Jurnal Ekonomi Pertanian Unimal
*E-ISSN: 2614-4565*
*URL:http://ojs.unimal.ac.id/index.php/pertanian*

# DETERMINAN MAKROEKONOMI EMISI KARBON SEKTOR PERTANIAN DI INDONESIA: BUKTI EMPIRIS DARI MODEL ARDL

Cut Putri Mellita Sari[1*], Noviami Trisniartri[2], Fanny Nailufar[3]
[1,2,3]Prodi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe, 25434, Indonesia

*Corresponding Author: cutputri.mellita@unimal.ac.id

***ABSTRACT***

*The agricultural sector plays an important role in Indonesia's economy; however, its production activities also contribute to carbon emissions through the use of energy, synthetic fertilizers, and natural resource-based inputs. This study aims to analyze the effects of economic growth, inflation, and exchange rates on agricultural carbon emissions in Indonesia and to examine whether economic growth has achieved decoupling from environmental pressure. The novelty of this study lies in its focus on analyzing the macroeconomic determinants of agricultural carbon emissions in Indonesia using the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) approach, which remains limited in previous literature. Using annual data for the period 1990–2024, the results indicate the existence of a long-run relationship among the variables. Economic growth and exchange rates have a positive and significant effect on carbon emissions, while inflation is statistically insignificant. These findings suggest that Indonesia's economic growth still follows a resource-intensive development pattern, highlighting the need for low-carbon agricultural transformation through green technologies and improved efficiency in production inputs.*

***Keywords:*** *agricultural carbon emissions; economic growth; inflation; exchange rate; ARDL*

**ABSTRAK**

Sektor pertanian memiliki peran penting dalam perekonomian Indonesia, namun aktivitas produksinya turut berkontribusi terhadap emisi karbon melalui penggunaan energi, pupuk sintetis, dan input berbasis sumber daya alam. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar terhadap emisi karbon sektor pertanian Indonesia serta menguji apakah pertumbuhan ekonomi telah mengalami *decoupling* dari tekanan lingkungan. Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus analisis determinan makroekonomi emisi karbon sektor pertanian Indonesia menggunakan pendekatan *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL), yang masih terbatas dalam literatur sebelumnya. Dengan menggunakan data tahunan periode 1990–2024, hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan jangka panjang antarvariabel. Pertumbuhan ekonomi dan nilai tukar berpengaruh positif signifikan terhadap emisi karbon, sedangkan inflasi tidak signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia masih mengikuti pola intensif sumber daya, sehingga diperlukan transformasi pertanian rendah karbon melalui teknologi hijau dan efisiensi penggunaan input produksi.

**Kata kunci:** emisi karbon pertanian; pertumbuhan ekonomi; inflasi; nilai tukar; ARDL

## 1. Pendahuluan

Perubahan iklim menjadi tantangan utama pembangunan global karena berdampak pada ketahanan pangan, keberlanjutan lingkungan, dan stabilitas ekonomi. Peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK), terutama $CO_2$, $CH_4$, dan $N_2O$, memicu kenaikan suhu global, perubahan pola curah hujan, serta meningkatnya kejadian iklim ekstrem. Dalam konteks ini, sektor pertanian memiliki peran ganda sebagai penyedia pangan sekaligus penyumbang emisi melalui budidaya tanaman, peternakan, penggunaan pupuk nitrogen, pengelolaan lahan, dan aktivitas produksi lainnya. Emisi tersebut mempercepat perubahan iklim sekaligus mengancam produktivitas pertanian melalui degradasi lahan dan meningkatnya risiko produksi. Oleh karena itu, pengurangan emisi sektor pertanian menjadi bagian penting dalam pencapaian *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya Tujuan 2 *(Zero Hunger)* dan Tujuan 13 *(Climate Action)* (Farah et al., 2025; Gao et al., 2022; Tang et al., 2021; Sokal & Kachel, 2025).

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

Secara global, sektor pertanian menyumbang sekitar 10–12% emisi antropogenik, sementara peningkatan kebutuhan pangan, intensifikasi pertanian, penggunaan pupuk sintetis, ekspansi lahan, dan konsumsi energi semakin memperbesar tekanan lingkungan. Berbagai inovasi, seperti *climate smart agriculture*, pertanian presisi, efisiensi pemupukan, dan praktik pertanian rendah karbon, terbukti mampu menekan emisi tanpa mengurangi produktivitas, sehingga kebijakan makroekonomi menjadi faktor penting dalam mendukung transformasi menuju pertanian berkelanjutan (Gerke, 2025; Guo et al., 2022; Kamyab et al., 2024; Nurmasyahyati et al., 2024).

