

DETERMINANTS OF ECOLOGICAL FOOTPRINT IN INDONESIA: AN ARDL APPROACH

ANALISIS DETERMINAN JEJAK EKOLOGI DI INDONESIA: PENDEKATAN ARDL

Selviana Diah Utami^{1*}, Dwi Rahmayani²

Universitas Negeri Semarang^{1,2}

selviana281003@student.unnes.ac.id^{1*}, dwirahmayani@mail.unnes.ac.id²

ABSTRACT

Increasing environmental pressures as a result of economic growth and urbanization in Indonesia suggest the need to evaluate the direction of sustainable development. This study examines the relationship between economic growth, urbanization, renewable energy consumption, and foreign investment on ecological footprint, considering the validity of the Environmental Kuznets Curve (EKC) and pollution haven hypotheses. EKC theory and quantitative approach are used in this study. The analysis uses Indonesian time series data from 1991-2022 with the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) regression method. The estimation results show that GDP per capita can significantly increase the ecological footprint in the short and long term, while GDP per capita squared shows an inverted U-shaped curve, thus EKC is proven in Indonesia. Urbanization also increases ecological footprint significantly, while renewable energy consumption decreases ecological footprint significantly. FDI has a positive effect and is not statistically significant, so the pollution haven hypothesis is proven. These findings imply the importance of policies that lead to strengthening the green economy, clean energy transition, and sustainable urban governance. The government needs to align development strategies with ecological principles to reduce long-term environmental impacts.

Keywords: ARDL, Ecological Footprint, Environmental Kuznets Curve, Renewable Energy, Sustainable Development.

ABSTRAK

Tekanan lingkungan meningkat sebagai akibat dari pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi di Indonesia menunjukkan perlunya evaluasi terhadap arah pembangunan berkelanjutan. Penelitian ini mengkaji hubungan antara pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, konsumsi energi terbarukan, dan penanaman modal asing terhadap jejak ekologi, dengan mempertimbangkan validitas hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) dan *pollution haven*. Teori EKC dan pendekatan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini. Analisis menggunakan data *time series* Indonesia tahun 1991–2022 dengan metode regresi *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). Hasil estimasi menunjukkan bahwa PDB per kapita secara signifikan dapat meningkatkan jejak ekologi dalam jangka pendek dan panjang, sementara PDB per kapita kuadrat menunjukkan kurva berbentuk U terbalik, sehingga EKC terbukti di Indonesia. Urbanisasi juga meningkatkan jejak ekologi secara signifikan, sedangkan konsumsi energi terbarukan menurunkan jejak ekologi secara signifikan. PMA berpengaruh positif dan tidak signifikan secara statistik, sehingga hipotesis *pollution haven* terbukti. Temuan ini mengimplikasikan pentingnya kebijakan yang mengarah pada penguatan ekonomi hijau, transisi energi bersih, serta tata kelola urban yang berkelanjutan. Pemerintah perlu menyesuaikan strategi pembangunan dengan prinsip ekologi untuk menekan dampak lingkungan jangka panjang.

Kata Kunci: ARDL, Energi terbarukan, Environmental Kuznets Curve, Jejak Ekologi, Pembangunan Berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Konsumsi sumber daya alam terus meningkat seiring pesatnya pertumbuhan penduduk dan ekonomi telah memperburuk tekanan terhadap ekosistem global. Ketidakseimbangan antara konsumsi sumber daya dan kemampuan alam memperbaiki diri

menyebabkan lebih dari 85% populasi dunia hidup dalam kondisi defisit ekologi, yaitu situasi ketika permintaan ekologis melampaui biokapasitas lingkungan (GFN, 2018). Biokapasitas lingkungan merupakan kemampuan ekosistem untuk menghasilkan sumber daya alam yang dapat diperbarui serta

menyerap limbah yang dihasilkan oleh aktivitas manusia. Fenomena ini memicu berbagai krisis ekologis seperti perubahan iklim, kerusakan hutan, degradasi lahan, dan kehilangan keanekaragaman hayati.

Indonesia tidak luput dari persoalan lingkungan. Pada Gambar 1 sejak tahun 1995, Indonesia mengalami defisit ekologi yang ditandai dengan peningkatan jejak ekologis yang melampaui kapasitas daya dukung lingkungan (biokapasitas). Kondisi ini menunjukkan bahwa aktivitas manusia di Indonesia telah melebihi batas kemampuan alam untuk menyediakan sumber daya dan menyerap limbah secara berkelanjutan.

Di sisi lain, peningkatan Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita terus menunjukkan tren naik sejak enam dekade terakhir. Fenomena ini mencerminkan adanya keterkaitan antara pertumbuhan ekonomi dan peningkatan tekanan terhadap lingkungan. Pertumbuhan ekonomi memang penting untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, namun apabila tidak diiringi dengan pengelolaan yang berkelanjutan, justru dapat memperburuk degradasi lingkungan.

Tekanan terhadap lingkungan juga diperparah oleh beberapa faktor lain, seperti urbanisasi yang masif, ketergantungan pada energi fosil, serta meningkatnya arus penanaman modal asing (PMA). Urbanisasi menyebabkan peningkatan kebutuhan lahan dan energi, sementara energi fosil masih menjadi sumber utama yang mencemari lingkungan. Sementara itu, PMA yang masuk tanpa regulasi ketat terhadap dampak lingkungannya turut memperbesar ancaman terhadap kelestarian ekosistem.

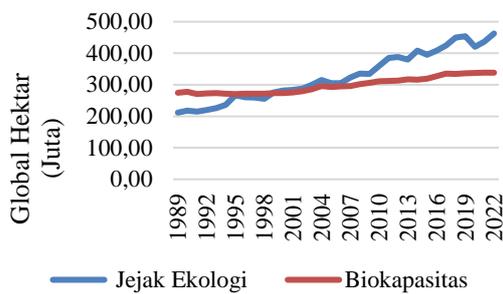
Environmental Kuznets Curve (EKC) menjadi teori utama yang

digunakan untuk meneliti hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan. Hipotesis EKC menyatakan bahwa degradasi lingkungan akan meningkat pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, namun menurun setelah pendapatan per kapita melewati titik ambang tertentu (*turning point*), hal ini terjadi seiring meningkatnya kesadaran ekologis dan adopsi teknologi bersih (Wang, 2021). Selain itu, *pollution haven hypothesis* menyatakan bahwa negara berkembang, termasuk Indonesia, berpotensi menjadi lokasi relokasi industri yang berpolusi tinggi dari negara maju, terutama ketika regulasi lingkungan longgar dan insentif investasi tinggi (Destek & Okumus, 2019).

