

## PERAN MEDIASI IPM DALAM HUBUNGAN EMISI KARBON, PDB, DAN HARAPAN LAMA SEKOLAH TERHADAP HARAPAN HIDUP DI INDONESIA

Naufal Andre Setiawan<sup>1)</sup>

Universitas Negeri Semarang

[naufalandree@students.unnes.ac.id](mailto:naufalandree@students.unnes.ac.id)

Grace Natalia Marpaung<sup>2)</sup>

Universitas Negeri Semarang

[gracenatalia@mail.unnes.ac.id](mailto:gracenatalia@mail.unnes.ac.id)

**Abstrak** Penelitian ini bertujuan menganalisis peran mediasi Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dalam hubungan antara emisi karbon (CO<sub>2</sub>), Produk Domestik Bruto (PDB), dan Harapan Lama Sekolah (HLS) terhadap harapan hidup di Indonesia periode 2004–2024. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data *time series* tahunan sebanyak 21 observasi yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik dan World Bank. Metode analisis yang digunakan meliputi statistik deskriptif, uji asumsi klasik, regresi linear, *Structural Equation Modeling* (SEM), dan *bootstrap mediation* sebanyak 1.000 replikasi menggunakan Stata 17. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi karbon, PDB, dan HLS berpengaruh positif signifikan terhadap IPM. Sementara itu, emisi karbon, PDB, dan HLS berpengaruh negatif signifikan terhadap harapan hidup secara langsung, sedangkan IPM berpengaruh positif signifikan terhadap harapan hidup. Hasil *bootstrap* menunjukkan bahwa IPM memediasi secara signifikan hubungan antara CO<sub>2</sub>, PDB, dan HLS terhadap harapan hidup dengan kategori *partial mediation*. Temuan ini menunjukkan bahwa pembangunan manusia berperan sebagai mekanisme penting dalam menjelaskan hubungan faktor ekonomi, pendidikan, dan lingkungan terhadap kualitas hidup masyarakat di Indonesia.

**Kata Kunci** *Harapan Hidup, Indeks Pembangunan Manusia, Emisi Karbon, Produk Domestik Bruto, Harapan Lama Sekolah, Mediasi, SEM Bootstrap.*

### PENDAHULUAN

Pembangunan manusia menjadi salah satu indikator penting dalam mengukur keberhasilan pembangunan karena tidak hanya menekankan pertumbuhan ekonomi, tetapi juga peningkatan kualitas hidup masyarakat secara berkelanjutan. Salah satu indikator yang merepresentasikan kualitas hidup adalah harapan hidup saat lahir karena menggambarkan kondisi kesehatan, kesejahteraan, dan akses masyarakat terhadap layanan dasar. Dalam

kerangka pembangunan berkelanjutan, peningkatan kualitas hidup masyarakat tidak hanya dipengaruhi oleh faktor ekonomi, tetapi juga oleh faktor pendidikan dan lingkungan.

Hubungan antara pertumbuhan ekonomi, kualitas lingkungan, dan kesehatan masyarakat menjadi isu penting dalam agenda pembangunan global. Peningkatan aktivitas ekonomi sering diikuti oleh industrialisasi, urbanisasi, dan konsumsi energi berbasis fosil yang menyebabkan peningkatan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Di satu sisi, pertumbuhan ekonomi mampu meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan masyarakat, namun di sisi lain peningkatan emisi karbon dapat memperburuk kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat melalui peningkatan polusi udara serta risiko penyakit kronis (Sampene et al., 2024) dan (World Health Organization., 2024). Menurut (Azimi & Rahman, 2024) peningkatan emisi yang berkelanjutan dapat menurunkan kualitas hidup masyarakat dan memengaruhi harapan hidup dalam jangka panjang. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembangunan ekonomi tidak selalu menghasilkan peningkatan kualitas hidup apabila tidak disertai pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan hasil yang masih beragam mengenai hubungan antara emisi karbon, pertumbuhan ekonomi, pendidikan, dan harapan hidup. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan emisi karbon dan degradasi lingkungan berpengaruh negatif terhadap kualitas kesehatan masyarakat dan harapan hidup akibat peningkatan polusi udara serta risiko penyakit kronis (Khan et al., 2025). Di sisi lain, pertumbuhan ekonomi dan pembangunan manusia dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat apabila diiringi pembangunan berkelanjutan dan peningkatan kualitas institusi (Nathaniel, S. P., Murshed, M., & Bassim, 2021). Selain itu, (Araki, 2025) menunjukkan bahwa pendidikan berkontribusi terhadap peningkatan kesehatan dan kesejahteraan melalui peningkatan *human capital* dan *health capital*, yang pada akhirnya berpotensi meningkatkan harapan hidup Masyarakat

Meskipun demikian, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian (research gap). Pertama, secara empiris, hasil penelitian sebelumnya menunjukkan inkonsistensi mengenai hubungan antara pertumbuhan ekonomi, emisi karbon, dan harapan hidup. Sebagian penelitian menemukan pengaruh positif, sedangkan penelitian lainnya menunjukkan hubungan negatif. Kedua, secara metodologis, sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan pendekatan panel lintas negara yang lebih menekankan perbandingan antarwilayah, sehingga belum mampu menggambarkan dinamika hubungan antarvariabel secara spesifik pada suatu negara. Ketiga, secara kontekstual, penelitian mengenai pembangunan manusia di Indonesia masih relatif terbatas dalam mengintegrasikan aspek ekonomi, pendidikan, dan lingkungan secara simultan dengan menempatkan pembangunan manusia sebagai mekanisme hubungan antarvariabel.

Indonesia menjadi konteks penelitian yang penting karena memiliki karakteristik pembangunan yang berbeda dibandingkan negara berkembang lainnya. Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk terbesar keempat di dunia, tingkat urbanisasi yang terus meningkat, serta ketergantungan energi fosil yang masih relatif tinggi. Selain itu, Indonesia juga menghadapi ketimpangan pembangunan antarwilayah yang berpotensi memengaruhi kualitas pendidikan, kesehatan, dan kesejahteraan masyarakat. Berdasarkan

data (BPS, 2024) Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Indonesia mengalami peningkatan dalam dua dekade terakhir, namun pada periode yang sama emisi karbon juga menunjukkan tren meningkat akibat pertumbuhan industri dan konsumsi energi. Kondisi tersebut menunjukkan adanya dinamika pembangunan yang kompleks antara pertumbuhan ekonomi, pembangunan manusia, dan keberlanjutan lingkungan.