Indonesia sebagai negara agraris menghadapi tantangan pada peningkatan produksi pangan sekaligus mengendalikan emisi GRK sektor pertanian. Emisi $CO_2e$ sektor pertanian meningkat dari sekitar 3,12 $MtCO_2e$ pada 1990 menjadi 4,78 $MtCO_2e$ pada 2024, terutama berasal dari budidaya padi, peternakan, penggunaan pupuk nitrogen, dan perubahan penggunaan lahan. Walaupun lebih rendah dibandingkan puncaknya pada 2018, (*Indicator Carbon Dioxide* (CO2) *Emissions from Agriculture* (Mt CO2e) World Bank Data360 n.d.). Tingkat emisi tersebut menunjukkan perlunya transformasi menuju sistem pertanian rendah karbon melalui peningkatan efisiensi produksi dan pengurangan intensitas emisi sesuai komitmen *Nationally Determined Contribution* (NDC) dan SDGs. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa peningkatan emisi tidak hanya dipengaruhi praktik budidaya, tetapi juga dinamika makroekonomi. Pertumbuhan ekonomi meningkatkan permintaan pangan dan intensifikasi produksi, inflasi memengaruhi biaya serta penggunaan input, sedangkan nilai tukar memengaruhi harga pupuk, pestisida, mesin pertanian, dan perdagangan komoditas. Selain itu, efisiensi pemupukan, pengelolaan air sawah, dan teknologi rendah karbon dinilai efektif menurunkan emisi tanpa mengurangi produktivitas (Audya Nurul Fathia et al., 2024; Ngadisih et al., 2024).

Hubungan antara faktor makroekonomi dan emisi pertanian telah banyak dikaji, namun hasilnya masih beragam. Pertumbuhan ekonomi umumnya meningkatkan emisi melalui intensifikasi produksi, penggunaan pupuk, mekanisasi, dan konsumsi energi (Nguyen et al., 2021). Inflasi memengaruhi emisi melalui perubahan harga pupuk, energi, dan input pertanian, sedangkan nilai tukar memengaruhi biaya input impor sekaligus daya saing ekspor komoditas pertanian. Secara teoritis, hubungan pertumbuhan ekonomi dan emisi dijelaskan oleh *Environmental Kuznets Curve* (EKC) yang menyatakan bahwa emisi meningkat pada tahap awal pembangunan, kemudian menurun setelah tercapai tingkat pendapatan tertentu melalui kemajuan teknologi, efisiensi produksi, dan kebijakan lingkungan (Ginting et al., 2023). Namun, berbagai studi menunjukkan bahwa pola tersebut tidak selalu berlaku karena dipengaruhi oleh tingkat pembangunan, struktur ekonomi, kualitas institusi, dan teknologi. Oleh sebab itu, hubungan tersebut perlu diuji secara empiris menggunakan pendekatan yang mampu membedakan dinamika jangka pendek dan jangka panjang.

Pendekatan *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) yang dikembangkan oleh Pesaran, Shin, dan Smith (2001) sesuai digunakan karena mampu mengestimasi hubungan jangka panjang melalui Bounds testing dan mekanisme penyesuaian jangka pendek melalui *Error Correction Model* (ECM) pada variabel dengan integrasi campuran I(0) dan I(1). Meskipun demikian, penelitian terdahulu masih didominasi penggunaan emisi karbon agregat nasional atau fokus pada faktor teknis, seperti penggunaan pupuk, energi, perubahan penggunaan lahan, dan teknologi pertanian (Chataut et al., 2023; Han et al., 2024; Holka et al., 2022). Kajian yang secara simultan mengintegrasikan Produk Domestik Bruto (PDB), inflasi, dan nilai tukar sebagai determinan emisi karbon sektor pertanian masih relatif terbatas, khususnya di Indonesia. Selain itu, sebagian besar penelitian menggunakan pendekatan panel lintas negara atau analisis statis, sehingga bukti empiris berbasis ARDL untuk Indonesia masih sedikit (Otim et al., 2023; Tubiello, 2025).

