

**HUMAN DEVELOPMENT INDEX AND ENVIRONMENTAL PERFORMANCE
INDEX: A CAUSALITY ANALYSIS IN INDONESIA**

**INDEKS PEMBANGUNAN MANUSIA DAN INDEKS KUALITAS
LINGKUNGAN HIDUP: ANALISIS KAUSALITAS DI INDONESIA**

Dian Priastiwi^{1*}, Dwi Ayu Lestari²

Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Terbuka, Indonesia^{1,2},

dian.priastiwi@ecampus.ut.ac.id^{1*}, dwi.ayu.lestari@ecampus.ut.ac.id²

ABSTRACT

The quality of the environment is closely related to a country's development, especially toward sustainable development. This study aims to analyze the causal relationship between the Human Development Index (HDI) and the Environmental Performance Index (EPI) in 33 provinces in Indonesia from 2010 to 2024. Using the ARDL/ECM approach with Pooled Mean Group (PMG) estimation, the testing begins with a stationarity test to ensure the order of integration before cointegration estimation. The Wald test is utilized to validate the significance of the long-run coefficients in the model. The results of the study indicate that there is a significant one-way causal relationship from HDI to EPI in the long run. The negative COINTEQ value shows that an error-correction mechanism is taking place, indicating an adjustment back toward long-run equilibrium with a significant probability. Conversely, the effect of EPI on HDI is not significant in the long run, with the COINTEQ coefficient suggesting a slow adjustment mechanism. In the short run, significant and negative causal relationship is found from HDI to EPI, while the effect of EPI on HDI is not significant. The Cross-Section Error-Correction test also shows a significant two-way long-run relationship between HDI and EPI in several Indonesian provinces. Improvements in human development quality play a strategic role in promoting sustainable enhancement of environmental quality, while controlling environmental pressures needs to be prioritized to mitigate negative short-term impacts of development.

Keywords: Human Development Index; Environmental Performance Index; Panel Causality; PMG-ARDL

ABSTRAK

Kualitas lingkungan berkaitan erat dengan pembangunan suatu negara terutama menuju pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan kausalitas antara Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) pada 33 provinsi di Indonesia periode 2010–2024. Menggunakan pendekatan ARDL/ECM dengan estimasi *Pooled Mean Group* (PMG), pengujian diawali dengan uji stasioneritas untuk memastikan orde integrasi sebelum estimasi kointegrasi. Uji Wald digunakan untuk memvalidasi signifikansi koefisien jangka panjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya kausalitas satu arah dari IPM menuju IKLH yang signifikan dalam jangka panjang. Mekanisme koreksi kesalahan yang ditunjukkan oleh COINTEQ bernilai negatif menggambarkan adanya penyesuaian menuju keseimbangan dalam jangka panjang, dengan probabilitas yang signifikan. Sebaliknya, pengaruh IKLH terhadap IPM tidak signifikan dalam jangka Panjang dengan koefisien COINTEQ menunjukkan mekanisme penyesuaian yang lambat. Pada jangka pendek, terdapat hubungan kausalitas yang signifikan negatif dari IPM menuju IKLH, sebaliknya pengaruh IKLH terhadap IPM tidak signifikan. Pengujian *Cross-Section Error-Correction* menunjukkan hubungan jangka panjang yang signifikan dua arah antara IPM dan IKLH pada beberapa provinsi di Indonesia. Peningkatan kualitas pembangunan manusia memiliki peran strategis dalam mendorong perbaikan kualitas lingkungan secara berkelanjutan, sedangkan pengendalian tekanan lingkungan perlu diprioritaskan untuk memitigasi dampak negatif jangka pendek pembangunan.

Kata Kunci: Indeks Pembangunan Manusia; Indeks Kualitas Lingkungan Hidup; Kausalitas Panel; PMG-ARDL

PENDAHULUAN

Pembangunan manusia merupakan salah satu indikator utama dalam menilai keberhasilan pembangunan suatu negara atau daerah (Arsyad, 2022). Salah satu

alat ukur yang paling umum digunakan untuk menilai pembangunan manusia adalah Indeks Pembangunan Manusia (IPM). United Nations Development Programme (UNDP) pada tahun 1990

memperkenalkan konsep *Human Development Index* atau IPM yang menekankan pentingnya manusia sebagai pusat sekaligus tujuan akhir pembangunan (Badan Pusat Statistik, 2020). IPM diperoleh dari capaian rata-rata dari tiga dimensi dasar pembangunan manusia, yaitu umur panjang dan hidup sehat, pengetahuan, serta standar hidup layak.

BPS (2020) menjelaskan bahwa dimensi umur panjang dan hidup sehat diukur melalui umur harapan hidup saat lahir, dimensi pengetahuan dilihat dari rata-rata lama sekolah penduduk usia 25 tahun ke atas serta harapan lama sekolah penduduk usia 7 tahun, sedangkan dimensi standar hidup layak diukur melalui pengeluaran riil per kapita yang disesuaikan. *Human Development Report* menunjukkan bahwa IPM dunia meningkat kembali pada tahun 2022 setelah menurun tajam akibat pandemi COVID-19. Kawasan Asia-Pasifik mencatat pemulihan paling signifikan, melampaui Negara-Negara Arab, sementara Asia Timur berhasil meminimalkan dampak pandemi dengan hampir tidak mengalami penurunan IPM. Asia Selatan dan Pasifik dapat pulih melampaui tingkat pra-pandemi, sedangkan Asia Tenggara masih tertinggal dan belum kembali ke tingkat IPM sebelum pandemi. Di kawasan ini, dimensi pendidikan dan kesehatan menjadi sektor yang paling lambat pulih (Dahal, Gaspar, & Schellekens, 2024).