Hipotesis EKC sudah banyak terbukti secara empiris di berbagai penelitian terdahulu Ahmed et al., 2020 dan Danish et al., 2020, namun penelitian terdahulu masih memiliki keterbatasan. Hipotesis ini menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, degradasi lingkungan akan meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, namun setelah mencapai titik tertentu, pertumbuhan ekonomi justru akan menurunkan degradasi lingkungan. Temuan ini memberikan kerangka dalam memahami hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan.

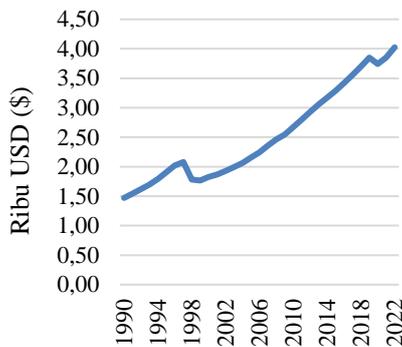
Hipotesis EKC sudah banyak terbukti secara empiris di berbagai penelitian terdahulu Ahmed et al., 2020 dan Danish et al., 2020, namun penelitian terdahulu masih memiliki keterbatasan. Hipotesis ini menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, degradasi lingkungan akan meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, namun setelah mencapai titik tertentu, pertumbuhan ekonomi justru akan menurunkan degradasi lingkungan. Temuan ini memberikan kerangka dalam

memahami hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan.



Gambar 1. Tren Jejak Ekologi dan Biokapasitas di Indonesia Tahun 1989 – 2022

Sumber: Global Footprint Network, 2025



Gambar 2. Pertumbuhan PDB per Kapita Indonesia Tahun 1990 – 2022

Sumber: World Bank, 2025

Namun demikian, studi-studi sebelumnya masih menghadapi sejumlah keterbatasan, terutama dalam studi kasus Indonesia. Sebagian besar penelitian menggunakan emisi karbon sebagai indikator utama degradasi lingkungan. Padahal, emisi karbon hanya mencerminkan satu aspek dari kerusakan ekologis, yaitu polusi udara akibat pembakaran bahan bakar fosil. Pendekatan ini cenderung menyederhanakan kompleksitas persoalan lingkungan.

Di sisi lain, jejak ekologi (*ecological footprint*) merupakan indikator yang lebih komprehensif

karena tidak hanya memperhitungkan emisi karbon, tetapi juga mencakup penggunaan lahan, air, energi, serta kapasitas biosfer dalam menyerap limbah dan menyediakan sumber daya alam. Oleh karena itu, penggunaan jejak ekologi sebagai indikator kualitas lingkungan dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh terhadap tekanan manusia terhadap lingkungan.

Penelitian terdahulu di Indonesia juga umumnya memisahkan antara pengujian hipotesis EKC dan teori *pollution haven*. Padahal, kedua kerangka teori tersebut dapat saling melengkapi untuk menjelaskan dinamika hubungan antara pembangunan ekonomi, penanaman modal asing, dan kerusakan lingkungan. Keterkaitan kedua pendekatan ini dalam satu analisis masih sangat jarang dilakukan, sehingga membuka ruang bagi penelitian baru yang lebih komprehensif.

Selain itu, variabel-variabel lain seperti urbanisasi dan konsumsi energi terbarukan masih belum banyak dikaji secara simultan bersama dengan PDB per kapita dan PMA dalam hubungannya dengan jejak ekologi. Urbanisasi yang pesat serta transisi energi dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap beban lingkungan suatu negara. Keterbatasan dalam mengintegrasikan variabel-variabel ini menjadi salah satu celah penelitian yang perlu diisi.

Dengan mempertimbangkan celah tersebut, penelitian ini menyajikan kebaruan pendekatan yang lebih komprehensif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara simultan pengaruh PDB per kapita, urbanisasi, konsumsi energi terbarukan, dan PMA terhadap jejak ekologi di Indonesia, sekaligus menguji validitas hipotesis EKC dan *pollution haven* dalam satu kerangka analisis terpadu. Pendekatan ini diharapkan mampu menangkap

kompleksitas hubungan antara pembangunan ekonomi dan lingkungan secara lebih akurat.

Untuk mendukung analisis hubungan jangka pendek dan jangka panjang antar variabel, penelitian ini menggunakan model *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) dengan cakupan data tahunan selama periode 1991–2022. Dengan menggunakan metode ini, hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis terhadap literatur lingkungan dan pembangunan, serta memberikan dasar empiris yang kuat bagi perumusan kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

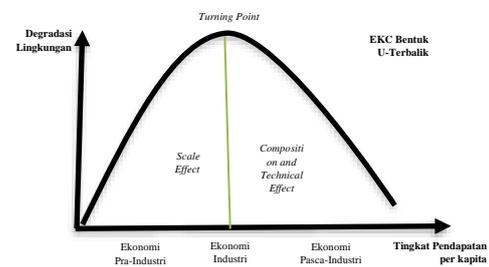
TINJAUAN PUSTAKA

Environmental Kuznets Curve (EKC)

Environmental Kuznets Curve (EKC) muncul dari perdebatan mengenai dampak pertumbuhan ekonomi terhadap kerusakan lingkungan sejak 1970-an, berawal dari pandangan pesimis Club of Rome dalam "*Limits to Growth*" yang menyarankan pertumbuhan ekonomi nol untuk mencegah kerusakan lingkungan akibat keterbatasan sumber daya (Meadows et al., 1972). Pandangan ini mendapatkan kritik, salah satunya oleh Malenbaum, (1978) yang menemukan bahwa saat pendapatan masyarakat meningkat, konsumsi sumber daya tidak mengalami peningkatan secara signifikan di negara-negara yang berpenghasilan tinggi, hal ini menandakan adanya hubungan yang lebih kompleks mengenai dampak pertumbuhan ekonomi terhadap degradasi lingkungan.