Penelitian ini menawarkan beberapa kontribusi yaitu (1) menggunakan *agricultural greenhouse gas emissions* ($CO_2e$) sebagai variabel dependen sehingga analisis berfokus pada emisi sektor pertanian; (2) mengintegrasikan pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar sebagai determinan makroekonomi dalam satu model; (3) memberikan bukti empiris spesifik Indonesia sehingga mampu menggambarkan karakteristik ekonomi dan pertanian nasional; (4) menganalisis pengaruh jangka pendek dan jangka panjang menggunakan ARDL.

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

Berdasarkan fenomena, teori, dan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar terhadap emisi karbon sektor pertanian Indonesia, menguji hubungan jangka panjang dan jangka pendek melalui ECM, serta merumuskan implikasi kebijakan bagi pembangunan pertanian rendah karbon dan berkelanjutan.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Emisi Sektor Pertanian dan Tekanan Terhadap Lingkungan

Sektor pertanian memiliki peran penting dalam penyediaan pangan dan pembangunan ekonomi, namun aktivitas pertanian juga menjadi salah satu sumber tekanan terhadap lingkungan melalui pelepasan Gas Rumah Kaca (GRK) (IPCC, 2023). Emisi sektor pertanian terutama berasal dari penggunaan pupuk sintetis, aktivitas peternakan, perubahan penggunaan lahan, serta konsumsi energi dalam proses produksi dan distribusi. Dalam konteks negara berkembang, peningkatan kebutuhan pangan dan ekspansi produksi pertanian sering kali berjalan bersamaan dengan peningkatan tekanan ekologis karena proses intensifikasi masih banyak bergantung pada input berbasis energi dan bahan kimia (Tilman et al., 2002).

Perspektif *sustainable development* menjelaskan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi perlu mempertimbangkan batas daya dukung lingkungan agar pertumbuhan ekonomi tidak menghasilkan biaya eksternal yang lebih besar, (WCED, 1987). Konsep eksternalitas lingkungan yang dikemukakan oleh Pigou menjelaskan bahwa aktivitas produksi dapat menghasilkan biaya sosial ketika pelaku ekonomi tidak memperhitungkan dampak lingkungan dari kegiatan produksinya (Pigou, 1920). Oleh karena itu, peningkatan produksi pertanian perlu dianalisis tidak hanya dari aspek output ekonomi, tetapi juga dari konsekuensi lingkungan yang ditimbulkan.

Studi terbaru menunjukkan bahwa hubungan antara sektor pertanian dan perubahan iklim bersifat dua arah. Aktivitas pertanian berkontribusi terhadap peningkatan emisi, sementara perubahan iklim juga memberikan tekanan terhadap produktivitas pertanian melalui perubahan suhu, curah hujan, dan kejadian iklim ekstrem. Dalam konteks Indonesia, penelitian berbasis ARDL menunjukkan bahwa dinamika iklim dan aktivitas pertanian memiliki hubungan jangka pendek dan jangka panjang yang kompleks sehingga membutuhkan pendekatan analisis dinamis, (Sweileh, 2020).

### 2.2 Hubungan Pertumbuhan Ekonomi dan Emisi Sektor Pertanian

Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan banyak dijelaskan melalui kerangka *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Teori EKC menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, peningkatan pendapatan cenderung meningkatkan tekanan lingkungan akibat ekspansi industri, konsumsi energi, dan eksploitasi sumber daya alam. Namun, setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu, peningkatan ekonomi dapat mendorong penggunaan teknologi yang lebih bersih, efisiensi produksi, serta peningkatan kesadaran lingkungan sehingga tekanan ekologis dapat menurun. Pada sektor pertanian, hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi tidak selalu menunjukkan pola yang sama. Peningkatan GDP dapat meningkatkan emisi melalui mekanisme ekspansi produksi pertanian, penggunaan mesin pertanian, peningkatan penggunaan pupuk, dan perubahan pola konsumsi pangan. Namun, pertumbuhan ekonomi juga dapat memberikan peluang bagi penerapan teknologi pertanian rendah karbon melalui peningkatan investasi, inovasi, dan efisiensi penggunaan sumber daya, (Geng et al., 2024; Li et al., 2022).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa faktor ekonomi makro seperti GDP, penggunaan energi, perkembangan sektor pertanian, dan perubahan struktur ekonomi memiliki hubungan signifikan terhadap emisi karbon. Studi lintas negara menemukan bahwa GDP dan aktivitas ekonomi memiliki pengaruh terhadap dinamika emisi, baik dalam jangka pendek maupun jangka Panjang (Anjani et al., 2024; Claire & Widyawati, 2023; Febriyanto & Panjawa, 2024; Keorite & E, 2015; Khalimjonov, 2024; Nga et al., 2024; Orhan et al., 2021). Berdasarkan perspektif tersebut, penelitian ini mengasumsikan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi Indonesia dapat memberikan tekanan terhadap emisi pertanian apabila pertumbuhan masih bergantung pada