Di Indonesia, pembangunan manusia terus menunjukkan tren positif. Selama periode 2020–2024, IPM nasional meningkat dari 72,81 menjadi 75,02, dengan rata-rata pertumbuhan tahunan sebesar 0,75 persen. Peningkatan IPM pada tahun 2024 terutama didorong oleh percepatan pertumbuhan pengeluaran riil per kapita dan harapan lama sekolah, meskipun umur harapan hidup dan rata-rata lama

sekolah mengalami perlambatan (BPS, 2024). Namun, peningkatan ini belum mencerminkan kesetaraan pembangunan di seluruh wilayah Indonesia.

Pembangunan manusia antarprovinsi masih menunjukkan ketimpangan BPS melaporkan bahwa provinsi dengan IPM tertinggi adalah DKI Jakarta sebesar 83,08, diikuti oleh DI Yogyakarta (81,55) dan Kalimantan Timur (78,83) Sementara itu, provinsi dengan IPM terendah adalah Papua Pegunungan (53,42) dan Papua Tengah (59,75). Selisih antara provinsi dengan IPM tertinggi dan terendah mencapai 29.66 poin, menunjukkan adanya ketimpangan dalam pembangunan manusia di Indonesia. Fenomena serupa juga ditemukan di India, di mana wilayah seperti Kolkata, Hooghly, dan Howrah terkonsentrasi pembangunan, sementara wilayah lain seperti Maldah dan Purulia tertinggal dalam pendidikan dan standar hidup (Dey et al., 2024).

Pada tahun 2024, rata-rata lama sekolah tertinggi terdapat pada Provinsi DKI Jakarta (11,49 Tahun) sedangkan terendah pada Provinsi Papua Pegunungan (5,1 Tahun) yang mencerminkan kesesuaian dari IPM. Hal serupa juga terlihat pada dimensi standar hidup layak menunjukkan bahwa DKI Jakarta mempunyai produk domestik regional bruto per kapita tertinggi yakni 344.350 ribu rupiah dan Papua Pegunungan menjadi yang terendah yakni 18.105 ribu rupiah. Di sisi lain, angka harapan hidup tertinggi dicapai oleh Provinsi DI Yogyakarta, sementara Papua Pegunungan masih menjadi yang terendah. Meskipun demikian, hal sebaliknya terdapat pada kualitas lingkungan.

Data Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) tahun 2024, nilai tertinggi dicapai oleh Papua Barat (83,75), Papua Barat Daya (83,07), dan Papua Pegunungan (81,91), sedangkan nilai

terendah ditemukan di DKI Jakarta (56,39), Banten (62,54), dan Jawa Barat (66,09). Studi subnasional di China menjabarkan terkait ketimpangan kualitas lingkungan hidup yang lebih besar daripada ketimpangan pembangunan manusia (Jiang et al., 2023).

Opoku et al. (2022) menemukan bahwa peningkatan IPM, pendidikan, dan modal manusia berkontribusi positif terhadap keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan jejak ekologis dan emisi karbon. Sementara, Ramadhantie et al. (2021) menunjukkan hasil berbeda, di mana peningkatan IPM justru menurunkan IKLH akibat meningkatnya kepadatan penduduk, menurunnya kualitas udara, serta berkurangnya lahan hijau di Indonesia. Di sisi lain, Kusumadewi dan Kristanto (2023) menemukan bahwa IPM berpengaruh positif terhadap kualitas lingkungan sebesar 5,776%, meskipun pertumbuhan penduduk dan teknologi berpengaruh negatif.

Penelitian lintas negara juga menunjukkan ketidakkonsistenan hasil. Samimi et al. (2011) menemukan hubungan positif dan signifikan antara IPM dan Kinerja Lingkungan (EPI) untuk seluruh negara dalam sampel, namun tidak signifikan pada negara berkembang. Xu et al. (2024) menyatakan bahwa hubungan antara emisi karbon, jejak material, dan pembangunan manusia bersifat dinamis, di mana negara dengan IPM tinggi menunjukkan *decoupling* antara pembangunan dan degradasi lingkungan, sedangkan negara ber-IPM menengah menunjukkan *coupling* yang kuat. Sementara itu, Maccari (2014) mengidentifikasi hubungan berbentuk huruf U antara IPM dan Kinerja Lingkungan, menandakan bahwa pada tahap awal pembangunan, peningkatan IPM dapat berdampak negatif terhadap

lingkungan sebelum berbalik positif pada tahap pembangunan lanjut.

Studi sebelumnya lebih lanjut mengembangkan indeks baru yang menggabungkan dimensi pembangunan manusia dan keberlanjutan lingkungan. Assa (2021) memperkenalkan *Sustainable Human Development Index (SHDI)* sebagai bentuk pengembangan IPM yang menekankan efisiensi relatif dalam mengubah sumber daya menjadi kapabilitas manusia. Zhang dan Wu (2022) mengembangkan *Indeks Manusia-Lingkungan (IML)* yang menggabungkan IPM dan Indeks Kinerja Lingkungan (IKL) untuk menilai keberlanjutan pembangunan. Namun, sebagaimana dikritisi oleh Phillips (2023), indeks-indeks tersebut belum sepenuhnya menggambarkan hubungan kausal antara pembangunan manusia dan kualitas lingkungan karena lebih berfokus pada integrasi indikator, bukan pada arah pengaruh dua variabel tersebut.

