbanisasi yang terkelola baik berperan strategis dalam mendorong pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Konsumsi Energi Fosil

Berdasarkan hasil penelitian, urbanisasi terbukti memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap konsumsi energi fosil, dengan koefisien sebesar 0,984 dan $p\text{-value} < 0,001$. Artinya, semakin tinggi tingkat urbanisasi, semakin besar pula penggunaan energi fosil di Indonesia, sesuai hipotesis H_3 . Peningkatan populasi dan aktivitas ekonomi perkotaan mendorong permintaan energi yang lebih tinggi, terutama untuk transportasi, industri, dan rumah tangga yang masih bergantung pada batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Temuan ini selaras dengan teori konsumsi energi, yang menyatakan bahwa pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi akan meningkatkan permintaan energi, dan di negara berkembang sumber umumnya berasal dari energi fosil (Dissanayake et al., 2023). Studi oleh Aji et al. (2024) juga menunjukkan bahwa urbanisasi di negara berkembang memicu lonjakan konsumsi energi fosil akibat peningkatan infrastruktur, kendaraan bermotor, dan aktivitas industri. Hal ini mengindikasikan bahwa urbanisasi, meskipun mendorong pertumbuhan ekonomi, juga memperbesar ketergantungan pada energi fosil, menjadi tantangan bagi transisi menuju pembangunan rendah karbon di Indonesia.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Konsumsi Energi Terbarukan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi berpengaruh negatif dan signifikan terhadap konsumsi energi terbarukan, dengan nilai koefisien sebesar $-0,992$ dan $p\text{-value} < 0,001$, mendukung hipotesis H_4 . Peningkatan urbanisasi justru menurunkan proporsi energi terbarukan dalam bauran energi, mengindikasikan ketergantungan kota pada energi fosil dan rendahnya adopsi teknologi energi bersih. Temuan ini sejalan dengan teori energi terbarukan yang menegaskan bahwa penetrasi energi bersih di negara berkembang terhambat oleh keterbatasan infrastruktur, regulasi, dan tingginya biaya awal (Kammen & Sunter, 2016). Studi oleh Kristiani & Soetjipto (2019) juga menemukan bahwa urbanisasi di beberapa negara berkembang memiliki korelasi negatif terhadap konsumsi energi terbarukan karena lambatnya integrasi sistem energi bersih ke dalam jaringan perkotaan. Dengan demikian, meskipun urbanisasi dapat menjadi katalis modernisasi, tanpa kebijakan dan investasi yang tepat, transisi energi terbarukan di kawasan urban tetap sulit terwujud.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Luas Tutupan Hutan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap luas tutupan hutan di Indonesia, dengan nilai koefisien sebesar $-0,991$ dan $p\text{-value} < 0,001$, mendukung hipotesis H_5 . Peningkatan urbanisasi meningkatkan tekanan terhadap ekosistem hutan akibat konversi lahan untuk pemukiman, infrastruktur, dan aktivitas ekonomi. Temuan ini sejalan dengan *forest sink theory*, yang menekankan bahwa hutan berfungsi sebagai penyerap karbon alami

(*carbon sink*) dan degradasi hutan akibat aktivitas manusia, termasuk urbanisasi, akan mengurangi kapasitas penyerapan emisi karbon (Alviana et al., 2023). Studi dari Rahmawati A. Damiti et al. (2025) juga menunjukkan bahwa ekspansi kawasan urban secara signifikan mempercepat deforestasi, terutama di daerah pinggiran kota dan wilayah dengan pertumbuhan ekonomi cepat. Oleh karena itu, temuan ini menegaskan pentingnya perencanaan tata ruang berbasis lingkungan dan pengendalian ekspansi urban agar tidak merusak kawasan hutan lindung dan konservasi.