Periode 2004–2024 dipilih karena merepresentasikan fase transformasi pembangunan Indonesia yang ditandai dengan desentralisasi fiskal, peningkatan investasi pendidikan dan kesehatan, percepatan industrialisasi, serta berbagai dinamika ekonomi seperti krisis global dan pandemi COVID-19. Periode tersebut memungkinkan penelitian menangkap perubahan hubungan jangka panjang antara pembangunan ekonomi, lingkungan, dan kualitas hidup masyarakat.

Penelitian ini memiliki kontribusi teoritis dan metodologis. Secara teoritis, penelitian mengintegrasikan Human Capital Theory, Human Development Framework, dan Environmental Kuznets Curve (EKC) dalam menjelaskan hubungan antara emisi karbon, Produk Domestik Bruto (PDB), Harapan Lama Sekolah (HLS), pembangunan manusia, dan harapan hidup. Secara metodologis, penelitian ini menggunakan pendekatan time series Indonesia periode 2004–2024 dengan analisis SEM Path Analysis, Bootstrap Mediation, dan Robustness Analysis untuk memperoleh estimasi hubungan yang lebih komprehensif.

Kebaruan penelitian ini tidak hanya terletak pada penggunaan IPM sebagai variabel mediasi, tetapi pada upaya menjelaskan mekanisme transmisi pembangunan manusia yang menghubungkan faktor ekonomi, pendidikan, dan lingkungan terhadap harapan hidup secara simultan dalam konteks Indonesia. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris dalam menjelaskan pembangunan berkelanjutan pada negara berkembang.

## LANDASAN TEORI

### 1. Harapan Hidup Saat Lahir

Harapan hidup saat lahir merupakan indikator utama yang digunakan untuk mengukur kualitas kesehatan dan kesejahteraan masyarakat. Dalam teori pembangunan manusia, peningkatan harapan hidup tidak hanya dipengaruhi oleh layanan kesehatan, tetapi juga oleh kondisi ekonomi, pendidikan, dan lingkungan hidup. (Preston, 1975) menjelaskan bahwa peningkatan pendapatan per kapita cenderung meningkatkan harapan hidup melalui perbaikan akses kesehatan, nutrisi, dan kualitas hidup masyarakat. Selain itu, Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kualitas lingkungan dan emisi karbon berpengaruh terhadap harapan hidup masyarakat, terutama di negara berkembang. Peningkatan emisi karbon dan polusi lingkungan dapat meningkatkan risiko gangguan kesehatan serta menurunkan kualitas hidup masyarakat. Oleh karena itu, harapan hidup dipandang sebagai hasil interaksi antara pembangunan ekonomi, kualitas sumber daya manusia, dan kondisi lingkungan (Mahalik et al., 2022)(Sarkodie & Owusu, 2021).

### 2. Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Emisi karbon dioksida merupakan indikator utama degradasi lingkungan yang muncul akibat aktivitas industri dan penggunaan energi fosil. Dalam teori Environmental Kuznets Curve

(EKC), (Grossman, G. M., & Krueger, 1995) menjelaskan bahwa pada tahap awal pembangunan, pertumbuhan ekonomi cenderung meningkatkan emisi karbon sebelum akhirnya menurun ketika tingkat pendapatan dan kesadaran lingkungan meningkat. Tingginya emisi karbon dapat memperburuk kualitas lingkungan melalui peningkatan polusi udara yang berdampak terhadap kesehatan masyarakat, seperti meningkatnya risiko penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskular, dan gangguan kesehatan kronis lainnya (Mahalik et al., 2022). Dalam konteks pembangunan manusia, peningkatan emisi karbon dapat memengaruhi kualitas hidup dan harapan hidup masyarakat baik secara langsung maupun melalui perubahan kualitas pembangunan manusia sebagai mekanisme transmisi antara faktor lingkungan dan kesejahteraan Masyarakat (Sampene et al., 2024).

### 3. Produk Domestik Bruto (PDB)

Produk Domestik Bruto (PDB) merupakan indikator utama yang digunakan untuk mengukur pertumbuhan ekonomi suatu negara. Dalam teori pembangunan manusia, pertumbuhan ekonomi dipandang sebagai faktor penting karena mampu meningkatkan pendapatan masyarakat dan memperluas akses terhadap pendidikan, kesehatan, serta kesejahteraan sosial (Sen, 1999). Namun, peningkatan pertumbuhan ekonomi tidak selalu secara langsung meningkatkan kesejahteraan masyarakat apabila tidak diikuti pembangunan manusia yang berkualitas. (Hechmi, 2025) menjelaskan bahwa hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas hidup masyarakat dipengaruhi oleh kualitas pembangunan manusia. Oleh karena itu, pengaruh PDB terhadap harapan hidup diduga tidak hanya terjadi secara langsung, tetapi juga melalui peningkatan IPM.

### 4. Harapan Lama Sekolah (HLS)

Harapan Lama Sekolah (HLS) merupakan indikator pendidikan yang menunjukkan lama pendidikan formal yang diharapkan dapat ditempuh oleh seseorang. Dalam *Human Capital Theory*, pendidikan dipandang sebagai investasi sumber daya manusia yang mampu meningkatkan produktivitas, keterampilan, kualitas pengambilan keputusan, serta kapasitas individu dalam meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup (Becker, 1964) & (Araki, 2025). Pendidikan juga memiliki peran penting dalam meningkatkan kesadaran kesehatan dan perilaku hidup sehat yang berdampak pada peningkatan harapan hidup. Penelitian (Wahyudi & Leny, 2025) serta (Wardani Umi & Yoga Kundhani, 2023) menunjukkan bahwa indikator pendidikan seperti HLS berpengaruh signifikan terhadap IPM dan kesehatan masyarakat. Dengan demikian, HLS tidak hanya mencerminkan akses pendidikan, tetapi juga kapasitas manusia dalam meningkatkan kualitas hidup.