Berdasarkan berbagai temuan tersebut, sebagian penelitian menekankan pengaruh IPM terhadap kualitas lingkungan, sementara sebagian lainnya menunjukkan bahwa kondisi lingkungan dapat memengaruhi capaian pembangunan manusia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan kausalitas antara Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) dan Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dengan studi pada 33 provinsi di Indonesia. Analisis ini diharapkan dapat memberikan pemahaman empiris mengenai bagaimana kedua indikator tersebut saling memengaruhi dalam konteks pembangunan berkelanjutan di tingkat regional.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Opoku et al. (2022) menunjukkan bahwa peningkatan Indeks

Pembangunan Manusia (IPM), pendidikan, dan modal manusia berkontribusi positif terhadap keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi jejak ekologis, emisi karbon dioksida, dan gas rumah kaca. Hasil tersebut menegaskan bahwa pembangunan manusia dapat mendorong peningkatan kualitas lingkungan. Sebaliknya, Ramadhantie et al. (2021) menemukan bahwa peningkatan IPM di Indonesia justru menurunkan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) karena meningkatnya kepadatan penduduk, penurunan kualitas air dan udara, serta berkurangnya lahan hijau. Sementara itu, Kusumadewi dan Kristanto (2023) menyatakan bahwa IPM berpengaruh positif terhadap kualitas lingkungan sebesar 5,776%, meskipun pertumbuhan penduduk dan perkembangan teknologi berdampak negatif terhadap kualitas lingkungan.

Temuan Samimi et al. (2011) menunjukkan adanya hubungan positif dan signifikan antara Kinerja Lingkungan (EPI) dan Pembangunan Manusia (HDI) pada 114 negara, namun untuk negara berkembang hubungan tersebut tidak signifikan karena rendahnya investasi pada sektor kesehatan dan pendidikan. Hasil ini sejalan dengan Xu et al. (2024) yang menemukan bahwa hubungan antara emisi karbon dioksida, jejak material, dan pembangunan manusia berbeda di setiap negara; negara dengan HDI tinggi menunjukkan tren *decoupling*, sedangkan negara ber-HDI menengah menunjukkan *coupling* yang signifikan. Selain itu, Maccari (2014) mengidentifikasi hubungan berbentuk huruf U antara IPM dan Indeks Kinerja Lingkungan, yang menunjukkan adanya dinamika antara pembangunan manusia dan keberlanjutan lingkungan di berbagai negara.

Penelitian Al-Maadid et al. (2025) menunjukkan bahwa risiko iklim berpengaruh terhadap pembangunan manusia di negara-negara Dewan Kerjasama Teluk (GCC), dengan pengaruh yang semakin besar setelah tahun 2020. Teknologi informasi dan komunikasi memberikan dampak positif terhadap HDI, sedangkan polusi udara PM2.5 berdampak negatif. Hasil serupa diperkuat oleh Cavalheiro et al. (2025) yang menemukan bahwa tata kelola yang efektif dapat meningkatkan IPM dan kapasitas adaptasi terhadap perubahan iklim. Martí et al. (2022) juga menegaskan bahwa pembangunan manusia dapat meningkat melalui tindakan mitigasi perubahan iklim, terutama di negara-negara berkembang seperti Indonesia dan Brasil.

Studi Nurhasan dan Afifah (2023) menemukan bahwa fluktuasi IKLH di Kota Malang menggambarkan tantangan lingkungan yang serius dan menjadi hambatan dalam peningkatan pembangunan manusia. Proskuryakova (2022) menjelaskan bahwa kelimpahan sumber daya alam sering disertai dampak negatif terhadap modal manusia dan lingkungan, terutama di negara dengan institusi yang lemah. Sementara itu, Yazd et al. (2025) menunjukkan bahwa faktor lingkungan seperti energi terbarukan, akses air bersih, dan luas kawasan hutan memiliki pengaruh positif terhadap IPM di 27 negara Eropa, yang menegaskan keterkaitan erat antara pembangunan manusia dan kondisi lingkungan hidup.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode kausalitas data panel untuk menganalisis arah hubungan antara Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) dan Indeks Pembangunan Manusia (IPM). Pemilihan IPM mengikuti standar

pengukuran UNDP (2023), sedangkan dimensi lingkungan dalam analisis pembangunan berkelanjutan mengikuti landasan teoritis Pearce et al. (2006), Munasinghe (1993 dalam Sari et al., 2020), serta Todaro dan Smith (2020).

Data yang digunakan merupakan data sekunder panel yang mencakup 33 provinsi di Indonesia selama periode 2010–2024. Data IPM diperoleh dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS), sedangkan data IKLH bersumber dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Kedua variabel diukur dalam bentuk indeks dengan skala 0–100. Rentang waktu lima belas tahun dipilih untuk menangkap dinamika jangka menengah pembangunan manusia dan perubahan kualitas lingkungan hidup di tingkat provinsi.