Grossman & Krueger, (1991) kemudian mengembangkan konsep EKC, yang menyatakan bahwa degradasi lingkungan meningkat pada tahap awal pembangunan ekonomi, namun menurun setelah mencapai titik balik (*turning point*), hal ini terjadi karena seiring

meningkatnya pendapatan dan kesadaran lingkungan masyarakat. Konsep ini menyerupai kurva Kuznets yang berbentuk U terbalik dalam menjelaskan ketimpangan pendapatan (Kuznet, 1955). Menurut Mekhzoumi et al., (2022), EKC banyak digunakan dalam literatur ekonomi lingkungan untuk menganalisis hubungan pendapatan dan degradasi lingkungan, yang bersifat dinamis karena dipengaruhi oleh perubahan struktural, kebijakan, dan penggunaan teknologi bersih (Dinda, 2004).



Gambar 3. *Environmental Kuznets Curve (EKC)*

Sumber: Grossman & Krueger, (1991)
Menurut Grossman & Krueger, (1991) pertumbuhan ekonomi mempengaruhi kualitas lingkungan melalui tiga tahapan yaitu, *scale effect*, *composition effect*, dan *technical effect*. Tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahapan *Scale Effect*

Pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, ketika sistem ekonomi mencapai tingkat teknologi tertentu, terjadi peningkatan input yang digunakan untuk menghasilkan output, hal ini menyebabkan peningkatan degradasi lingkungan. Efek ini terutama berkaitan dengan peningkatan kebutuhan energi dalam fungsi produksi, mengakibatkan penggunaan sumber-sumber fosil yang lebih besar. Oleh karena itu, kualitas lingkungan menurun sebagai akibat dari *scale effect* (Torras & Boyce, 1998).

2. Tahapan *Composition Effect*

Composition Effect merujuk pada perubahan dalam struktur ekonomi yang terjadi seiring dengan pertumbuhan ekonomi, di mana negara-negara berkembang beralih dari model produksi yang mencemari lingkungan ke model yang lebih berkelanjutan. Proses ini mencakup transisi dari sektor industri yang padat energi dan sumber daya menuju sektor jasa yang lebih bersih, dan akhirnya menuju ekonomi berbasis pengetahuan yang mengandalkan teknologi tinggi. Dalam konteks ini, sektor-sektor yang lebih maju cenderung menggunakan metode produksi yang lebih efisien dalam hal energi dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil. Perubahan ini secara langsung berkontribusi pada peningkatan kualitas lingkungan, karena kegiatan ekonomi yang lebih ramah lingkungan mulai mendominasi, mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem.

3. Tahapan *Technical Effect*

Pada tahap ini negara maju mengalokasikan lebih banyak sumber daya untuk penelitian dan pengembangan. Fisher-Vanden et al., (2004) menemukan bukti bahwa anggaran publik untuk penelitian dan pengembangan energi dapat membantu mengurangi intensitas energi (konsumsi per unit produk domestik bruto), dan juga mengurangi emisi gas rumah kaca. Negara-negara maju memperbaiki kualitas lingkungan mereka dengan menggantikan teknologi lama yang kotor dan tidak efisien menjadi teknologi yang efisien dan bersih (Copeland & Taylor, 2004).

Dalam melakukan studi keberadaan hipotesis EKC, para peneliti telah menggunakan model multivariat untuk mengatasi bias variabel yang dihilangkan dan menggabungkan beberapa variabel bebas, selain

pendapatan. Penggunaan variabel tambahan yang relevan dapat memberikan dampak pada hubungan pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan (Pata & Caglar, 2021). Konsumsi energi terbarukan sering ditambahkan dalam penelitian hipotesis EKC. Sebagian besar penelitian menemukan pengaruh negatif dan signifikan konsumsi energi terbarukan terhadap jejak ekologi (Aziz et al., 2020; Danish et al., 2020; Ullah et al., 2021; Abbasi et al., 2023;).

Urbanisasi dan penanaman modal asing (PMA) juga dapat ditambahkan sebagai variabel bebas yang dapat mempengaruhi degradasi lingkungan. Hal ini sesuai dengan penelitian (Nathaniel & Khan, 2020; Salman et al., 2022; Chishti, 2023; Liu et al., 2022). Dalam penelitian tersebut menyatakan bahwa urbanisasi berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan jejak ekologi. PMA juga memiliki keterkaitan serupa yaitu, meningkatkan jejak ekologi. Hal ini sejalan dengan hipotesis *pollution haven* yang menyatakan bahwa perusahaan cenderung memindahkan kegiatan produksinya ke negara-negara berkembang dan memiliki regulasi lingkungan yang lebih longgar, akibatnya degradasi lingkungan mengalami peningkatan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi time series untuk menganalisis pengaruh berbagai faktor terhadap jejak ekologi di Indonesia selama periode 1991–2022. Adapun variabel yang dianalisis meliputi Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita, kuadrat dari PDB per kapita (untuk menguji hipotesis Environmental Kuznets Curve/EKC), urbanisasi, konsumsi energi terbarukan, dan Penanaman Modal Asing (PMA). Penelitian ini bertujuan untuk menguji

bagaimana faktor-faktor tersebut memengaruhi tekanan ekologis yang ditimbulkan oleh aktivitas manusia di tingkat nasional.

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari sumber resmi dan terpercaya, yaitu Global Footprint Network dan World Bank. Kedua sumber ini dipilih karena menyediakan data yang relevan, komprehensif, dan telah digunakan secara luas dalam berbagai penelitian lingkungan dan pembangunan berkelanjutan. Dengan cakupan data selama lebih dari tiga dekade, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih mendalam dan akurat mengenai dinamika hubungan antara pembangunan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan.

Dalam mengolah data, penelitian ini menggunakan metode regresi *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) dengan bantuan *software Eviews 12*. Metode ARDL dipilih karena memiliki keunggulan dalam menangani data time series yang memiliki tingkat kestasioneran berbeda, baik yang stasioner pada level maupun pada first difference (Pesaran & Shin, 1995). Keunggulan lainnya yaitu kemampuannya dalam menghasilkan estimasi yang tidak bias serta mendeteksi hubungan jangka pendek dan jangka panjang secara simultan, bahkan dalam jumlah observasi yang terbatas.