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

penggunaan sumber daya intensif karbon, sehingga dirumuskan hipotesis 1 ($H_1$): Pertumbuhan ekonomi berpengaruh signifikan terhadap emisi sektor pertanian di Indonesia

2.3 Inflasi dan Emisi Sektor Pertanian

Inflasi merupakan indikator penting dalam menggambarkan stabilitas ekonomi karena memengaruhi biaya produksi, harga input, serta keputusan ekonomi pelaku usaha. Dalam sektor pertanian, peningkatan inflasi dapat meningkatkan biaya produksi melalui kenaikan harga pupuk, energi, transportasi, dan input pertanian lainnya. Kenaikan harga input, khususnya pupuk, dapat mengubah keputusan petani dalam penggunaan input produksi karena biaya produksi menjadi lebih tinggi sehingga memengaruhi intensitas penggunaan faktor produksi (Brunelle et al., 2015). Ketika biaya input berubah, petani melakukan penyesuaian strategi produksi, baik melalui perubahan intensitas penggunaan pupuk, teknologi, maupun kombinasi faktor produksi lainnya, yang pada akhirnya dapat memengaruhi tingkat emisi dari aktivitas pertanian (McArthur & McCord, 2017). Dari perspektif ekonomi lingkungan, perubahan harga relatif dan tekanan biaya merupakan insentif ekonomi yang memengaruhi perilaku produsen dalam menentukan kombinasi input yang digunakan. Perubahan tersebut dapat berdampak pada tingkat tekanan lingkungan karena penggunaan input pertanian, terutama pupuk sintetis, merupakan salah satu sumber utama emisi gas rumah kaca di sektor pertanian (Uri, 1997).

Penelitian mengenai sektor pertanian Indonesia menunjukkan bahwa variabel makroekonomi seperti inflasi, nilai tukar, dan indikator ekonomi lainnya dapat memengaruhi dinamika sektor pertanian melalui perubahan biaya dan insentif ekonomi. Oleh sebab itu dirumuskan hipotesis 2 ($H_2$)**:** Inflasi berpengaruh signifikan terhadap emisi sektor pertanian di Indonesia.

2.4 Nilai Tukar dan Emisi Sektor Pertanian

Nilai tukar merupakan salah satu faktor makroekonomi yang dapat memengaruhi sektor pertanian melalui mekanisme perdagangan internasional dan biaya input produksi. Depresiasi nilai tukar domestik meningkatkan harga barang impor sehingga menyebabkan kenaikan biaya berbagai input produksi yang berasal dari luar negeri, termasuk pupuk, mesin pertanian, bahan bakar, dan teknologi pertanian (Arndt et al., 2008). Dalam konteks negara berkembang, perubahan nilai tukar dapat memengaruhi struktur biaya produksi pertanian karena ketergantungan terhadap input impor masih relatif tinggi (Yu et al., 2012). Kenaikan biaya input tersebut mendorong produsen melakukan penyesuaian strategi produksi melalui perubahan penggunaan faktor produksi dan tingkat intensifikasi usaha tani, yang pada akhirnya dapat memengaruhi tekanan lingkungan (Hertel & Baldos, 2016).

Selain itu, depresiasi nilai tukar dapat meningkatkan daya saing ekspor komoditas pertanian sehingga mendorong peningkatan produksi pada komoditas berorientasi ekspor. Ekspansi produksi tersebut berpotensi meningkatkan tekanan terhadap lingkungan melalui peningkatan penggunaan lahan, pupuk, dan input produksi lainnya(Pesaran et al., 2001). *Study* mengenai indikator ekonomi pertanian Indonesia menemukan bahwa nilai tukar termasuk variabel penting yang memengaruhi dinamika sektor pertanian dalam jangka panjang, menunjukkan bahwa faktor eksternal ekonomi memiliki peran terhadap perubahan kinerja sektor pertanian. Oleh sebab itu dirumuskan hipotesis 3 ($H_3$): Nilai tukar berpengaruh terhadap emisi sektor pertanian di Indonesia.