### 5. Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) merupakan indikator komposit yang mengukur kualitas pembangunan manusia melalui tiga dimensi utama, yaitu kesehatan (harapan hidup), pendidikan, dan standar hidup layak. Dalam *Human Development Framework*, (UNDP, 2023) menegaskan bahwa pembangunan manusia bertujuan memperluas kapabilitas individu untuk hidup sehat, berpendidikan, dan memiliki standar hidup yang layak. Dalam perspektif *Capability Approach*, pembangunan tidak hanya dipandang sebagai peningkatan pendapatan, tetapi juga sebagai proses perluasan kemampuan individu dalam memanfaatkan sumber daya untuk mencapai kesejahteraan dan kualitas hidup yang lebih baik (Sen, 1999) & (Robeyns, 2005). Penelitian empiris menunjukkan bahwa pembangunan manusia berperan

sebagai mekanisme yang menghubungkan faktor ekonomi dan sosial terhadap peningkatan kualitas hidup masyarakat. Peningkatan pembangunan manusia memperluas akses pendidikan, kesehatan, dan kesejahteraan yang pada akhirnya meningkatkan kualitas hidup masyarakat (Acheampong et al., 2021). Dalam penelitian ini, IPM diposisikan sebagai variabel mediasi yang menjelaskan hubungan antara emisi karbon, PDB, dan HLS terhadap harapan hidup.

### **Pengembangan Hipotesis**

#### **H1:** Emisi karbon (CO<sub>2</sub>) berpengaruh terhadap IPM

Peningkatan aktivitas ekonomi dan industrialisasi umumnya diikuti peningkatan emisi karbon yang mencerminkan pertumbuhan sektor produksi. Dalam perspektif *Environmental Kuznets Curve* (EKC), pada tahap awal pembangunan peningkatan aktivitas ekonomi masih berkorelasi dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Penelitian (Sampene et al., 2024) menunjukkan bahwa emisi karbon masih memiliki hubungan terhadap pembangunan manusia pada negara berkembang.

#### **H2:** PDB berpengaruh terhadap IPM

*Human Capital Theory* menjelaskan bahwa peningkatan pendapatan dapat meningkatkan investasi pada pendidikan, kesehatan, dan kesejahteraan masyarakat (Becker, 1964). Penelitian (Asmara et al., 2024) menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi memiliki kontribusi positif terhadap peningkatan pembangunan manusia.

#### **H3:** Harapan Lama Sekolah (HLS) berpengaruh terhadap IPM

Secara teoritis, teori *Human Capital* yang dikemukakan oleh (Becker, 1964) menjelaskan bahwa pendidikan merupakan bentuk investasi sumber daya manusia yang dapat meningkatkan kemampuan, keterampilan, produktivitas, serta kualitas individu dalam jangka panjang. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian (Syaidatussalihah et al., 2025) yang menunjukkan bahwa pendidikan memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap pembangunan manusia karena pendidikan merupakan salah satu dimensi utama pembentuk IPM. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan akses pendidikan mampu meningkatkan kualitas sumber daya manusia dan kesejahteraan masyarakat secara berkelanjutan.

#### **H4:** Emisi karbon (CO<sub>2</sub>) berpengaruh terhadap harapan hidup

Peningkatan emisi karbon dapat memperburuk kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat melalui peningkatan polusi udara. Penelitian (Mahalik et al., 2022) menemukan bahwa emisi karbon memiliki pengaruh terhadap *life expectancy*

#### **H5:** PDB berpengaruh terhadap harapan hidup

Berdasarkan *Capability Approach*, menurut (Robeyns, 2005) pertumbuhan ekonomi diperkirakan memengaruhi harapan hidup melalui peningkatan akses masyarakat terhadap layanan kesehatan, pendidikan, dan kualitas hidup. Penelitian (Ridwan et al., 2026) menunjukkan bahwa peningkatan pertumbuhan ekonomi memiliki hubungan erat dengan peningkatan *life expectancy*, terutama di negara berkembang.

**H6:** HLS berpengaruh terhadap harapan hidup

Pendidikan meningkatkan kemampuan individu dalam memperoleh informasi, layanan kesehatan, dan kualitas hidup yang lebih baik. Penelitian (Zhang et al., 2024) menunjukkan bahwa pendidikan memiliki pengaruh terhadap *life expectancy*

**H7:** IPM berpengaruh terhadap harapan hidup

Dalam *Human Development Framework*, pembangunan manusia yang baik akan meningkatkan kualitas kesehatan dan kesejahteraan masyarakat. Penelitian (UNDP, 2023) menjelaskan bahwa peningkatan pembangunan manusia berhubungan dengan peningkatan kualitas hidup.

**H8:** IPM memediasi hubungan emisi karbon terhadap harapan hidup

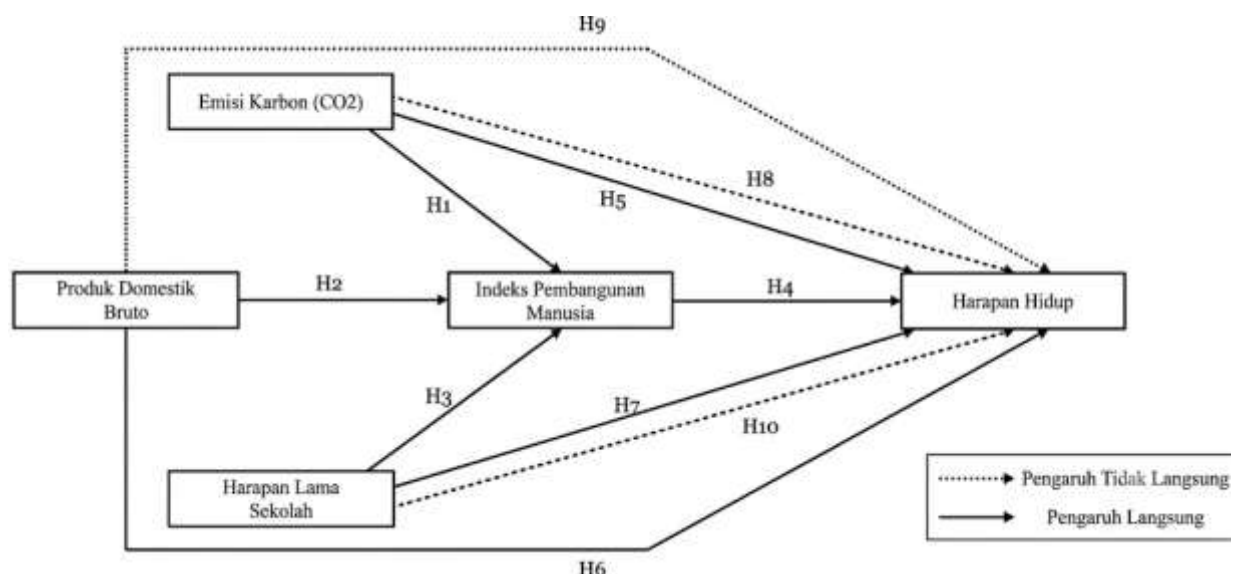
Peningkatan emisi karbon dapat memengaruhi pembangunan manusia yang selanjutnya berdampak terhadap kualitas hidup masyarakat. Penelitian (Mahalik et al., 2022) bahwa kualitas pembangunan manusia mampu memengaruhi hubungan antara degradasi lingkungan dan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, IPM diduga memediasi hubungan antara emisi karbon dan harapan hidup di Indonesia.