Tahap awal penelitian dilakukan dengan menguji stasioneritas variabel menggunakan metode akar unit panel Levin–Lin–Chu, ADF Fisher, dan PP Fisher. Penggunaan uji stasioneritas panel mengikuti praktik ekonometrika pada studi pembangunan–energi dan pembangunan–lingkungan sebagaimana digarisbawahi oleh Ouedraogo (2013), yang menekankan pentingnya menguji orde integrasi sebelum membangun model kointegrasi dan koreksi kesalahan.

Indikasi awal arah hubungan kausal dilakukan menggunakan *Pairwise Dumitrescu–Hurlin Panel Causality Test*. Penggunaan metode ini sejalan dengan pendekatan kausalitas panel heterogen dalam studi Ahmed et al. (2022), yang menilai hubungan indikator lingkungan dan energi lintas negara. Uji DH digunakan sebagai prosedur pendahuluan dalam identifikasi potensi arah kausalitas sebelum melakukan pengujian kointegrasi, namun hasil bersifat indikatif dan tidak dijadikan dasar acuan utama.

Langkah berikutnya adalah menguji keberadaan hubungan jangka panjang antara IKLH dan IPM melalui *Bound Test*. Penggunaan pendekatan ini relevan karena karakteristik data memungkinkan kombinasi orde integrasi $I(0)$ dan $I(1)$. Kerangka *ARDL–Bound Test* yang dipilih konsisten dengan metodologi yang digunakan oleh Ai et al. (2021) dalam menganalisis hubungan struktural antara polusi udara, konsumsi energi, dan dinamika pembangunan.

Apabila terdapat bukti kointegrasi, estimasi dilakukan menggunakan model *Autoregressive Distributed Lag (ARDL)* dalam dua arah kausalitas: IKLH memengaruhi IPM, dan IPM memengaruhi IKLH. Bentuk umum model ARDL untuk masing-masing arah adalah sebagai berikut:

$$IPM_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^p \lambda_{i,k} IPM_{i,t-k} + \sum_{k=1}^q \delta_{i,k} IKLH_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t}$$

$$IKLH_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^p \lambda_{i,k} IKLH_{i,t-k} + \sum_{k=1}^q \delta_{i,k} IPM_{i,t-k} + \varepsilon_{i,t}$$

Apabila kointegrasi teridentifikasi, model ARDL kemudian diturunkan menjadi *Error Correction Model (ECM)* untuk menangkap dinamika penyesuaian jangka panjang menuju keseimbangan. Bentuk umum ECM yang digunakan adalah:

$$\Delta Y_{i,t} = \alpha_i + \sum_{k=1}^p \lambda_{i,k} \Delta Y_{i,t-k} + \sum_{k=1}^q \delta_{i,k} \Delta X_{i,t-k} + \psi_i ECT_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}$$

Kerangka ECM digunakan untuk mengidentifikasi keberadaan mekanisme penyesuaian jangka panjang, sebagaimana diterapkan dalam analisis panel oleh Ouedraogo (2013). Selanjutnya, dinamika hubungan jangka pendek diidentifikasi melalui *Wald Test* dalam kerangka ECM untuk menilai signifikansi perubahan variabel independen terhadap variabel dependen. Penggunaan pengujian jangka pendek dalam model koreksi kesalahan konsisten dengan pendekatan VAR–ECM yang diterapkan oleh Suryanto et al. (2023) dalam analisis hubungan energi dan pembangunan manusia di negara Asia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis hubungan kausalitas antara Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) di 33 provinsi di Indonesia menggunakan pendekatan *Pooled Mean Group* (PMG) *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). Hipotesis awal penelitian ini didasarkan pada Uji Kausalitas Granger, namun mengingat struktur data panel yang melibatkan variabel stasioner pada level $I(0)$ dan *first difference* $I(1)$, model PMG-ARDL/ECM dipilih sebagai kerangka analisis yang lebih tepat untuk membedakan kausalitas jangka panjang dan jangka pendek.

Tabel 1. Unit Root Test

Variabel	Levin, Lin & Chu t^*	ADF Fisher	PP Fisher
IPM	-2.91535 (0.0018)	14.1731 (1.0000)	42.6478 (0.9887)
IKLH	-12.9196 (0.0000)	202.597 (0.0000)	213.432 (0.0000)
D1_IPM	-10.1616 (0.0000)	140.944 (0.0000)	170.783 (0.0000)

Uji akar unit menunjukkan bahwa IPM bersifat non-stasioner pada level, sedangkan IKLH stasioner pada level. Pada diferensiasi pertama, IPM menjadi

stasioner, sehingga model ARDL dapat digunakan.

Bound Test dilakukan untuk menguji keberadaan hubungan jangka panjang (kointegrasi) antar variabel. Batas Kritis Asimtotik pada tingkat signifikansi 5% adalah Batas Bawah $I(0) = 3,620$ dan Batas Atas $I(1) = 4,160$. $IKLH \rightarrow IPM$ (Variabel Dependen: $D(IPM)$) menunjukkan hasil bahwa mayoritas provinsi (32 dari 33 *cross-section*) memiliki nilai F-statistik yang melebihi Batas Atas (4,160). Hal ini mengindikasikan penolakan Hipotesis Nol (H_0 : Tidak ada kointegrasi) dan memberikan bukti kuat kointegrasi antara IKLH dan IPM pada sebagian besar provinsi.

Sedangkan hasil *Bound Test* untuk $IPM \rightarrow IKLH$ (Variabel Dependen: $D(IKLH)$) menunjukkan bahwa hanya 12 dari 33 *cross-section* (36,36%) yang memiliki bukti kointegrasi. Meskipun kurang dominan, ini tetap mengindikasikan adanya hubungan jangka panjang di sepertiga wilayah. Adanya kointegrasi pada salah satu arah (atau lebih dari satu *cross-section*) memvalidasi penggunaan *Error Correction Model* (ECM).