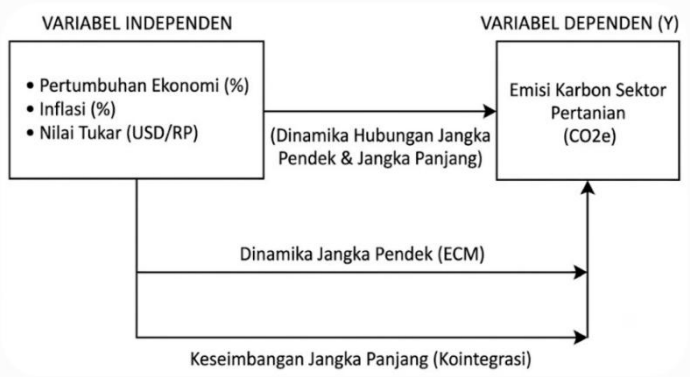
2.5 Kerangka Konseptual

Berdasarkan kajian teoritis sebelumnya, emisi karbon sektor pertanian dipandang sebagai hasil interaksi antara aktivitas ekonomi dan dinamika makroekonomi. Pertumbuhan ekonomi mencerminkan perubahan skala aktivitas produksi yang dapat meningkatkan kebutuhan terhadap energi, input pertanian, dan penggunaan sumber daya alam. Sementara itu, inflasi dan perubahan nilai tukar berperan melalui mekanisme harga yang memengaruhi biaya produksi, keputusan penggunaan input, serta orientasi produksi sektor pertanian.

Secara konseptual, penelitian ini membangun kerangka analisis yang menjelaskan bahwa perubahan pada indikator makroekonomi dapat memengaruhi tingkat emisi karbon sektor pertanian melalui pertumbuhan ekonomi, inflasi dan nilai tukar. Hubungan tersebut kemudian diuji secara empiris menggunakan pendekatan *Autoregressive Distributed Lag (ARDL)* untuk

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

mengidentifikasi hubungan jangka pendek (*short run dynamics*) dan keseimbangan jangka panjang (*long run equilibrium*) antara variabel makroekonomi dan emisi karbon sektor pertanian di Indonesia.




**Gambar 1**. Kerangka Konseptual

## 3. Metode, Data, dan Analisis

### 3.1 Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain penelitian eksplanatori untuk menganalisis pengaruh faktor-faktor makroekonomi terhadap emisi karbon sektor pertanian di Indonesia. Penelitian ini berfokus pada bagaimana perubahan pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar memengaruhi dinamika emisi karbon sektor pertanian dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

### 3.2 Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder berbentuk time series tahunan Indonesia selama periode 1990–2024, dengan total 35 observasi. Pemilihan periode penelitian didasarkan pada ketersediaan data historis yang memungkinkan analisis dinamika perubahan emisi karbon sektor pertanian serta faktor-faktor makroekonomi yang memengaruhinya.

Variabel dependen dalam penelitian ini adalah emisi karbon sektor pertanian *(agricultural carbon emissions* (AGCE)*)*, sedangkan variabel independen terdiri atas pertumbuhan ekonomi (EG), inflasi (INF), dan nilai tukar (EXR). Variabel nilai tukar ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma natural (LnEXR) untuk mengurangi skala data dan meningkatkan kestabilan varians, sedangkan variabel pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan emisi karbon sektor pertanian digunakan dalam bentuk aslinya. Setelah terbukti terdapat hubungan kointegrasi melalui Bounds *Test*, estimasi pengaruh jangka panjang dilakukan menggunakan koefisien *long-run*, sedangkan dinamika jangka pendek dianalisis melalui *Error Correction Model (ECM)* (Pesaran et al., 2001).