**H9:** IPM memediasi hubungan PDB terhadap harapan hidup

Peningkatan pendapatan nasional dapat meningkatkan pembangunan manusia melalui peningkatan pendidikan dan kesehatan yang pada akhirnya meningkatkan kualitas hidup. Penelitian (Asmara et al., 2024) menunjukkan bahwa pembangunan manusia menjadi mekanisme penting dalam hubungan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat.

**H10:** IPM memediasi hubungan HLS terhadap harapan hidup

Pendidikan dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat melalui peningkatan pembangunan manusia. Penelitian (Zhang et al., 2024) menunjukkan bahwa pembangunan manusia menjadi jalur penting dalam menjelaskan hubungan pendidikan dan *life expectancy*



Gambar 1. Conceptual Framework

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain kausal asosiatif untuk menganalisis hubungan antara emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), Produk Domestik Bruto (PDB), Harapan Lama Sekolah (HLS), Indeks Pembangunan Manusia (IPM), dan harapan hidup di Indonesia. Pendekatan kuantitatif dipilih karena mampu menguji hubungan kausal antarvariabel secara objektif menggunakan data numerik time series, sebagaimana direkomendasikan dalam penelitian ekonomi pembangunan modern (Wahyudi & Leny, 2025)

Data yang digunakan merupakan data sekunder runtut waktu (time series) periode 2004–2024 yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), World Bank, dan UNDP. Periode ini dipilih karena mencerminkan dinamika transformasi pembangunan Indonesia yang ditandai oleh pertumbuhan ekonomi, peningkatan kualitas pendidikan, serta meningkatnya tekanan lingkungan akibat industrialisasi. Studi empiris menunjukkan bahwa hubungan antara ekonomi, lingkungan, dan kesehatan dalam jangka panjang perlu dianalisis menggunakan pendekatan time series karena bersifat non-stasioner dan dinamis (Li et al., 2022).

Variabel penelitian terdiri dari CO<sub>2</sub>, PDB, dan HLS sebagai variabel independen, IPM sebagai variabel mediasi, serta harapan hidup sebagai variabel dependen. IPM digunakan sebagai variabel mediasi karena secara konseptual merepresentasikan integrasi dimensi kesehatan, pendidikan, dan standar hidup dalam Human Development Index framework (UNDP, 2023).

Analisis data dilakukan menggunakan regresi linear berganda dan analisis jalur (path analysis) dengan metode bootstrap untuk menguji efek mediasi. Metode bootstrap dipilih karena lebih robust dalam mengestimasi efek tidak langsung dibandingkan metode konvensional, terutama pada data dengan distribusi non-normal dan sampel kecil hingga menengah (Wahyudi & Leny, 2025). Selain itu, digunakan trend analysis untuk melihat dinamika perkembangan variabel sepanjang periode penelitian serta heatmap correlation analysis untuk mengidentifikasi pola hubungan antarvariabel sebelum estimasi model ekonometrik dilakukan.

Sebelum estimasi, dilakukan uji stasioneritas Augmented Dickey-Fuller (ADF) untuk memastikan data bebas dari unit root yang dapat menyebabkan regresi semu (spurious regression). Literatur menunjukkan bahwa variabel makroekonomi dan lingkungan umumnya bersifat non-stasioner pada level dan baru stabil setelah diferensiasi (Osei-Kusi et al., 2024). Selanjutnya dilakukan uji asumsi klasik untuk memastikan model memenuhi kriteria BLUE (Best Linear Unbiased Estimator), meskipun adanya multikolinearitas dianggap wajar dalam model pembangunan manusia karena hubungan struktural antarvariabel dalam HDI framework.

Model penelitian ini mengintegrasikan Environmental Kuznets Curve (EKC), Human Capital Theory, Human Development Framework, dan Capability Approach untuk menjelaskan hubungan antara variabel ekonomi, pendidikan, lingkungan, dan kesehatan secara komprehensif melalui mekanisme mediasi pembangunan manusia.

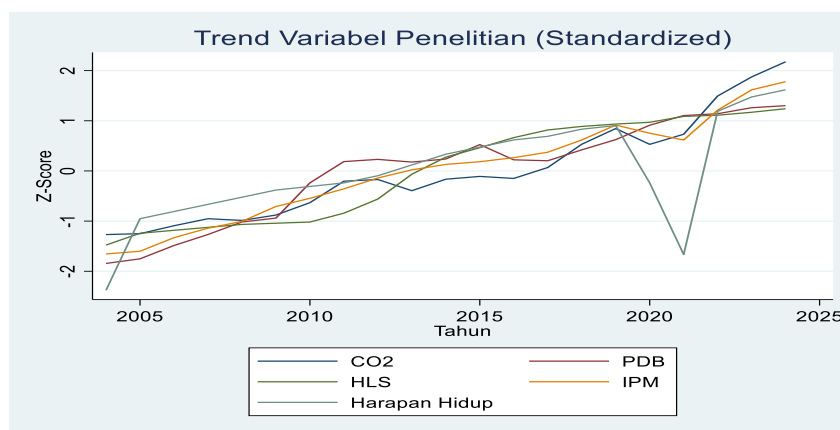
**HASIL PENELITIAN**

**Tabel 1. Statistik Deskriptif**

Variabel	Obs	Mean	Std. Dev	Minimum	Maksimum
Harapan Hidup Saat Lahir (Y)	21	69.333	1.401	66.000	71.600
Emisi CO <sub>2</sub> (X1)	21	526.686	131.223	360.200	812.200
PDB (X2)	21	0.00335	0.00121	0.00113	0.00493
Harapan Lama Sekolah (X3)	21	12.156	0.850	10.900	13.210
IPM (Z)	21	0.684	0.037	0.623	0.750