Hasil *Cross-Section Error-Correction Result* menunjukkan bahwa kointegrasi jangka panjang antara Indeks Pembangunan Manusia (IPM) dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) terkonfirmasi di mayoritas provinsi.

Koefisien COINTEQ pada model IKLH sebagai variabel dependen menunjukkan rata-rata kecepatan koreksi yang relatif tinggi, yaitu sekitar 53.12 (COINTEQ = -0.5312). Nilai ini mengindikasikan bahwa IKLH adalah variabel yang cukup elastis dan mampu mengoreksi lebih dari separuh ketidakseimbangan jangka pendek yang timbul akibat guncangan IPM dalam satu periode waktu. Observasi lintas-sektoral

menyoroti kasus ekstrem di mana kecepatan koreksi melebihi 100% (misalnya, COINTEQ = -1.463489 di Aceh), menunjukkan fenomena penyesuaian yang sangat cepat menuju keseimbangan jangka panjang. Hal ini menegaskan bahwa IKLH di provinsi tersebut sangat responsif terhadap perubahan yang didorong oleh IPM.

Sebaliknya, pada model dengan IPM sebagai variabel dependen, koefisien COINTEQ menunjukkan rata-rata kecepatan koreksi yang sangat rendah, yakni hanya sekitar 2.27% (COINTEQ = -0.0227). Meskipun nilai ini signifikan secara statistik (mayoritas Prob. = 0.0000), besarnya koefisien menunjukkan bahwa IPM dicirikan oleh resistensi tinggi untuk berubah, yang berarti perbaikan pada kualitas lingkungan (IKLH) memerlukan waktu yang ekstensif untuk tercermin secara signifikan dalam peningkatan IPM. IPM cenderung mempertahankan posisinya, dan penyesuaian kembali ke keseimbangan jangka panjang akibat guncangan IKLH terjadi secara bertahap dan sangat lambat. Provinsi DKI Jakarta (Provinsi ke-11) menunjukkan koefisien COINTEQ yang paling tinggi secara absolut dalam model IKLH \rightarrow IPM, yaitu -0.039164 berarti kecepatan koreksi hanya 3.92%. Meskipun ini adalah nilai tertinggi (tercepat) di antara

semua provinsi untuk model ini, kecepatan ini masih sangat lambat. Hal ini menunjukkan bahwa IPM di DKI Jakarta cenderung kurang responsif terhadap perubahan yang terjadi pada IKLH untuk mencapai keseimbangan jangka Panjang

Analisis juga mengindikasikan adanya kausalitas jangka pendek yang signifikan dari IPM \rightarrow IKLH, dibuktikan oleh koefisien diferensial D(IPM) yang signifikan di banyak provinsi. Mayoritas koefisien D(IPM) memiliki tanda negatif yang signifikan. artinya, ketika pemerintah atau provinsi berusaha meningkatkan IPM secara cepat (misalnya, dengan membangun banyak pabrik, jalan, atau perumahan), kualitas lingkungan (IKLH) justru cenderung menurun duluan.

Estimation: Mean Group (ARDL)

Kointegrasi teridentifikasi, analisis dilanjutkan dengan mengestimasi model ARDL dan *Error Correction Model* (ECM) untuk mengidentifikasi pengaruh jangka panjang dan jangka pendek antarvariabel. Estimasi dilakukan pada dua arah kausalitas yakni IKLH \rightarrow IPM dan IPM \rightarrow IKLH untuk menilai apakah perubahan atau level variabel tertentu berkontribusi terhadap dinamika variabel lainnya.

Tabel 2. Estimation: Mean Group IKLH \rightarrow IPM

Dependent Variable: D(IPM)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Long-run (Pooled) Coefficients				
IKLH	0.076182	0.063091	1.207483	0.2279
C	88.39330	7.043895	12.54892	0.0000
Short-run (Mean-Group) Coefficients				
COINT				
EQ	-0.023746	0.000808	-29.38918	0.0000
Log-Likelihood:		66.52836		

Hasil ARDL–ECM menunjukkan perbedaan mendasar dalam pengaruh jangka panjang dan jangka pendek antarvariabel. Arah hubungan IKLH → IPM, menunjukkan bahwa IKLH secara statistik tidak memiliki pengaruh jangka panjang yang signifikan terhadap IPM yang tercermin dari hasil Probabilitas 0.2279 (> 0.05). Meskipun demikian, koefisien COINTEG yang negatif dan signifikan

mengonfirmasi adanya hubungan kointegrasi yang berarti terdapat keseimbangan jangka panjang.

Pengaruh Jangka Pendek D(IKLH): Koefisien D(IKLH) tidak muncul dalam hasil (*Selected Model* PMG (1,0)), yang berarti perubahan IKLH saat ini tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan IPM saat ini.