Pengaruh Produk Domestik Bruto per Kapita terhadap Emisi Karbon

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia, dengan koefisien sebesar 0,331 dan p-value sebesar 0,017, sesuai hipotesis H₆. Artinya, peningkatan pendapatan per kapita mendorong aktivitas ekonomi yang meningkatkan konsumsi energi fosil, transportasi, dan produksi industri. Temuan ini konsisten dengan hasil studi dari Dinilhaq & Azhar (2024) yang menemukan bahwa pertumbuhan ekonomi memiliki efek positif dan signifikan terhadap degradasi lingkungan di Indonesia. Hal ini sejalan dengan teori konsumsi energi yang menyatakan bahwa peningkatan PDB per kapita mendorong peningkatan permintaan energi dan barang konsumsi, yang pada akhirnya meningkatkan tekanan terhadap lingkungan. Selain itu, menurut Adrian (2023), negara-negara dengan pertumbuhan ekonomi yang pesat namun tanpa diimbangi teknologi ramah lingkungan cenderung mengalami peningkatan emisi karbon secara signifikan. Dalam konteks Indonesia, pertumbuhan ekonomi masih sangat bergantung pada sektor industri, transportasi, dan energi berbasis fosil, sehingga hasil ini mengindikasikan bahwa pencapaian pertumbuhan ekonomi belum selaras dengan prinsip pembangunan rendah karbon.

Pengaruh Konsumsi Energi Fosil terhadap Emisi Karbon

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi energi fosil memiliki pengaruh positif signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia dengan koefisien sebesar 0,466 dan p-value < 0,001, sehingga mendukung hipotesis H₇. Temuan ini memperkuat argumen bahwa dominasi energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam dalam bauran energi nasional masih menjadi faktor utama peningkatan emisi CO₂. Hal ini sejalan dengan temuan World Energy Outlook (2023) dan teori konsumsi energi yang menegaskan bahwa penggunaan energi fosil tanpa efisiensi atau substitusi energi bersih akan meningkatkan emisi (Dissanayake et al., 2023; Suhartoko & Ekaristi, 2023). Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, temuan ini mencerminkan ketidakseimbangan antara dimensi ekonomi dan lingkungan, sehingga diperlukan transisi menuju energi rendah karbon untuk mendukung penurunan emisi di Indonesia.

Pengaruh Konsumsi Energi Terbarukan terhadap Emisi Karbon

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konsumsi energi terbarukan memiliki pengaruh negatif signifikan terhadap emisi karbon, dengan koefisien sebesar $-0,384$ dan $p\text{-value} < 0,006$, sehingga hipotesis H_8 diterima. Temuan ini menyimpulkan bahwa pergeseran dari energi fosil ke energi terbarukan berdampak signifikan dalam menekan emisi karbon di negara berkembang. Hal ini juga diperkuat oleh laporan IEA (2023) yang menunjukkan bahwa negara-negara yang berhasil meningkatkan porsi energi terbarukan dalam bauran energinya mengalami perlambatan laju emisi karbon secara substansial. Secara teoritis, temuan ini sesuai dengan teori energi terbarukan yang menekankan bahwa penggunaan sumber energi bersih seperti tenaga surya, angin, dan air memiliki emisi karbon yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi fosil (Kammen & Sunter, 2016; Listiani Sukmawati et al., 2025). Meskipun porsi energi terbarukan di Indonesia masih kecil, peningkatan kapasitas dan investasi di sektor ini telah berkontribusi pada pengurangan emisi, mendukung target *net-zero emission* dan agenda pembangunan berkelanjutan.