Sumber : Stata 17.0

Hasil statistik deskriptif menunjukkan bahwa harapan hidup di Indonesia selama periode 2004–2024 mengalami peningkatan dengan rata-rata 69,33 tahun. Peningkatan ini mencerminkan perbaikan kualitas pembangunan manusia sebagaimana dijelaskan dalam Human Development Index framework yang menempatkan kesehatan sebagai indikator utama kesejahteraan (Hopkins, 1991). Variabel emisi karbon menunjukkan tren meningkat dengan fluktuasi tinggi yang mencerminkan fase industrialisasi dan ketergantungan energi fosil, sejalan dengan Environmental Kuznets Curve (EKC) yang menyatakan bahwa emisi cenderung meningkat pada tahap awal pembangunan sebelum mengalami penurunan pada tahap pendapatan tinggi. Temuan ini konsisten dengan studi (Wahyudi & Leny, 2025) yang menunjukkan bahwa emisi karbon masih menjadi tantangan utama pembangunan berkelanjutan di Indonesia.



Sumber : Stata 17.0

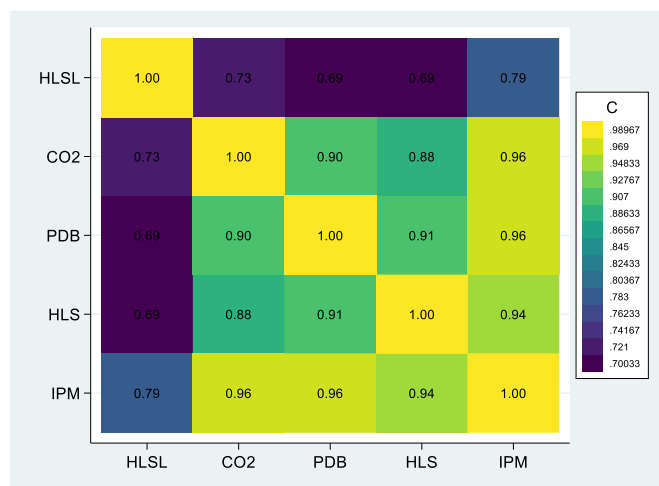
**Gambar 2. Visualisasi Tren & Korelasi**

Visualisasi tren variabel penelitian periode 2004–2024 menunjukkan bahwa sebagian besar variabel mengalami kecenderungan meningkat dalam jangka panjang meskipun terdapat fluktuasi pada periode tertentu. Variabel CO<sub>2</sub> menunjukkan tren peningkatan yang relatif

konsisten, mencerminkan peningkatan aktivitas ekonomi, industrialisasi, dan penggunaan energi fosil. Dalam perspektif *Environmental Kuznets Curve* (EKC), kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi pada tahap awal pembangunan masih diikuti oleh peningkatan tekanan lingkungan.

PDB, HLS, dan IPM juga memperlihatkan tren meningkat secara bertahap selama periode penelitian. Peningkatan HLS dan IPM menunjukkan adanya perbaikan kualitas pendidikan dan pembangunan manusia di Indonesia. Temuan ini mendukung *Human Capital Theory* yang menjelaskan bahwa peningkatan pendidikan berkontribusi terhadap peningkatan kualitas sumber daya manusia dan kesejahteraan masyarakat.

Sementara itu, variabel harapan hidup menunjukkan tren meningkat dalam jangka panjang, meskipun mengalami penurunan pada sekitar tahun 2021 yang diduga berkaitan dengan dampak pandemi COVID-19. Secara keseluruhan, visualisasi tren menunjukkan adanya keterkaitan dinamis antara faktor ekonomi, pendidikan, lingkungan, dan pembangunan manusia terhadap harapan hidup di Indonesia, yang selanjutnya mendukung hasil analisis regresi dan SEM pada penelitian ini.



Sumber : Stata 17.0

**Gambar 3. Heatmap Korelasi**

Heatmap korelasi menunjukkan bahwa seluruh variabel penelitian memiliki hubungan positif dengan koefisien berkisar antara 0,69–0,96. Nilai tersebut mengindikasikan adanya hubungan searah antarvariabel, di mana peningkatan pada suatu variabel cenderung diikuti peningkatan variabel lainnya. Korelasi tertinggi ditemukan pada hubungan CO<sub>2</sub>–IPM (0,96) dan PDB–IPM (0,96), yang menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi dan industrialisasi masih berkaitan erat dengan peningkatan pembangunan manusia di Indonesia. Temuan ini mendukung perspektif *Environmental Kuznets Curve* yang menjelaskan bahwa pada tahap awal pembangunan, pertumbuhan ekonomi dan aktivitas industri masih berjalan seiring dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat.

Selain itu, hubungan HLS–IPM sebesar 0,94 menunjukkan bahwa pendidikan memiliki kontribusi yang kuat terhadap pembangunan manusia. Temuan ini mendukung *Human Capital Theory* yang menjelaskan bahwa pendidikan merupakan investasi sumber daya

manusia yang dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas hidup. Sementara itu, hubungan HLSSL-IPM sebesar 0,79 menunjukkan bahwa peningkatan pembangunan manusia berkaitan dengan peningkatan kualitas kesehatan masyarakat.

Namun demikian, tingginya korelasi antarvariabel, khususnya antara CO<sub>2</sub>, PDB, HLS, dan IPM, mengindikasikan adanya potensi multikolinearitas. Hasil tersebut sejalan dengan uji VIF yang menunjukkan tingkat multikolinearitas relatif tinggi. Meskipun demikian, kondisi tersebut masih dapat diterima karena variabel yang digunakan secara teoritis merupakan komponen pembangunan yang saling terintegrasi. Secara keseluruhan, hasil heatmap mendukung temuan regresi dan SEM bahwa pembangunan manusia berperan penting dalam menjelaskan hubungan antara faktor ekonomi, pendidikan, lingkungan, dan harapan hidup di Indonesia.