Tabel 3. Estimation: Mean Group IPM → IKLH

Dependent Variable: D(IKLH)				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
Long-run (Pooled) Coefficients				
IPM	1.170930	0.090716	12.90767	0.0000
C	-9.407959	6.401743	-1.469593	0.1424
Short-run (Mean-Group) Coefficients				
COINTEQ	-0.534160	0.049061	-10.88775	0.0000
D(IPM)	-2.699125	1.082291	-2.493899	0.0130
Log-Likelihood:	-1290.064			

Hubungan positif signifikan dalam jangka panjang terdapat arag IPM→IKLH di mana koefisien IPM jangka panjang adalah 1.170930 dengan nilai Probabilitas 0.0000 (< 0.05). Koefisien COINTEQ mengonfirmasi adanya hubungan kointegrasi, sementara hasil D(IPM) mengonfirmasi hubungan jangka pendek.

Koefisien DIPM) adalah -2.699125 dengan Probabilitas 0.0130 (< 0.05) menunjukkan adanya pengaruh jangka pendek yang signifikan dan negatif dari perubahan IPM terhadap perubahan IKLH.

Analisis dilanjutkan dengan Uji Wald untuk memvalidasi secara statistik koefisien jangka panjang yang diestimasi. Uji Wald berfungsi sebagai uji hipotesis nol spesifik ($H_0: C(n)=0$) pada koefisien jangka panjang.

Tabel 4. Uji Wald

Keterangan	C (1)	C (1)
	IPM → IKLH	IKLH → IPM

Coefficient	1.170930	0.076182
Std. Error	0.090716	0.063091
t-statistic	12.90767	1.207483
F-statistic	166.6080	1.458016
p-value	0.0000	0.2279
Signifikansi	Signifikan	Tidak signifikan

Pada arah IPM→IKLH, Uji Wald menunjukkan Probabilitas 0.0000 (F-statistic: 166.6080), sehingga menolak Hipotesis Nol ($C(1)=0$). Hal ini membuktikan bahwa IPM memiliki pengaruh jangka panjang yang signifikan terhadap IKLH. Sebaliknya, pada arah IKLH→IPM, Uji Wald mengonfirmasi bahwa IKLH secara statistik tidak memiliki pengaruh jangka panjang yang signifikan terhadap IPM.

Uji Granger Causality

Uji Dumitrescu–Hurlin (DH) digunakan sebagai uji kausalitas panel homogenitas untuk memberikan gambaran awal hubungan dinamis

antarvariabel sebelum diperkuat melalui model ARDL–ECM. Uji ini dilakukan dengan lag 2, dan memberikan indikasi apakah perubahan dalam satu variabel

dapat menjelaskan perubahan variabel lainnya secara homogen di seluruh provinsi.

Tabel 5. Pairwise Dumitrescu Hurlin Panel Causality Tests

Null Hypothesis:			W-Stat.	Zbar-Stat.	Prob.
IKLH	does	not	4.74159	2.60777	0.0091
homogeneously cause D1_IPM					
D1_IPM	does	not	1.42492	-1.84688	0.0648
homogeneously cause IKLH					

Hasil DH menunjukkan bahwa terdapat kausalitas signifikan dari IKLH menuju perubahan IPM (D1_IPM) secara homogen, sedangkan arah sebaliknya tidak signifikan. Temuan menunjukkan pola yang sejalan dengan hasil jangka pendek pada model ARDL–ECM untuk arah IKLH → IPM. Namun, hasil DH bersifat pelengkap dan bukan dasar untuk kesimpulan utama, karena ARDL–ECM memiliki keunggulan dalam menangkap hubungan jangka panjang dan heterogenitas antarprovinsi.

Kausalitas Jangka Panjang: IPM mempengaruhi IKLH

Hasil utama penelitian ini menunjukkan adanya kausalitas satu arah yang sangat kuat dan positif dari Indeks Pembangunan Manusia (IPM) menuju Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) dalam jangka panjang. Koefisien IPM sebesar 1,170930 yang sangat signifikan (Prob. < 0,01) dan divalidasi oleh Uji Wald dengan Probabilitas 0.0000 (< 0.01) menegaskan bahwa peningkatan modal manusia dapat berpengaruh secara positif terhadap kualitas lingkungan di 33 provinsi.

Temuan ini selaras dengan studi global oleh Opoku et al. (2022) yang menunjukkan bahwa peningkatan IPM

secara positif berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan jejak ekologis dan emisi. Secara kontekstual, IPM yang tinggi meningkatkan kesadaran lingkungan, menuntut tata kelola yang efektif (Cavalheiro et al., 2025), dan memungkinkan investasi mitigasi perubahan iklim (Martí et al., 2022). Meskipun demikian, temuan ini memberikan kontras terhadap hasil Ramadhantie et al. (2021) di Indonesia yang menemukan IPM justru menurunkan IKLH karena isu kepadatan penduduk. Perbedaan ini dapat dijelaskan oleh model PMG yang berhasil mengisolasi efek agregat jangka panjang yang positif, sejalan dengan temuan Kusumadewi dan Kristanto (2023) yang juga melaporkan pengaruh positif IPM terhadap kualitas lingkungan.

Sebaliknya, koefisien IKLH jangka panjang terhadap IPM ditemukan tidak signifikan (Prob. 0,2279) dan dikonfirmasi oleh hasil uji Wald (Prob. 0,2279), meskipun mekanisme koreksi kesalahan (ECT) menunjukkan adanya kointegrasi. Hal ini mengindikasikan bahwa IKLH bukan penentu utama *level* keseimbangan IPM. IKLH tidak memengaruhi pembangunan manusia, yang sejalan dengan studi Samimi et al.

(2011) yang menemukan bahwa hubungan IKLH dan IPM pada negara berkembang seringkali tidak signifikan karena rendahnya investasi pada sektor sosial.