Pengaruh Luas Tutupan Hutan terhadap Emisi Karbon

Hasil penelitian menunjukkan bahwa luas tutupan hutan berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi karbon, dengan koefisien $-0,406$ dan $p\text{-value} < 0,004$, sehingga hipotesis H_9 diterima. Temuan ini mendukung peran penting hutan sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) yang mampu mengurangi konsentrasi CO_2 di atmosfer, sebagaimana dijelaskan dalam *forest sink theory* (Bachmid et al., 2018). Hutan tropis, terutama di negara berkembang seperti Indonesia, memiliki kapasitas tinggi dalam menyerap emisi, namun fungsi ekologis ini terus menurun akibat deforestasi yang masif. Secara empiris, hasil ini sejalan dengan studi Zhang & Wang (2018), yang menunjukkan bahwa penurunan luas hutan secara signifikan meningkatkan emisi karbon, terutama di wilayah tropis. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, tutupan hutan merupakan komponen kunci dalam menjaga keseimbangan ekologi dan mitigasi perubahan iklim. Oleh karena itu, perlindungan hutan bukan hanya penting bagi konservasi keanekaragaman hayati, tetapi juga berperan strategis dalam menurunkan emisi karbon nasional.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Emisi Karbon melalui PDB per Kapita

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi berpengaruh tidak langsung terhadap emisi karbon melalui PDB per kapita, dengan koefisien sebesar $0,327$ dan nilai $p < 0,001$, yang berarti signifikan secara statistik, mendukung hipotesis H_{10} . Dengan kata lain, peningkatan urbanisasi mendorong pertumbuhan ekonomi, yang tercermin dalam naiknya pendapatan per kapita, namun hal ini juga meningkatkan aktivitas produksi dan konsumsi padat energi yang menghasilkan emisi lebih tinggi. Temuan ini selaras dengan teori pembangunan berkelanjutan, meski dalam praktiknya, pertumbuhan PDB di negara berkembang seperti Indonesia sering belum

ramah lingkungan. Studi oleh Buntu (2023) menunjukkan bahwa urbanisasi dan pertumbuhan ekonomi di negara berkembang, termasuk BRICS, signifikan meningkatkan emisi CO₂ melalui konsumsi energi fosil, terutama jika tidak diimbangi kebijakan efisiensi dan transisi energi bersih. Hal ini menegaskan peran mediasi PDB dalam hubungan urbanisasi terhadap emisi karbon serta pentingnya transformasi ekonomi hijau untuk memutus keterkaitan antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Emisi Karbon melalui Konsumsi Energi Fosil

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi berpengaruh positif secara tidak langsung terhadap emisi karbon melalui konsumsi energi fosil, dengan koefisien jalur sebesar 0,458 dan p-value < 0,001, mendukung hipotesis H₁₁. Secara teoritis, hubungan ini didukung oleh teori konsumsi energi, yang menjelaskan bahwa pertumbuhan aktivitas ekonomi dan kepadatan penduduk di wilayah urban meningkatkan permintaan energi, yang di negara berkembang umumnya masih didominasi sumber berbasis fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam (Dissanayake et al., 2023). Penelitian ini sejalan dengan studi oleh Aji et al. (2024) dan Buana et al. (2024) yang menemukan bahwa urbanisasi di negara berkembang secara signifikan meningkatkan konsumsi energi fosil dan berdampak pada kenaikan emisi karbon. Di Indonesia, sekitar 88% bauran energi nasional masih berasal dari energi fosil IEA (2022), sehingga pertumbuhan kota dan perluasan kawasan permukiman cenderung memperbesar jejak karbon. Hasil ini juga menegaskan pentingnya transisi energi dalam kebijakan pembangunan kota yang berkelanjutan.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Emisi Karbon melalui Konsumsi Energi Terbarukan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi memiliki pengaruh tidak langsung yang signifikan terhadap peningkatan emisi karbon melalui penurunan konsumsi energi terbarukan, dengan koefisien jalur sebesar 0,381 dan p-value < 0,001, mendukung hipotesis H₁₂. Urbanisasi yang tidak diiringi dengan pengembangan infrastruktur energi bersih justru dapat menghambat penetrasi energi terbarukan di kawasan urban. Dalam konteks teori energi terbarukan, penggunaan sumber energi seperti tenaga surya, air, dan angin dianggap mampu menekan emisi karbon karena tidak menghasilkan polusi karbon saat digunakan (Kammen & Sunter, 2016; Sultana & Esquivias, 2024). Namun, realitas di banyak negara berkembang seperti Indonesia menunjukkan bahwa urbanisasi masih belum didukung oleh teknologi dan kebijakan yang memadai untuk memfasilitasi transisi menuju energi bersih. Hasil ini sejalan dengan studi oleh Bhattacharyya (2019) yang menunjukkan bahwa keterbatasan infrastruktur dan kebijakan energi bersih menjadi hambatan utama dalam pemanfaatan energi terbarukan, terutama di daerah perkotaan dengan pertumbuhan cepat. Rendahnya proporsi energi terbarukan dalam sistem energi nasional (sekitar 12% dari total kebutuhan energi menurut IEA) juga