Penggunaan model ARDL juga memungkinkan peneliti untuk membedakan secara jelas antara efek jangka pendek dan jangka panjang dari masing-masing variabel independen terhadap jejak ekologi. Hal ini sangat penting dalam konteks kebijakan, karena memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan perspektif waktu yang lebih tepat. Selain itu, metode ini juga meminimalkan risiko terjadinya regresi

palsu, yang seringkali menjadi permasalahan utama dalam analisis data time series.

Sebagai tambahan, dalam model ARDL yang digunakan, beberapa variabel diubah ke dalam bentuk logaritma, yaitu variabel jejak ekologi (JE), PDB per kapita (PDBK), dan PDB per kapita kuadrat (PDBK²). Transformasi logaritma ini bertujuan untuk menyederhanakan skala data serta mengurangi heteroskedastisitas, sehingga interpretasi koefisien regresi menjadi lebih mudah dan robust. Variabel urbanisasi, konsumsi energi terbarukan, dan PMA tidak dilakukan transformasi logaritma karena data awal sudah dalam satuan persen. Dengan demikian, model ARDL dirumuskan dalam jangka pendek dan panjang, agar dapat menggambarkan hubungan yang lebih representatif antara pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, energi terbarukan, PMA, dan jejak ekologi di Indonesia

Model persamaan jangka pendek :

$$\Delta \ln JE_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_{1i} \Delta \ln JE_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_{2i} \Delta \ln PDBK_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_{3i} \Delta \ln PDBK_{t-1}^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_{4i} \Delta \text{URBAN}_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_{5i} \Delta \text{KET}_{t-1} + \sum_{i=1}^n \alpha_{6i} \Delta \text{PMA}_{t-1} + \alpha \text{ECT}_{t-1} + e_t$$

Model persamaan jangka panjang :

$$\Delta \ln JE_t = \theta_0 + \theta_1 \ln JE_{t-1} + \theta_2 \ln PDBK_{t-1} + \theta_3 \ln PDBK_{t-1}^2 + \theta_4 \text{URBAN}_{t-1} + \theta_5 \text{KET}_{t-1} + \theta_6 \text{PMA}_{t-1} + e_t$$

Dengan Δ adalah *lag*, \ln merupakan logaritma natural, $\alpha_{1i} - \alpha_{6i}$ sebagai koefisien jangka pendek, $\theta_1 - \theta_6$ sebagai koefisien jangka panjang dan *Error Correction Term* (ECT_{t-1}) mewakili besarnya penyesuaian ketidakseimbangan yang terjadi dalam jangka pendek. Selanjutnya, JE adalah jejak ekologi yang mempresentasikan degradasi lingkungan, PDBK merupakan PDB per kapita, PDBK² merupakan PDB per kapita kuadrat, URBAN adalah presentase dari populasi yang mempresentasikan urbanisasi, kemudian KET adalah presentase dari

total konsumsi akhir yang mempresentasikan konsumsi energi terbarukan, dan PMA adalah presentase dari PDB yang mempresentasikan penanaman modal asing.

Tahapan analisis meliputi uji stasioneritas, uji kointegrasi, penentuan lag optimum, estimasi model dengan transformasi logaritma, serta sejumlah uji asumsi klasik seperti normalitas, autokorelasi, heterokedastisitas, dan multikolinearitas untuk menjamin validitas model. Uji stabilitas model juga dilakukan guna memastikan konsistensi hasil sepanjang waktu, selanjutnya diikuti dengan pengujian koefisien determinasi dan signifikansi untuk menilai kekuatan serta kelayakan model dalam menjelaskan variabel yang diteliti.

HASIL DAN PEMBAHASANAN PENELITIAN

Hasil statistik deskriptif Tabel 1 menunjukkan bahwa rata-rata jejak ekologi (JE) sebesar 19,60 gha dengan

standar deviasi 0,23. Hal ini menandakan bahwa nilai JE relatif kecil dan homogen. PDB per kapita (PDBK) memiliki rata-rata sebesar 7,80 (dalam satuan log USD) dengan penyebaran yang juga rendah, mengindikasikan distribusi yang tidak terlalu menyebar. Urbanisasi (URBAN) memiliki rata-rata 46,38% dengan standar deviasi 7,82%, menunjukkan adanya variasi moderat tingkat urbanisasi Indonesia. Konsumsi energi terbarukan (KET) menunjukkan rata-rata sebesar 38,44% dengan standar deviasi sebesar 11,68%, mencerminkan adanya fluktuasi yang cukup besar. Sementara itu, penanaman modal asing (PMA) memiliki nilai rata-rata 1,30% dan standar deviasi cukup tinggi sebesar 1,36% dengan nilai minimum -2,76%, menunjukkan bahwa beberapa tahun lalu negara mengalami arus keluar PMA. Interpretasi ini memberikan gambaran awal terhadap kecenderungan dan keragaman data yang akan digunakan dalam analisis regresi.

Tabel 1. Hasil Statistik Deskriptif

Variabel	Satuan	Observasi	Mean	Std.Dev	Min	Max
JE	gha	32	19,59795	0,231153	19,18696	19,95208
PDBK	USD (\$)	32	7,800952	0,299664	7,342779	8,300260
URBAN	Persen	32	46,37500	7,819537	32,00000	58,00000
KET	Persen	32	38,44063	11,67500	19,80000	58,40000
PMA	Persen	32	1,295313	1,358878	-2,760000	2,920000

Sumber: Data diolah, 2025

Uji Stasioneritas

Hasil uji stasioneritas dengan metode *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) yang disajikan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa variabel tidak stasioner pada tingkat level (I(0)) karena nilai probabilitasnya di atas 5% ($\alpha=0,05$), namun setelah diuji pada *first difference* (I(1)), semua variabel menjadi stasioner dengan nilai probabilitas di bawah 5%. Dari enam variabel yang diuji, lima variabel yaitu LNJE, LNPDBK, LNPDBK², KET, dan PMA

stasioner pada *first difference*, sedangkan variabel URBAN sudah stasioner sejak level dan tetap stasioner pada *first difference*. Dengan demikian, seluruh variabel merupakan integrasi orde nol dan satu, sehingga model *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) layak digunakan dalam penelitian ini. Sesuai Kurniawan et al. (2023), pengujian stasioneritas pada *second difference* tidak dianjurkan karena berpotensi menghasilkan regresi palsu (*spurious regression*).