Kausalitas Jangka Pendek: Ketergantungan IPM pada Dinamika IKLH

Analisis kausalitas jangka pendek menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari IPM terhadap IKLH, namun dengan arah yang negatif. Koefisien perubahan IPM ($D(IPM)$) terhadap perubahan IKLH ($D(IKLH)$) adalah signifikan (Prob. 0.0130). Temuan ini mendukung hasil Ramadhantie et al. (2021) yang menemukan peningkatan IPM justru menurunkan IKLH di Indonesia, serta sejalan dengan identifikasi Maccari (2014) mengenai kurva berbentuk U dan temuan Xu et al. (2024) bahwa negara ber-HDI menengah menunjukkan coupling yang kuat antara pembangunan dan degradasi lingkungan.

Sementara itu, kausalitas jangka pendek dari IKLH \rightarrow IPM ditemukan tidak signifikan (koefisien $D(IKLH)$ tidak disertakan dalam model PMG(1,0) yang terpilih). Hasil ini tidak sejalan dengan studi Nurhasan dan Afifah (2023) dan Al-Maadid et al. (2025) yang mengindikasikan bahwa perubahan cepat dalam kondisi lingkungan memiliki dampak langsung dan segera terhadap IPM. Sedangkan Samimi et al. (2011) menyebut bahwa hubungan antara Kinerja Lingkungan dan Pembangunan Manusia seringkali tidak signifikan pada konteks negara berkembang.

PENUTUP

Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis hubungan kausalitas dinamis antara Indeks Pembangunan Manusia (IPM)

dan Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) di 33 provinsi di Indonesia menggunakan model *Pooled Mean Group* (PMG) ARDL/ECM. Hasil pengujian menunjukkan adanya kausalitas satu arah yang dominan.

Kausalitas satu arah yang sangat kuat dan positif ditemukan dari IPM \rightarrow IKLH. Koefisien IPM sebesar 1.170930 dan sangat signifikan (Prob. 0.0000) menegaskan bahwa pembangunan manusia merupakan penentu struktural utama bagi peningkatan IKLH dalam jangka panjang. Sebaliknya, IKLH tidak signifikan dalam menentukan level IPM dalam jangka panjang (Prob. 0.2279). Terdapat mekanisme penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang yang cepat pada arah IPM \rightarrow IKLH ($ECT = -0,534160$), namun sangat lambat pada arah IKLH \rightarrow IPM ($ECT = -0,023746$).

Hubungan jangka pendek ditemukan kausalitas satu arah yang signifikan dan negatif dari IPM \rightarrow IKLH. Koefisien $D(IPM)$ signifikan (Prob. 0.0130) menyiratkan bahwa perubahan IPM yang cepat menimbulkan dampak tekanan lingkungan yang segera. Kausalitas jangka pendek dari IKLH \rightarrow IPM ditemukan tidak signifikan (koefisien $D(IKLH)$ tidak termasuk dalam model yang terpilih).

Investasi pada IPM (pendidikan dan kesehatan) adalah strategi jangka panjang yang paling efektif untuk mendorong perbaikan IKLH (dukungan Opoku et al., 2022). Pemerintah perlu mengoptimalkan anggaran IPM sebagai strategi jangka panjang utama untuk mendorong perbaikan IKLH, juga memberlakukan regulasi lingkungan yang ketat untuk mencegah dampak negatif dari percepatan pembangunan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variabel lain yang berpotensi memengaruhi hubungan antara IPM dan IKLH, seperti

pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, atau belanja lingkungan, sehingga dinamika kausalitas dapat dijelaskan lebih komprehensif. Selain itu, analisis dapat diperluas dengan menelaah perbedaan karakteristik antarprovinsi secara lebih mendalam, baik melalui pendekatan spasial maupun pengelompokan wilayah, untuk menangkap heterogenitas dan *spillover effect* yang mungkin terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmed, N., Sheikh, A. A., Hamid, Z., Senkus, P., Borda, R. C., Wysokińska-Senkus, A., & Glabiszewski, W. (2022). Exploring the causal relationship among green taxes, energy intensity, and energy consumption in Nordic countries: Dumitrescu and Hurlin causality approach. *Energies*, 15(15), 5199. <https://doi.org/10.3390/en15145199>
- [2] Ai, H., Guan, M., Feng, W., & Li, K. (2021). Influence of classified coal consumption on PM2.5 pollution: Analysis based on the panel cointegration and error-correction model. *Energy*, 215, 119108. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119108>
- [3] Al-Maadid, A., Ben Ali, M. S., & Si Mohammed, K. (2025). The effect of climate risk on the human development index using the panel time-varying interactive fixed effects. *Environmental and Sustainability Indicators*, 27, 100757. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100757>
- [4] Arsyad, Lincolin. (2022). *Ekonomi pembangunan lanjutan* (Edisi ke-2). Tangerang Selatan: Universitas Terbuka.
- [5] Assa, J. (2021). Less is more: The implicit sustainability content of the human development index. *Ecological Economics*, 185, 107045. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107045>
- [6] Badan Pusat Statistik. (2020). *Indeks pembangunan manusia 2020*. Direktorat Analisis dan Pengembangan Statistik.
- [7] Badan Pusat Statistik. (2024). *Berita resmi statistik: Indeks Pembangunan Manusia (IPM) Tahun 2024* (BRS No. 85/11/Th.XXVII, 15 November 2024). Badan Pusat Statistik.
- [8] Cavalheiro, E. A., Oliveira, I. R., Leandro, D., & Kontz, L. B. (2025). Governance, development, and environment: Pathways to a sustainable future. *Sustainable Futures*, 10, 100813. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2025.100813>
- [9] Chen, R., Kang, J.-L., Wang, J.-G., Yao, Y., Liu, L.-L., & Xie, Z.-T. (2025). Granger causality analysis using error correction model for root cause diagnosis in non-stationary industrial processes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 175, 106288. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2025.106288>
- [10] Dahal, S., Gaspar, R., & Schellekens, P. (2024). *Update of the 2024 Asia-Pacific Regional Human Development Report* (March 13, 2024). United Nations Development Programme (UNDP), Bangkok Regional Hub.
- [11] Dey, S., Ray, J., & Majumder, R. (2024). Spatial inequality in sub-national human development index: A case study of West Bengal districts. *Sustainable Futures*, 8, 100330.