menunjukkan bahwa urbanisasi di Indonesia masih bertumpu pada sumber energi konvensional, sehingga urbanisasi tetap mendorong kenaikan emisi karbon.

Pengaruh Urbanisasi terhadap Emisi Karbon melalui Luas Tutupan Hutan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa urbanisasi memiliki pengaruh tidak langsung yang signifikan terhadap peningkatan emisi karbon melalui penurunan luas tutupan hutan dengan koefisien sebesar 0,403 dan p-value < 0,001, sehingga hipotesis H_{13} diterima. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan urbanisasi berdampak pada berkurangnya luas hutan, yang pada gilirannya meningkatkan emisi karbon karena berkurangnya fungsi hutan sebagai penyerap karbon (*carbon sink*). Secara teoritis, hal ini sejalan dengan *forest sink theory* yang menjelaskan bahwa hutan tropis memiliki peran penting dalam menyerap karbon dioksida dari atmosfer, sehingga penurunan tutupan hutan akibat aktivitas manusia seperti urbanisasi akan mengurangi kapasitas ekosistem dalam menstabilkan iklim global (Ameliyah et al., 2025). Temuan ini juga didukung oleh penelitian Lasaiba (2024), yang menunjukkan bahwa urbanisasi di Indonesia mendorong konversi hutan menjadi lahan perkotaan dan infrastruktur. Akibatnya, hilangnya tutupan hutan meningkatkan emisi karbon dan menghambat pencapaian Tujuan 13 SDGs tentang aksi iklim.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa urbanisasi di Indonesia secara tidak langsung berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi karbon melalui empat variabel mediasi, yaitu peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita dan konsumsi energi fosil, serta penurunan konsumsi energi terbarukan dan luas tutupan hutan. Meskipun pengaruh langsung urbanisasi terhadap emisi karbon tidak signifikan, hasil model struktural menunjukkan bahwa hubungan mediasi justru bisa menjelaskan bagaimana urbanisasi berdampak pada emisi karbon secara menyeluruh. Temuan ini menguatkan hipotesis dan tujuan penelitian bahwa urbanisasi memengaruhi emisi karbon melalui mekanisme ekonomi, energi, dan ekologi, sebagaimana dijelaskan dalam teori pembangunan berkelanjutan, teori konsumsi energi, teori energi terbarukan, dan *forest sink theory*. Dengan pendekatan SEM-PLS, penelitian ini membuktikan pentingnya melihat keterkaitan antar variabel secara simultan untuk memahami dampak urbanisasi terhadap lingkungan secara komprehensif.