**Tabel 2. Uji Stasioneritas (ADF)**

Variabel	Level p-value	First Difference p-value	Orde Integrasi
Emisi CO <sub>2</sub>	0.9956	0.0077	I(1)
PDB	0.5151	0.0092	I(1)
HLS	0.7873	Belum stasioner	I(2)
IPM	0.9533	0.0022	I(1)
Harapan Hidup	0.0679	0.0000	I(1)

Sumber : Stata 17.0

Hasil Augmented Dickey Fuller menunjukkan bahwa sebagian besar variabel menjadi stasioner pada diferensiasi pertama atau I(1), sedangkan variabel Harapan Lama Sekolah (HLS) baru mencapai kondisi stasioner pada diferensiasi kedua atau I(2). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan HLS bersifat lebih persisten dibandingkan variabel lainnya, sehingga memerlukan proses differencing tambahan untuk menghilangkan tren jangka panjang.

Temuan ini mengindikasikan bahwa pendidikan memiliki karakteristik perubahan yang lebih lambat dan akumulatif dibandingkan variabel ekonomi dan lingkungan. Secara teoritis, kondisi ini dapat dijelaskan melalui Human Capital Theory yang menyatakan bahwa investasi pendidikan memerlukan waktu relatif panjang sebelum menghasilkan dampak terhadap kualitas sumber daya manusia.

**Tabel 3. Uji Asumsi Klasik**

Jenis Uji	Metode	Nilai Hasil	Kriteria	Keputusan
Uji Normalitas	Skewness/Kurtosis	p-value = 0.2653	p > 0,05	Residual berdistribusi normal

Uji Multikolinearitas	VIF	Mean VIF = 26.38	VIF < 10	Terjadi multikolinearitas
Uji Heteroskedastisitas	Breusch-Pagan	p-value = 0.0632	p > 0,05	Tidak terjadi heteroskedastisitas
Uji Autokorelasi	Durbin-Watson	DW = 1.8119	DW mendekati 2	Tidak terjadi autokorelasi

Sumber : Stata 17.0

Hasil uji asumsi klasik menunjukkan bahwa model memenuhi asumsi normalitas, tidak mengalami heteroskedastisitas, serta tidak terdapat masalah autokorelasi. Namun, terdapat indikasi multikolinearitas yang cukup tinggi (VIF = 26,38). Dalam konteks penelitian ini, kondisi tersebut tidak dianggap sebagai pelanggaran serius karena variabel PDB, HLS, dan IPM merupakan komponen yang secara teoritis saling berkaitan dalam kerangka Human Development Framework.

Hal ini sejalan dengan temuan (Nathaniel, S. P., Murshed, M., & Bassim, 2021) yang menegaskan bahwa variabel pembentuk IPM memiliki korelasi tinggi karena merepresentasikan dimensi pembangunan manusia yang saling terintegrasi. Dengan demikian, multikolinearitas dalam penelitian ini lebih mencerminkan hubungan struktural daripada bias estimasi.

**Tabel 4. Uji Regresi Linear Model 1**

Variabel	Koefisien	t-Statistik	Prob.	Keterangan
Emisi Karbon (x1)	0.0001243	5.79	0.000	Signifikan (+)
PDB (x2)	10.3074	4.01	0.000	Signifikan (+)
HLS (x3)	0.0108552	3.20	0.005	Signifikan (+)
Konstanta	0.4522135	13.79	0.000	-
R-Squared ( <i>Within</i> )				0.9840
F-Statistic				347.84
Prob (F)				0.000

Sumber : Stata 17.0

Hasil regresi menunjukkan bahwa emisi karbon, PDB, dan Harapan Lama Sekolah (HLS) berpengaruh positif signifikan terhadap IPM di Indonesia periode 2004–2024.

Pengaruh positif emisi karbon terhadap IPM mendukung teori Environmental Kuznets Curve (EKC) yang menjelaskan bahwa pada tahap awal pembangunan, peningkatan aktivitas industri dan penggunaan energi masih berkorelasi dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Osei-Kusi et al., 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi yang menghasilkan emisi karbon di Indonesia masih berjalan bersamaan dengan peningkatan pembangunan manusia.

Pengaruh positif PDB terhadap IPM mendukung Human Capital Theory yang menyatakan bahwa peningkatan pendapatan meningkatkan investasi pendidikan dan kesehatan. Temuan ini konsisten dengan (Asmara et al., 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia masih menjadi instrumen penting dalam peningkatan kualitas pembangunan manusia.

Pengaruh positif HLS terhadap IPM mendukung Human Development Theory yang menjelaskan bahwa pendidikan merupakan komponen utama pembentukan kualitas manusia. Hasil ini sejalan dengan (Syaidatussalihah et al., 2025). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan akses pendidikan di Indonesia berkontribusi terhadap peningkatan pembangunan manusia.

**Tabel 5. Uji Regresi Linear Model 2**

Variabel	Koefisien	t-Statistik	Prob.	Keterangan
Emisi Karbon (x1)	-0.128769	-2.41	0.028	Signifikan (-)
PDB (x2)	-1416.158	-2.74	0.015	Signifikan (-)
HLS (x3)	-1.311081	-2.12	0.050	Signifikan (-)
IPM (Z)	146.745	4.19	0.001	Signifikan (+)
Konstanta	-3.599944	-0.22	0.830	
R-Squared ( <i>Within</i> )				0.7813
F-Statistic				14.29
Prob (F)				0.000

Sumber : Stata 17.0

Hasil regresi menunjukkan bahwa emisi karbon, PDB, dan HLS berpengaruh negatif signifikan terhadap harapan hidup, sedangkan IPM berpengaruh positif signifikan terhadap harapan hidup di Indonesia periode 2004–2024.

Pengaruh negatif emisi karbon terhadap harapan hidup mendukung teori Environmental Kuznets Curve (EKC) yang menjelaskan bahwa peningkatan polusi lingkungan dapat menurunkan kualitas kesehatan masyarakat. Temuan ini konsisten dengan penelitian (Mahalik et al., 2022). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan emisi karbon di Indonesia berpotensi menurunkan kualitas hidup melalui dampaknya terhadap kesehatan masyarakat.