Tabel 2. Uji Stasioneritas

No.	Variabel	Stasioneritas	Prob.	Keterangan
1	LNJE	First difference	0,0001	Stasioner I(1)
2	LNPDBK	First difference	0,0030	Stasioner I(1)
3	LNPDBK ²	First difference	0,0000	Stasioner I(1)
4	URBAN	Level	0,0137	Stasioner I(0)
5	KET	First difference	0,0000	Stasioner I(1)
6	PMA	First difference	0,0002	Stasioner I(1)

Sumber: Data diolah, 2025

Uji Kointegrasi Bound dan Lag Optimum

Berdasarkan hasil pemilihan *lag* optimum menggunakan *Akaike Information Criterion* (AIC), model ARDL(3,3,3,3,1,2) teridentifikasi sebagai spesifikasi yang paling sesuai untuk analisis. Selanjutnya, hasil uji kointegrasi melalui metode Bound

Testing seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3, diperoleh nilai F-statistic sebesar 14,94107. Nilai ini lebih besar dari nilai *upper bound* pada semua tingkat signifikansi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan kointegrasi jangka panjang antara variabel-variabel yang diteliti dalam model.

Tabel 3. Uji Kointegrasi Bound dan Lag Optimum

Lag Optimum	ARDL(3,3,3,3,1,2)		
F-statistic	14,94107		
	Signif,	I(0)	I(1)
	1,0%	3,06	4,15
	2,5%	2,70	3,73
	5,0%	2,39	3,38
	10,0%	2,08	3,00

Sumber: Data diolah, 2025

Hasil Estimasi Jangka Pendek dan Jangka Panjang

Hasil estimasi jangka pendek pada Tabel 4 dengan model ARDL (3,3,3,3,1,2) dan variabel dependen LNJE menunjukkan bahwa beberapa variabel independen berpengaruh signifikan terhadap jejak ekologi (JE) Indonesia pada tingkat signifikansi 5%. Jejak ekologi pada *lag* 1 dan 2 berpengaruh negatif signifikan pada tingkat 1%, mengindikasikan efek korektif jangka pendek di mana peningkatan JE sebelumnya cenderung diikuti penurunan pada periode berjalan. PDB per kapita pada *lag* 3 memberikan pengaruh positif signifikan, menunjukkan kenaikan 1% pertumbuhan ekonomi tiga periode lalu

dapat mendorong kenaikan JE saat ini sebesar 0,460197%. Selanjutnya, urbanisasi pada *lag* 2 dan 3 juga berpengaruh positif signifikan, menunjukkan kenaikan 1% urbanisasi pada 2 dan 3 periode lalu mendorong kenaikan JE sebesar 0,038685% dan 0,061343%.

Variabel konsumsi energi terbarukan pada periode berjalan dan *lag* 1 memiliki koefisien negatif signifikan, menunjukkan kenaikan 1% konsumsi energi terbarukan pada saat ini dan 1 periode lalu dapat mengurangi JE sebesar -0,019829% dan -0,011566%. Sedangkan Penanaman Modal Asing (PMA) berpengaruh positif, namun secara statistik tidak signifikan. Hasil koefisien ECT(-1) secara statistik memiliki nilai negatif signifikan

sehingga memvalidasi kointegrasi antar variabel. Hal ini menyimpulkan bahwa perubahan jejak ekologi terkoreksi sebesar 3,389711% setiap tahun dalam jangka panjang. Koefisien yang tinggi tersebut menunjukkan kembalinya keseimbangan jangka pendek yang lebih cepat.

Berdasarkan hasil uji jangka panjang model ARDL, ditemukan bahwa PDB per kapita (PDBK), tingkat urbanisasi (URBAN), dan konsumsi energi terbarukan (KET) memiliki pengaruh signifikan terhadap jejak ekologi (JE) dengan tingkat signifikansi 5%. PDBK berpengaruh positif signifikan, di mana kenaikan 1% meningkatkan JE sebesar 0,366782%, menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi meningkatkan tekanan lingkungan. Sebaliknya, PDB per kapita kuadrat (PDBK²) berpengaruh negatif dan secara statistik tidak signifikan, sehingga hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) terbukti keberadaannya di Indonesia dalam jangka panjang. Selanjutnya, urbanisasi

juga berpengaruh positif signifikan, dengan kenaikan 1% URBAN menaikkan JE sebesar 0,035349%, mencerminkan peningkatan urbanisasi mampu mempercepat degradasi lingkungan.

Variabel konsumsi energi terbarukan (KET) berpengaruh negatif signifikan, dimana kenaikan 1% KET dapat menurunkan JE sebesar -0,009262%, hal ini menandakan pergeseran ke energi bersih dapat mengurangi tekanan lingkungan. Sementara itu, penanaman modal asing (PMA) memiliki pengaruh positif dan tidak signifikan secara statistik, sehingga hipotesis *pollution haven* terbukti keberadaannya di Indonesia dalam jangka panjang. Hasil uji spesifikasi nilai probabilitas F-statistic 0,005971% signifikan. Hal ini menunjukkan semua variabel independen berpengaruh terhadap variabel dependen secara bersama-sama. Selanjutnya, nilai *R-squared* sebesar 0,954336, yang berarti 95,43% variasi JE dijelaskan oleh variabel independen.