Berdasarkan temuan tersebut, diperlukan strategi pembangunan kota yang lebih terintegrasi dan berorientasi pada keberlanjutan lingkungan. Pemerintah perlu memperkuat kebijakan transisi energi ke sumber terbarukan, mengendalikan ekspansi urban yang mengancam hutan, serta mendorong pertumbuhan ekonomi rendah karbon. Ke depan, penelitian ini dapat diperluas dengan menambahkan variabel kelembagaan atau tata kelola lingkungan sebagai variabel moderasi, serta menguji model ini secara komparatif di berbagai wilayah atau negara untuk melihat

dinamika hubungan yang lebih luas. Selain itu, penggunaan data spasial dan pendekatan kuantitatif spasial dapat memperkuat validitas model terhadap konteks geografis yang lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- A'yun, I. Q., Nasir, M. S., Nasir, Z. A. bin, Abdulkarim, F. M., & Hussain, M. (2023). Testing The Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis in Indonesia and India: Autoregressive Distributed Lag (ARDL) Model Approach. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi Dan Pembangunan*, 24(2), 320–330. <https://doi.org/10.23917/JEP.V24I2.23191>
- Abbasi, K. R., Shahbaz, M., Zhang, J., Irfan, M., & Alvarado, R. (2022). Analyze the environmental sustainability factors of China: The role of fossil fuel energy and renewable energy. *Renewable Energy*, 187, 390–402. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.066>
- Adrian, M. A. (2023). Analisis Pengaruh Aktivitas Ekonomi terhadap Peningkatan Emisi Karbon: Studi Empiris Empat Negara ASEAN. *Jurnal Ekonomi Indonesia*, 12, 187–202.
- Aji, S. M. B., Adliawan, I., & Kawahyuning, D. I. (2024). Dampak Pemanfaatan Energi, Perkembangan Ekonomi, dan Wilayah Hutan terhadap emisi gas rumah kaca di AS, Rusia, Cina, dan Brasil. *Jurnal Ekonomi Manajemen Dan Sosial*, 7(1), 11–25. <https://ojs.ejournalunigoro.com/index.php/JEMeS>
- Alviana, D., Anggraini, R., Hidayati, J. R., Karlina, I., Lestari, F., Apdillah, D., Syakti, A. D., & Sihite, D. (2023). Estimasi Cadangan Karbon Pada Ekosistem Mangrove Di Desa Pengudang Kecamatan Teluk Sebong Kabupaten Bintan. *Jurnal Kelautan Tropis*, 26(3), 464–472. <https://doi.org/10.14710/jkt.v26i3.18326>
- Ameliyah, F. K., Iskandar, E. K., Nurhayyizah, N., & Suryanda, A. (2025). Dampak Perubahan Iklim terhadap Ekosistem Hutan Tropis di Indonesia. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v5i1.336>
- Bachmid, F., A Sondak, C. F., Kusen, J. D., Studi Ilmu Kelautan, P., Perikanan dan Ilmu Kelautan, F., & Sam Ratulangi Manado, U. (2018). ESTIMASI PENYERAPAN KARBON HUTAN MANGROVE BAHOWO KELURAHAN TONGKAINA KECAMATAN BUNAKEN. In *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis* (Vol. 1).
- Basuki, I., Catur Adinugroho, W., Utomo, N. A., Syaugi, A., Tryanto, D. H., Krisnawati, H., Cook-Patton, S. C., & Novita, N. (2022). *Reforestation Opportunities in Indonesia: Mitigating Climate Change and Achieving Sustainable Development Goals*. <https://doi.org/10.3390/f13030447>
- Bekun, F. V., Alola, A. A., & Sarkodie, S. A. (2019). Toward a sustainable environment: Nexus between CO2 emissions, resource rent, renewable and nonrenewable

energy in 16-EU countries. *Science of The Total Environment*, 657, 1023–1029.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.12.104>