Pengaruh negatif PDB terhadap harapan hidup mendukung Capability Approach yang menjelaskan bahwa pertumbuhan ekonomi tidak selalu meningkatkan kesejahteraan apabila tidak disertai pemerataan pembangunan. Temuan ini sejalan dengan Asmara et al. (2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pendapatan nasional belum secara langsung meningkatkan kualitas kesehatan masyarakat.

Pengaruh negatif HLS terhadap harapan hidup menunjukkan bahwa pendidikan tidak selalu memberikan dampak langsung terhadap kualitas kesehatan masyarakat. Temuan ini sejalan dengan (Zhang et al., 2024). Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pendidikan memerlukan mekanisme pendukung lain agar dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat secara optimal.

Pengaruh positif IPM terhadap harapan hidup mendukung Human Development Theory yang menempatkan kesehatan sebagai dimensi utama pembangunan manusia. Temuan ini konsisten dengan penelitian (UNDP, 2023). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pembangunan manusia menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas kesehatan masyarakat Indonesia.

**Tabel 6. Mediasi SEM (Path Analysis)**

Hubungan Variabel	Koefisien	Std. Error	Z-Stat	P-value	Keterangan
CO <sub>2</sub> → IPM	0.0001243	0.0000193	6.44	0.000	Signifikan (+)
PDB → IPM	10.3074	2.3120	4.46	0.000	Signifikan (+)
HLS → IPM	0.0108552	0.0030502	3.56	0.000	Signifikan (+)
IPM → Harapan Hidup	146.745	30.5359	4.81	0.000	Signifikan (+)
CO <sub>2</sub> → Harapan Hidup	-0.0128769	0.0046583	-2.76	0.006	Signifikan (-)
PDB → Harapan Hidup	-1416.158	451.3708	-3.14	0.002	Signifikan (-)
HLS → Harapan Hidup	-1.311081	0.5404148	-2.43	0.015	Signifikan (-)
Konstanta (Y)	-3.599944	14.41297	-0.25	0.803	-

Sumber : Stata 17.0

Hasil SEM menunjukkan bahwa emisi karbon, PDB, dan HLS berpengaruh positif signifikan terhadap IPM, sedangkan IPM berpengaruh positif signifikan terhadap harapan hidup. Temuan ini mendukung integrasi Human Capital Theory dan Environmental Kuznets Curve yang menjelaskan bahwa pembangunan ekonomi, pendidikan, dan lingkungan memiliki keterkaitan terhadap pembangunan manusia. Hasil ini sejalan dengan penelitian (Osei-Kusi et al., 2024) dan (Asmara et al., 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pembangunan manusia berperan sebagai jalur penting dalam menjelaskan hubungan antara faktor ekonomi, pendidikan, lingkungan, dan harapan hidup.

**Tabel 7. Mediasi Bootstrap (1000 replikasi)**

Jalur Mediasi	Direct Effect	p-value	Indirect Effect	p-value	Jenis Mediasi
CO <sub>2</sub> → IPM → Harapan Hidup	-0.0128769	0.006	0.018238	0.049	Partial mediation
PDB → IPM → Harapan Hidup	-1416.158	0.002	1512.559	0.020	Partial mediation
HLS → IPM → Harapan Hidup	-1.311081	0.015	1.592952	0.033	Partial mediation

Sumber : Stata 17.0

Hasil bootstrap dengan 1.000 replikasi menunjukkan bahwa seluruh pengaruh tidak langsung (*indirect effect*) memiliki nilai signifikan ( $p < 0,05$ ). Di sisi lain, hasil SEM juga menunjukkan bahwa pengaruh langsung (*direct effect*) variabel CO<sub>2</sub>, PDB, dan HLS terhadap harapan hidup tetap signifikan. Berdasarkan kriteria mediasi, apabila *direct effect*

dan *indirect effect* sama-sama signifikan maka variabel mediasi dikategorikan sebagai *partial mediation*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa IPM berperan sebagai mediasi parsial pada hubungan emisi karbon, PDB, dan HLS terhadap harapan hidup di Indonesia periode 2004–2024. Temuan ini mendukung Human Development Theory yang menjelaskan bahwa pembangunan manusia merupakan mekanisme transmisi dalam menghubungkan faktor ekonomi, pendidikan, dan lingkungan terhadap peningkatan kualitas hidup masyarakat. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian (Zhang et al., 2024) dan (Osei-Kusi et al., 2024). Kondisi ini mengindikasikan bahwa pengaruh emisi karbon, pertumbuhan ekonomi, dan pendidikan terhadap harapan hidup tidak hanya bekerja secara langsung, tetapi juga melalui peningkatan pembangunan manusia.

**Tabel 6. Hasil Robustness Analisis**

Variabel	Koefisien	Robust Std.Error	t-stat	p-value	Keputusan
CO <sub>2</sub>	-0.128	0.049	-2.61	0.019	Signifikan
PDB	-1416.158	472.311	-3.00	0.011	Signifikan
HLS	-1.311	0.603	-2.17	0.046	Signifikan
IPM	146.745	33.221	4.41	0.001	Signifikan

Sumber : Stata 17.0

Robustness analysis dilakukan menggunakan *robust standard error* untuk menguji konsistensi hasil estimasi. Hasil menunjukkan bahwa arah koefisien dan tingkat signifikansi relatif konsisten dengan model utama. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa hasil penelitian bersifat stabil dan tidak sensitif terhadap perubahan spesifikasi model.

### KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa emisi karbon (CO<sub>2</sub>), Produk Domestik Bruto (PDB), dan Harapan Lama Sekolah (HLS) berpengaruh positif signifikan terhadap Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Sementara itu, emisi karbon, PDB, dan HLS berpengaruh negatif signifikan terhadap harapan hidup secara langsung, sedangkan IPM berpengaruh positif signifikan terhadap harapan hidup di Indonesia periode 2004–2024. Hasil bootstrap menunjukkan bahwa IPM memediasi secara signifikan hubungan antara CO<sub>2</sub>, PDB, dan HLS terhadap harapan hidup dengan kategori *partial mediation*. Temuan ini mengindikasikan bahwa pembangunan manusia berperan sebagai mekanisme penting dalam menjelaskan pengaruh faktor ekonomi, pendidikan, dan lingkungan terhadap peningkatan kualitas hidup masyarakat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan harapan hidup tidak hanya bergantung pada pertumbuhan ekonomi, tetapi juga memerlukan penguatan pembangunan manusia melalui peningkatan kualitas pendidikan, kesehatan, dan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, kebijakan pembangunan perlu diarahkan pada pendekatan yang lebih terintegrasi dengan memperhatikan aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan guna mendukung pembangunan yang berkelanjutan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah observasi yang relatif terbatas karena menggunakan data *time series* tahunan periode 2004–2024 serta hanya menggunakan IPM sebagai variabel mediasi. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data panel antarwilayah atau menambahkan variabel lain seperti pengeluaran kesehatan, kemiskinan, kualitas institusi, atau energi terbarukan agar mampu menghasilkan model yang lebih komprehensif dalam menjelaskan faktor-faktor yang memengaruhi harapan hidup.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Sampene, A. K., Li, C., & Wiredu, J. (2024). Environmental technology to stimulate life expectancy: A deep dive into the role of PM2. 5 and carbon emission. *Environment International*, 193, 109118.
- World Health Organization. (2024). The assessment process for listing of performance evaluation laboratories in connection with WHO prequalification of in vitro diagnostics: information for candidate laboratories.
- Azimi, M. N., & Rahman, M. M. (2024). Unveiling the health consequences of air pollution in the world's most polluted nations. *Scientific reports*, 14(1), 9856.
- Khan, F., Sarwar, G., Khan, M. A., Noor, S., & Rehman, Z. U. (2025). Assessing the link between environmental quality and life expectancy in developing nations: an empirical analysis for sustainable development. *International Social Science Journal*, 75(256), 295-310.
- Nathaniel, S. P., Murshed, M., & Bassim, M. (2021). The nexus between economic growth, energy use, international trade and ecological footprints: the role of environmental regulations in N11 countries. *Energy, ecology and environment*, 6(6), 496.
- Preston, S. H. (1975). The Changing Relation between Mortality and level of Economic Development. *Population Studies*, 29(2), 231–248. <https://doi.org/10.1080/00324728.1975.10410201>
- Mahalik, M. K., Le, T. H., Le, H. C., & Mallick, H. (2022). How do sources of carbon dioxide emissions affect life expectancy? Insights from 68 developing and emerging economies. *World Development Sustainability*, 1, 100003.
- Sarkodie, S. A., & Owusu, P. A. (2021). Global assessment of environment, health and economic impact of the novel coronavirus (COVID-19) SA Sarkodie, PA Owusu. *Environment, development and sustainability*, 23(4), 5005-5015.
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, 110(2), 353-377.
- Li, D., Shen, T., Wei, X., & Li, J. (2022). Decomposition and Decoupling Analysis between HDI and Carbon Emissions. *Atmosphere*, 13(4), 584. <https://doi.org/10.3390/atmos13040584>
- Sen, A. (1999). *Freedom. Development*, Oxford University Press, Oxford.
- Hechmi, S. (2025). Economic, Social, and Environmental Drivers of Human Development in Vietnam: An ARDL Approach. *Economies*, 13(11), 319.
- Becker, G. S. (1989). *Human capital: a theoretical and empirical analysis, with special reference to education*. Chicago: University of Chicago Press.
- Wahyudi, H., & Leny, S. M. (2025). Nexus among carbon dioxide emissions, gross domestic product, average years of schooling on life expectancy at birth in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(3), 60-67.

- Aryanti, E. N. (2023). Analisis Pengaruh Indeks Kesehatan dan Indeks Pendidikan, Angkatan Kerja dan Jumlah Penduduk Terhadap IPM di Provinsi Jawa Timur Tahun 2015-2021. *Jurnal Ilmu Ekonomi JIE*, 7(02), 223-234.
- United Nations Development Programme (2024). *Human Development Report 2023/2024: Breaking the Gridlock: Reimagining Cooperation in a Polarized World*. New York: United Nations Development Programme.
- Sen, A. (1999). *Development as Freedom*. New York: Oxford University Press.
- Robeyns, I. (2005). *The Capability Approach: A theoretical survey*. *Journal of Human Development*, 6(1), 93–117. <https://doi.org/10.1080/146498805200034266>
- Acheampong, A. O., Dzator, J., & Savage, D. A. (2021). Renewable energy, CO2 emissions and economic growth in sub-Saharan Africa: does institutional quality matter?. *Journal of Policy Modeling*, 43(5), 1070-1093.
- Asmara, G. J., Asmara, G. D., & Saleh, R. (2024). The Effect of Economic Growth on The Human Development Index in Indonesia. *Journal of Economics Research and Social Sciences*, 8(2), 267–276. <https://doi.org/10.18196/jerss.v8i2.22627>
- Setyaningrum, D. (2024). Quality education and human development index. *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies*, 20(3-4), 304-311.
- Syaidatussalihah, S., Mala, F., Permata, R. A., & Khalil, A. A. (2025). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Indeks Pembangunan Manusia Di Indonesia Tahun 2023. *Jurnal Sains Natural*, 3(1), 20-26.
- Ridwan, M., Antor, Z. A., Akther, A., Ko, J., Fakher, H. A., Leung, C. K., & Ming, W. K. (2026). Heterogeneous associations of health expenditure, environmental pollution, and economic growth on life expectancy in BRICS economies. *Frontiers in Public Health*, 14, 1767163.
- Zhang, H., Zhan, Y., & Chen, K. (2024). Do education, urbanization, and green growth promote life expectancy?. *Frontiers in Public Health*, 12, 1517716.
- BPS. (2024). Metode baru Indeks Pembangunan Manusia. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NDEzIzI=/-metode-baru--indeks-pembangunan-manusia--ipm-.html>
- UNDP. (2023). *Human Development Report: Indonesia's Progress and Challenges*. United Nations Development Programme. Available from: <https://www.undp.org>
- Osei-Kusi, F., Wu, C., Tetteh, S., & Castillo, W. I. G. (2024). The dynamics of carbon emissions, energy, income, and life expectancy: Regional comparative analysis. *Plos one*, 19(2), e0293451.
- Hopkins, M. (1991). Human development revisited: A new UNDP report. *World Development*, 19(10), 1469-1473.