Tabel 4. Hasil Estimasi ARDL

Jangka Pendek dan Jangka Panjang

Variabel Dependen: LNJE				
Variabel	Koefisien	Std, Error	t-Statistik	Probabilitas
Estimasi Jangka Pendek				
D(LNJE(-1))	-1,061818	0,169785	-6,253902	0,0004
D(LNJE(-2))	-0,820006	0,149516	-5,484406	0,0009
D(LNJE(-3))	-0,507887	0,282838	-1,795684	0,1156
D(LNPDBK)	0,135944	0,259718	0,523430	0,6168
D(LNPDBK(-1))	0,377932	0,196934	1,919082	0,0965
D(LNPDBK(-2))	0,269212	0,188973	1,424603	0,1973
D(LNPDBK(-3))	0,460197	0,174602	2,635690	0,0336
D(LNPDBK ²)	0,001187	0,014846	0,079930	0,9385
D(LNPDBK ² (-1))	-0,035362	0,018541	-1,907188	0,0982
D(LNPDBK ² (-2))	0,016140	0,016375	0,985636	0,3571
D(LNPDBK ² (-3))	-0,029794	0,016548	-1,800390	0,1148
D(URBAN)	0,007867	0,012991	0,605578	0,5639
D(URBAN(-1))	0,011927	0,010258	1,162677	0,2831
D(URBAN(-2))	0,038685	0,012550	3,082378	0,0178
D(URBAN(-3))	0,061343	0,019318	3,175405	0,0156

D(KET)	-0,019829	0,003486	-5,687638	0,0007
D(KET(-1))	-0,011566	0,003679	-3,144012	0,0163
D(PMA)	0,013608	0,009838	1,383287	0,2091
D(PMA(-1))	0,001508	0,005787	0,260535	0,8019
D(PMA(-2))	-0,011037	0,005407	-2,041122	0,0806
ECT(-1)	-3,389711	0,243220	-13,93678	0,0000
C	-0,093884	0,027694	-3,390036	0,0116
Estimasi Jangka Panjang				
D(LNPDBK)	0,366782	0,098497	3,723800	0,0074
D(LNPDBK ²)	-0,014110	0,012875	-1,095892	0,3094
D(URBAN)	0,035349	0,007326	4,825087	0,0019
D(KET)	-0,009262	0,001655	-5,597095	0,0008
D(PMA)	0,001203	0,003550	0,338955	0,7446
C	-0,027697	0,008552	-3,238575	0,0143
R-squared	0,954336	F-statistic	7,314623	
Adjusted R-squared	0,823866	Prob(F-statistic)	0,005971	

Sumber: Data diolah, 2025

Uji Asumsi Klasik

Berdasarkan Tabel 5. hasil uji normalitas menunjukkan bahwa variabel dalam model yang dianalisis berdistribusi normal yang dinyatakan dalam nilai probabilitas sebesar $0,087097 > \alpha 5\%$ atau $0,05$. Uji autokorelasi menunjukkan nilai probabilitas Chi-Square sebesar $0,0671 > \alpha 5\%$ atau $0,05$, sehingga dapat

disimpulkan bahwa tidak terdapat masalah autokorelasi dalam model. Selanjutnya, uji heterokedastisitas menunjukkan nilai probabilitas Chi-Square sebesar $0,6485 > \alpha 5\%$ atau $0,05$. Hal ini berarti tidak terdapat masalah heteroskedastisitas. Uji multikolinearitas menunjukkan nilai *Centered* VIF < 10 maka berarti tidak terdapat multikolinearitas.

Tabel 5. Uji Asumsi Klasik

Uji Normalitas (Jarque-Bera)	
Jarque-Bera	Probabilitas
4,881466	0,087097
Uji Autokorelasi (Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test)	
Obs*R-squared	Prob, Chi-Square
5,403993	0,0671
Uji Heteroskedastisitas (Breusch-Pagan-Godfrey)	
Obs*R-squared	Prob, Chi-Square
17,06849	0,6485
Uji Multikolinearitas (Variance Inflation Factor)	
Variabel	VIF
D(LNJE(-3))	9,552758
D(LNPDBK)	9,249011
D(LNPDBK ²)	1,814908
D(KET)	2,505794
D(PMA)	9,670293

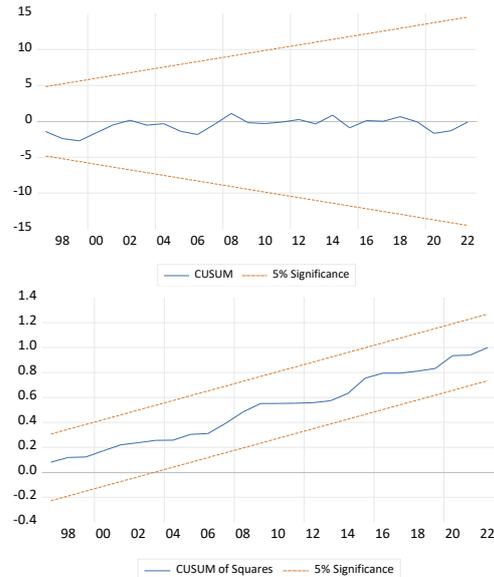
Sumber: Data diolah, 2025

Uji Stabilitas

Uji stabilitas menggunakan *Cusum Test* (CUSUM) dan *Cusum of Square Test* (CUSUMQ) yang didasarkan terhadap jumlah kumulatif dari residu rekursif di analisis pertama. Apabila plot statistik CUSUM dan CUSUMQ berada pada taraf signifikansi 5% (tidak keluar dari garis signifikansi 5%) maka dapat disimpulkan bahwa model yang dibentuk stabil. Gambar 4 menunjukkan hasil uji stabilitas menggunakan CUSUM dan CUSUMQ, dapat dilihat bahwa kurva garis berwarna biru tidak melewati garis signifikansi 5% sehingga dapat disimpulkan bahwa model yang dibentuk dalam penelitian ini stabil.

Pembahasan

Hasil temuan penelitian ini PDB per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap jejak ekologi, baik dalam jangka pendek dan panjang. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Danish et al., 2020; Nathaniel & Khan, 2020; dan Ahmad et al., 2021). Temuan ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan ekonomi di Indonesia cenderung memberikan tekanan terhadap lingkungan. Peningkatan PDB per kapita mencerminkan peningkatan aktivitas konsumsi dan produksi sehingga berdampak langsung terhadap eksploitasi energi, lahan, dan sumber daya alam lainnya. Secara teoritis, hasil ini memperkuat argumen bahwa pertumbuhan ekonomi yang terjadi di negara berkembang seperti Indonesia masih berada dalam fase *scale effect*, di mana peningkatan output ekonomi menghasilkan peningkatan penggunaan sumber daya alam dan degradasi lingkungan. Hal ini menandakan bahwa transformasi menuju *technique effect* yakni fase di mana pertumbuhan ekonomi diiringi oleh penggunaan teknologi yang lebih bersih dan efisien



Gambar 4. CUSUM dan CUSUMQ

Sumber: Data diolah, 2025

belum tercapai secara signifikan.