- Bekun, F. V., Gyamfi, B. A., Onifade, S. T., & Agboola, M. O. (2021). Beyond the environmental Kuznets Curve in E7 economies: Accounting for the combined impacts of institutional quality and renewables. *Journal of Cleaner Production*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127924>
- Bhattacharyya, S. C. (2019). Energy economics: Concepts, issues, markets and governance, 2nd ed. 2019. *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance, 2nd Ed. 2019*, 1–849. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7468-4/COVER>
- Buana, R. H. W. (2024). *Dampak Pertumbuhan Ekonomi, Urbanisasi Dan Konsumsi Energi Listrik Terhadap Degradasi Lingkungan: Bukti dari Negara Asean-5*.
- Buntu Laulita, N. (2023). *Pengaruh Aktivitas Penggunaan Energi terhadap Emisi CO2 (Studi Kasus: Sembilan Negara dengan Kumulatif Emisi Terbesar)*.
- Dinilhaq, W., & Azhar, Z. (2024). *Analisis Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi Terhadap Degradasi Lingkungan di Indonesia*.
<https://medrep.ppj.unp.ac.id/index.php/MedREP/login>
- Dissanayake, H., Perera, N., Abeykoon, S., Samson, D., Jayathilaka, R., Jayasinghe, M., & Yapa, S. (2023). Nexus between carbon emissions, energy consumption, and economic growth: Evidence from global economies. *PLOS ONE*, 18(6), e0287579. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0287579>
- Fitri Wildani, A., Anggi Fratiwi, D., & Amelinda, I. (2025). *DAMPAK URBANISASI TERHADAP PERTUMBUHAN EKONOMI REGIONAL & PERKOTAAN* (Vol. 19, Issue 2).
- Frantzeskaki, N., Broto, V. C., Coenen, L., & Loorbach, D. (2018). Urban Sustainability Transitions. *Urban Sustainability Transitions*, 1–20.
<https://doi.org/10.4324/9781315228389-1/URBAN-SUSTAINABILITY-TRANSITIONS-NIKI-FRANTZESKAKI-VANESA-CAST>
- Gosen, G., & Susanti, H. (2019). Aglomerasi Ekonomi dan Total Faktor Produktivitas Industri Manufaktur di Pulau Jawa. *Jurnal Kebijakan Ekonomi*, 14(2), 161–175. <https://doi.org/10.21002/jke.2019.09>
- Hair Jr, J. F., H. G. T. M., R. C. M., S. M., D. N. P., & R. S. (2021). *Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R*.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-80519-7.pdf>
- Helda Phazillah Nur, J. A. D. (2017). *PENGARUH URBANISASI, PERTUMBUHAN PDB SEKTOR INDUSTRI DAN PERTUMBUHAN PDB SEKTOR TRANSPORTASI TERHADAP POLUSI LINGKUNGAN DI INDONESIA*.

- IEA. (2022). *World Energy Outlook 2022*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- IEA. (2023). *World Energy Outlook 2023 – Analysis – IEA*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Kammen, D. M., & Sunter, D. A. (2016). City-integrated renewable energy for urban sustainability. *Science*, 352(6288), 922–928. <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.AAD9302>; WEBSITE: WEBSITE: AAAS-SITE; JOURNAL: JOURNAL: SCIENCE; WGROUP: STRING: PUBLICATION
- Kristiani, A. W., & Soetjipto, W. (2019). Urbanisasi, Konsumsi Energi, dan Emisi CO₂ : Adakah Perbedaan Korelasinya di Kawasan Barat Indonesia (KBI) dan Kawasan Timur Indonesia (KTI)? *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 7(3), 166–180. <https://doi.org/10.14710/jwl.7.3.166-180>
- Kunwal, I., Sheikh, M. R., Faridi, M. Z., & Mushtaq, M. I. (2023). Urbanization, Energy Consumption and Environmental Quality in Asian Countries. *Bulletin of Business and Economics (BBE)*, 12(4), 372–386. <https://doi.org/10.61506/01.00136>
- Kurniawati Fadlilah Umami. (2021). *Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Besaran Stok Karbon di Kota Surabaya*.
- Lasaiba, M. A. (2024). The Dynamics of Land Use Change in Metropolitan Areas: The Impact of Urbanization and Sustainable Management Strategies. *JENDELA PENGETAHUAN*, 17(2), 213–227. <https://doi.org/10.30598/jp17iss2pp213-227>
- Listiani Sukmawati, M., Febrina Hariyani, H., Pembangunan, E., & Ekonomi dan Bisnis, F. (2025). DAMPAK INVESTASI ENERGI TERBARUKAN TERHADAP EMISI KARBON DI NEGARA OECD. In *Journal of Financial Economics & Investment* (Vol. 5, Issue 1).
- Our World in Data. (2024). CO₂ emissions. *Our World in Data*, 2(2), 189–205. <https://doi.org/10.4155/CMT.11.10>
- Pertiwi Nurlita. (2017). *Sustainable Development*.
- Rahmawati A. Damiti, Parid Pakaya, Mawardi Heru Prasetyo, Dewi Wahyuni K. Baderan, & Ramli Utina. (2025). Stabilitas Ekosistem Hutan Indonesia dalam Menghadapi Deforestasi dan Kerusakan Lingkungan: Tinjauan Literatur. *Botani: Publikasi Ilmu Tanaman Dan Agribisnis*, 2(2), 176–188. <https://doi.org/10.62951/botani.v2i2.343>