- <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2024.100330>
- [12] Jiang, M., Behrens, P., Lyu, L., Tang, Z., Chen, D., Cao, Y., Gong, P., Zhou, W., Yang, Y., Tukker, A., Hertwich, E., & Zhu, B. (2023). Additional north-south differences in China revealed by the Planetary Pressure-Adjusted Human Development Index. *Resources, Conservation & Recycling*, 198, 107191. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107191>
- [13] Kusumadewi, Dzikrina Almas, & Kristanto, Bimo Yudo. (2023). Analysis of factors affecting the Environmental Quality Index (EQI) and its implications for sustainable development. *Journal of Sustainability, Society, and Eco-Welfare (JSSEW)*, 2(2), 124–140. ISSN 3025-1524.
- [14] Lian, X., Fu, Z., & Chen, J. (2023). Analysis of spatial differences in global regional human development index under planetary pressure and decomposition study of driving factors. *Journal of Environmental Management*, 348, 119292. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119292>
- [15] Maccari, Norma. (2014). Environmental sustainability and human development: A greening of human development index. SSRN. <https://ssrn.com/abstract=2426073> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2426073>
- [16] Mandal, S. K., & Madheswaran, S. (2010). Causality between energy consumption and output growth in the Indian cement industry: An application of the panel vector error correction model (VECM). *Energy Policy*, 38(11), 6560–6565. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.07.042>
- [17] Martí, L., Cervelló-Royo, R., & Puertas, R. (2022). Analysis of the nexus between country risk, environmental policies, and human development. *Energy Research & Social Science*, 92, 102767. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2022.102767>
- [18] Nurhasan, Hadhori, & Afifah, Dian Annisa. (2023). The relationship between environmental quality and human development: Study in Malang City. *Pangripta Jurnal Ilmiah Kajian Perencanaan Pembangunan*, 7(1), 78–86. <https://jurnalpangripta3.malangkota.go.id/pangripta>
- [19] Opoku, Eric Evans Osei, Dogah, Kingsley E., & Aluko, Olufemi Adewale. (2022). The contribution of human development towards environmental sustainability. *Energy Economics*, 106, 105782. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2021.105782>
- [20] Ouedraogo, N. S. (2013). Energy consumption and human development: Evidence from a panel cointegration and error correction model. *Energy*, 63, 28–41. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.09.067>
- [21] Phillips, Jason. (2023). Determining sustainability using the Environmental Performance Index and Human Development Index – An alternative approach to the Environmental Human Index through a holistic quantitative dynamic framework. *Science of the Total Environment*, 884, 163752. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163752>

- [22] Proskuryakova, L. (2022). The interaction of environmental systems and human development in a time of wild cards: A big data enhanced foresight study. *Journal of Environmental Management*, 316, 115169. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115169>
- [23] Ramadhantie, S. S., Ramadhan, M. J., & Hasibuan, M. A. (2021). Pengaruh indeks pembangunan manusia terhadap indeks kualitas lingkungan hidup di Indonesia menggunakan regresi data panel. *Ekologia: Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup*, 21(1), 35–43. <https://journal.unpak.ac.id/index.php/ekologia>
- [24] Samimi, Ahmad Jafari, Kashefi, Alireza, Salatin, Parvaneh, & Lashkarizadeh, Maryam. (2011). Environmental performance and HDI: Evidence from countries around the world. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 10(3), 294–301.
- [25] Suryanto, S., Gravitiani, E., Diswandi, D., & Arintoko, A. (2023). The impact of electricity consumption to human development index in Asian countries: Analysis panel vector error correction model. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(2), 240–246.
- [26] Xu, H., Gao, Y., Wang, C., Guo, Z., Liu, W., & Zhang, D. (2024). Exploring the nexuses between carbon dioxide emissions, material footprints and human development: An empirical study of 151 countries. *Ecological Indicators*, 166, 112229. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112229>
- [27] Yazd, Sahar Daghigh, Alakoç, Nilüfer Pekin, & Oroszlányová, Melinda. (2025). Exploring the influence of high-technology and environmental factors on human development index: A longitudinal investigation. *Cogent Social Sciences*, 11(1), 2473642. <https://doi.org/10.1080/23311886.2025.2473642>
- [28] Zhang, Yixin, & Wu, Zhijie. (2022). Environmental performance and human development for sustainability: Towards a new Environmental Human Index. *Science of the Total Environment*, 838, 156491. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156491>