Sejalan dengan hal ini, variabel PDB per kapita kuadrat berpengaruh negatif dan tidak signifikan secara statistik, sehingga hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) terbukti keberadaannya di Indonesia dalam panjang. Menurut hipotesis EKC, terdapat hubungan berbentuk kurva U-terbalik antara pendapatan dan degradasi lingkungan, di mana pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, degradasi lingkungan meningkat, namun setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu (*turning point*), tekanan terhadap lingkungan mulai menurun karena adanya investasi dalam teknologi bersih, kebijakan lingkungan yang ketat, dan pergeseran ke sektor jasa. Temuan ini mengindikasikan bahwa Indonesia sedang berada dalam fase transisi menuju titik balik tersebut, di mana pertumbuhan ekonomi perlahan mulai mendorong upaya-upaya keberlanjutan lingkungan. Meskipun pengaruhnya belum signifikan secara statistik, arah hubungan negatif dari variabel kuadrat PDB per kapita memberikan arah positif bahwa pembangunan ekonomi jangka panjang berpotensi memperbaiki kondisi

lingkungan apabila didukung dengan kebijakan yang tepat.

Sama seperti PDB per kapita, urbanisasi juga berpengaruh positif signifikan dalam jangka pendek dan panjang. Peningkatan urbanisasi berarti lebih banyak sumber daya energi yang dikonsumsi, sehingga meningkatkan degradasi lingkungan. Banyak penelitian yang mendukung temuan ini (Sarwar et al., 2024; Ullah et al., 2021 dan Cui et al., 2022). Temuan tersebut menyatakan bahwa peningkatan jejak ekologi dan penurunan biokapasitas terjadi karena tingginya tingkat urbanisasi di negara berkembang. Berbeda dengan hasil konsumsi energi terbarukan, variabel ini memiliki pengaruh negatif signifikan yang konsisten baik jangka pendek maupun panjang. Hasil temuan ini mengkonfirmasi penelitian Danish et al., 2020 dan Salman et al., 2022 bahwa perubahan besar dalam kualitas konsumsi energi dengan membuat inovasi seperti sumber energi terbarukan harus dilakukan untuk mengurangi jejak ekologi, sehingga tercapai tujuan keberlanjutan lingkungan. Penelitian ini selaras dengan Silvia et al., (2021) yang memvalidasi hipotesis EKC di Negara ASEAN.

Penanaman modal asing (PMA) berpengaruh positif dan tidak signifikan secara statistik baik dalam jangka pendek maupun panjang, sehingga hipotesis *pollution haven* terbukti keberadaannya di Indonesia. Meskipun hasilnya tidak signifikan, arah hubungan yang positif menunjukkan bahwa peningkatan PMA cenderung disertai dengan peningkatan jejak ekologi, yang mengindikasikan bahwa aktivitas penanaman modal asing berpotensi membawa dampak lingkungan yang negatif. Hal ini sejalan dengan hipotesis *pollution haven* yang menyatakan bahwa negara berkembang seperti Indonesia cenderung menjadi tujuan relokasi

industri yang mencemari lingkungan dari negara maju karena regulasi lingkungan yang lebih longgar. Dengan demikian, meskipun secara statistik belum cukup kuat, temuan ini tetap relevan sebagai indikasi awal bahwa masuknya PMA perlu dikaji ulang dari sisi keberlanjutan lingkungan, dan penting bagi pemerintah untuk memperketat standar lingkungan dalam setiap kebijakan investasi asing agar tidak menjadi beban ekologis jangka panjang.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil estimasi data time series ARDL, penelitian ini menyimpulkan bahwa PDB per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap jejak ekologi dalam jangka pendek dan panjang. Variabel PDB per kapita kuadrat berpengaruh negatif, namun tidak signifikan secara statistik sehingga menunjukkan bahwa hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) terbukti keberadaannya di Indonesia dalam jangka panjang. Urbanisasi berpengaruh positif signifikan dalam jangka pendek dan jangka panjang. Selanjutnya, konsumsi energi terbarukan memberikan pengaruh negatif signifikan yang konsisten. Penanaman Modal Asing (PMA) berpengaruh positif dan tidak signifikan secara statistik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, sehingga hipotesis *pollution haven* terbukti keberadaannya di Indonesia.

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa implikasi kebijakan yang disarankan guna mengurangi tekanan lingkungan di Indonesia. Pertama, pemerintah disarankan untuk mengurangi subsidi terhadap energi fosil dan mengalihkan subsidi tersebut ke sektor energi terbarukan. Upaya ini dapat mempercepat transisi menuju penggunaan energi yang lebih bersih dan

berkelanjutan. Selain itu, urbanisasi yang tidak terkendali kerap dipicu oleh ketimpangan dalam indikator pembangunan, seperti pendapatan rumah tangga, pembangunan infrastruktur, dan ketersediaan fasilitas dasar. Oleh karena itu, diperlukan pemerataan pembangunan melalui peningkatan penyediaan infrastruktur dan fasilitas dasar di seluruh wilayah serta kebijakan yang mendorong distribusi pendapatan yang lebih adil.

Untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya konsumsi energi terbarukan, dapat dilakukan kampanye nasional yang menyoroti manfaat dan urgensi transisi energi. Edukasi publik ini penting agar perubahan perilaku dapat terjadi secara menyeluruh dan berkelanjutan. Di sisi lain, pembuat kebijakan juga perlu memperketat persyaratan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL), meningkatkan pengawasan terhadap aktivitas operasional perusahaan, serta memberikan insentif bagi investor yang menerapkan teknologi ramah lingkungan. Dengan kombinasi kebijakan yang bersifat insentif dan regulatif, diharapkan tekanan terhadap lingkungan dapat ditekan secara signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, M. A., Nosheen, M., & Rahman, H. U. (2023). An approach to the pollution haven and pollution halo hypotheses in Asian countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(17), 49270–49289. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25548-x>
- Ahmad, M., Jiang, P., Murshed, M., Shehzad, K., Akram, R., Cui, L., & Khan, Z. (2021). Modelling the dynamic linkages between eco-innovation, urbanization, economic growth and ecological footprints for G7 countries: Does financial globalization matter? *Sustainable Cities and Society*, 70(October 2020), 102881. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102881>
- Ahmed, Z., Zafar, M. W., Ali, S., & Danish. (2020). Linking urbanization, human capital, and the ecological footprint in G7 countries: An empirical analysis. *Sustainable Cities and Society*, 55(November 2019), 102064. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102064>
- Aziz, N., Sharif, A., Raza, A., & Rong, K. (2020). Revisiting the role of forestry, agriculture, and renewable energy in testing environment Kuznets curve in Pakistan: evidence from Quantile ARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research International*, 27(9), 10115–10128. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07798-1>
- Chishti, M. Z. (2023). Exploring the dynamic link between FDI, remittances, and ecological footprint in Pakistan: Evidence from partial and multiple wavelet based-analysis. *Research in Globalization*, 6(December 2022), 100109. <https://doi.org/10.1016/j.resglo.2022.100109>
- Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2004). Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic Literature*, 42(1), 7–71.
- Cui, L., Weng, S., Nadeem, A. M., Rafique, M. Z., & Shahzad, U. (2022). Exploring the role of renewable energy, urbanization and structural change for environmental sustainability:

- Comparative analysis for practical implications. *Renewable Energy*, 184, 215–224. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.11.075>
- Danish, Ulucak, R., & Khan, S. U. D. (2020). Determinants of the ecological footprint: Role of renewable energy, natural resources, and urbanization. *Sustainable Cities and Society*, 54(October 2019), 101996. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101996>
- Destek, M. A., & Okumus, I. (2019). Does pollution haven hypothesis hold in newly industrialized countries? Evidence from ecological footprint. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(23), 23689–23695. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05614-z>
- Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey. *Ecological Economics*, 49(4), 431–455. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.02.011>
- Fisher-Vanden, K., Jefferson, G. H., Liu, H., & Tao, Q. (2004). What is driving China's decline in energy intensity? *Resource and Energy Economics*, 26(1), 77–97.
- GFN. (2018). *Global Footprint Network*. <https://www.footprintnetwork.org/resources/data/>
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental impacts of a North American free trade agreement*. 3914.
- Kurniawan, M. L. A., Khasanah, U., & Baharudin, S. 'Aisyah. (2023). Determinant of Property Price Through The Monetary Variables: An ARDL Approach. *Jurnal Ekonomi Pembangunan: Kajian Masalah Ekonomi Dan Pembangunan*, 24(1), 12–23. <https://doi.org/10.23917/jep.v24i1.20588>
- Kuznet, S. (1955). *ECONOMIC GROWTH AND INCOME INEQUALITY*.
- Liu, Y., Sadiq, F., Ali, W., & Kumail, T. (2022). Does tourism development, energy consumption, trade openness and economic growth matters for ecological footprint: Testing the Environmental Kuznets Curve and pollution haven hypothesis for Pakistan. *Energy*, 245, 123208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123208>
- Malenbaum. (1978). *World Demand for Raw Materials in 1985 and 2000*.
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Ill, W. W. B. (1972). Limits to growth. In *Universe Books*. <https://doi.org/10.4337/9781788974912.L.27>
- Mekhzoumi, L., Nadjoua, H., Ayachi, A., & Abdellaoui, O. (2022). The Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Industrialized Countries: A Second Generation Econometric Approach. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 12, 96–103. <https://doi.org/10.32479/ijefi.12771>
- Nathaniel, S., & Khan, S. A. R. (2020). The nexus between urbanization, renewable energy, trade, and ecological footprint in ASEAN countries. *Journal of Cleaner Production*, 272, 122709. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122709>
- Pata, U. K., & Caglar, A. E. (2021). Investigating the EKC hypothesis with renewable energy

- consumption, human capital, globalization and trade openness for China: Evidence from augmented ARDL approach with a structural break. *Energy*, 216, 119220.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119220>
- Pesaran, H., & Shin, Y. (1995). An Autoregressive Distributed Lag Modeling Approach to Co-integration Analysis. *Econometric Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium*, 31.
<https://doi.org/10.1017/CCOL0521633230.011>
- Salman, M., Zha, D., & Wang, G. (2022). Interplay between urbanization and ecological footprints: Differential roles of indigenous and foreign innovations in ASEAN-4. *Environmental Science and Policy*, 127(September 2021), 161–180.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.016>
- Sarwar, N., Bibi, F. un N., Junaid, A., & Alvi, S. (2024). Impact of urbanization and human development on ecological footprints in OECD and non-OECD countries. *Heliyon*, 10(19), e38058.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38058>
- Silvia, M., Astuti, W., & Rahmayani, D. (2021). Analisis Pengaruh FDI dan Pertumbuhan Ekonomi terhadap Degradasi Lingkungan di Negara ASEAN Dengan Pendapatan Menengah. *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Ekonomi Universitas Tidar 2021 “Geliat Investasi Dalam Pusaran Pandemi: Membaca Celah Pemulihan Ekonomi Nasional Di Era New Normal,”* September, 25–32.
- Torras, M., & Boyce, J. K. (1998). Income, inequality, and pollution: a reassessment of the environmental Kuznets curve. *Ecological Economics*, 25(2), 147–160.
- Ullah, A., Ahmed, M., Raza, S. A., & Ali, S. (2021). A threshold approach to sustainable development: Nonlinear relationship between renewable energy consumption, natural resource rent, and ecological footprint. *Journal of Environmental Management*, 295(May), 113073.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113073>
- Wang, X. (2021). Determinants of ecological and carbon footprints to assess the framework of environmental sustainability in BRICS countries: A panel ARDL and causality estimation model. *Environmental Research*, 197, 111111.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111111>