- Shadick Ja'far, S. U. (2021). *Analisis Pengaruh Urbanisasi terhadap Emisi Karbon Dioksida (CO₂) di Indonesia*.
<https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/197581>
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: CV. Alfabeta.
- 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>
- Sultana, M., & Esquivias, M. A. (2024). Interactions among the primary causes of carbon dioxide emissions in selected south Asian countries: Does renewable energy mitigate carbon dioxide emissions? *Humanities and Social Sciences Letters*, 12(4), 913–927. <https://doi.org/10.18488/73.V12I4.3927>
- Sun, W., & Huang, C. (2020). How does urbanization affect carbon emission efficiency? Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122828. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122828>
- Wahyuni, H., & Suranto, S. (2021). Dampak Deforestasi Hutan Skala Besar terhadap Pemanasan Global di Indonesia. *JlIP: Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 6(1), 148–162. <https://doi.org/10.14710/jlrip.v6i1.10083>
- World Bank. (2023). *Fossil fuel energy consumption (% of total) - Indonesia* | Data. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?locations=ID>
- World Bank. (2023). *GDP per capita (constant 2015 US\$)* | Data. <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.KD>
- World Bank. (2023). *Renewable energy consumption (% of total final energy consumption) - Indonesia* | Data. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.FEC.RNEW.ZS?locations=ID>
- World Bank. (2024). *Forest area (% of land area) - Indonesia* | Data. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.ZS?locations=ID>
- World Bank. (2024). *Urban population (% of total population) - Indonesia* | Data. <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=ID>
- Yanuarti, W. A., & Rachmawati, L. (2024). Analyzing Sustainable Development in Indonesia Based on. *Environmental Kuznet Curve*. *JEJAK*, 17(1), 42–56. <https://doi.org/10.15294/jejak.v17i1.5584>
- Zahrotul Jannah, A., Febri Riyani, C., Islam Negeri Saifuddin Zuhri Purwokerto Muhammad Hanik Niyar, U., Islam Negeri Saifuddin Zuhri Purwokerto Nur Oriana Farkhatun Khoiriyah, U., Islam Negeri Saifuddin Zuhri Purwokerto

Reva Agustin, U., Islam Negeri Saifuddin Zuhri Purwokerto Yoiz Shofwa Shafrani, U., Studi Ekonomi Syariah, P., & Ekonomi dan Bisnis Islam, F. (2025). *DAMPAK URBANISASI TERHADAP PERTUMBUHAN EKONOMI KOTA DI INDONESIA*. 2(3), 34–40. <https://doi.org/10.61722/jaem.v2i3.5378>

Zhang, W., & Wang, M. Y. (2018). Spatial-temporal characteristics and determinants of land urbanization quality in China: Evidence from 285 prefecture-level cities. *Sustainable Cities and Society*, 38, 70–79. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2017.12.011>