**Tabel 1. Definisi Operasional Variabel**

| Variabel | Simbol | Definisi Operasional | Satuan | Transformasi |
|---|---|---|---|---|
| Emisi Karbon Sektor Pertanian | AGCE | Emisi $CO_2$ dari aktivitas sektor pertanian | $MtCO_2e$ | Level |
| Pertumbuhan Ekonomi | EG | Laju Pertumbuhan Produk Domestik Bruto tahunan | Persen (%) | Level |
| Inflasi | INF | Perubahan Indeks harga konsumen tahunan | Persen (%) | Level |
| Nilai Tukar | EXR | Nilai Tukar Rupiah Terhadap dolar AS | Rupiah/USD | Ln |

Sumber data: World Bank, 2026

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

3.3 Analisis

Metode *Autoregressive Distributed Lag (ARDL)* yang diperkenalkan oleh Pesaran et al., (2001) digunakan sebagai pendekatan estimasi utama. Pemilihan metode *ARDL* didasarkan pada beberapa pertimbangan dimana metode ini dapat digunakan pada jumlah observasi yang relatif terbatas, sehingga sesuai dengan karakteristik data tahunan Indonesia selama periode 1990–2024 dan *ARDL* memungkinkan pengujian hubungan jangka panjang antarvariabel dengan kombinasi tingkat integrasi *I(0)* dan *I(1)*, selama tidak terdapat variabel yang terintegrasi pada tingkat I(2) serta pendekatan ini mampu mengestimasi hubungan dinamis antara variabel melalui efek jangka pendek dan keseimbangan jangka panjang.

Berdasarkan kerangka konseptual penelitian, hubungan antara emisi karbon sektor pertanian dan determinan makroekonomi dirumuskan sebagai berikut:

$$AGCE_t = f(EG_t, INF_t, LnEXR_t) \quad (1)$$

Model empiris dasar penelitian adalah:

$$\mathrm{A}GCE_t = \beta_0 + \beta_1 EG_t + \beta_2 INF_t + \beta_3 LnEXR_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Keterangan:

$AGCE_t$ :emisi karbon ektor pertanian pada periode $t$
$EG_t$ :pertumbuhan ekonomi (%)
$INF_t$ :inflasi (%)
$lnEXR_t$ :logaritma natural nilai tukar rupiah terhadap dolar AS
$\varepsilon_t$ :*error term.*

Selanjutnya, model ARDL dalam bentuk *Unrestricted Error Correction Model* (UECM) dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta AGCE_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \, \Delta \mathrm{A}GCE_{t-i} + \sum_{j=0}^{q_1} \beta_j \, \Delta EG_{t-j} + \sum_{k=0}^{q_2} \gamma_k \, \Delta INF_{t-k} + \sum_{l=0}^{q_3} \delta_l \, \Delta \mathrm{LnE}XR_{t-l} + \lambda_1 \mathrm{A}GCE_{t-1} + \lambda_2 EG_{t-1} + \lambda_3 INF_{t-1} + \lambda_4 \mathrm{LnE}XR_{t-1} + \varepsilon_t \quad (3)$$

3.3.1 Tahapan Analisis Data

1. Uji Stasioneritas
   Tahap awal dilakukan dengan pengujian akar unit menggunakan *Phillips-Perron (PP)*. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa seluruh variabel penelitian tidak memiliki tingkat integrasi *I(2)*, karena metode *ARDL* hanya valid untuk kombinasi variabel *I(0) dan I(1)*.
2. Penentuan *Lag* Optimal
   Panjang *lag* optimal ditentukan menggunakan *Akaike Information Criterion (AIC).* Model dengan *nilai AIC* minimum dipilih sebagai model ARDL terbaik.
3. Bounds *Testing for Cointegration*
   Pengujian kointegrasi dilakukan menggunakan pendekatan ARDL *Bounds Test* untuk mengetahui keberadaan hubungan jangka panjang antarvariabel.
4. Estimasi Jangka Pendek dan Jangka Panjang
   Apabila hubungan kointegrasi ditemukan, penelitian dilanjutkan dengan estimasi koefisien jangka panjang *ARDL* dan model *Error Correction Model (ECM)* untuk mengetahui dinamika jangka pendek. Koefisien ECT(-1) diharapkan bernilai negatif dan signifikan yang menunjukkan mekanisme penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang.
5. Uji Diagnostik dan Stabilitas Model
   Untuk memastikan validitas model, dilakukan beberapa pengujian: *Breusch Godfrey LM Test* (autokorelasi), *White Tes (*heteroskedastisitas), Jarque-Bera *Test* (normalitas residual) dan CUSUM dan CUSUMSQ Test (stabilitas parameter model).

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif digunakan untuk memberikan gambaran awal mengenai karakteristik setiap variabel penelitian sebelum dilakukan estimasi model *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). Analisis ini penting untuk mengidentifikasi kecenderungan nilai rata-rata, tingkat penyebaran data, serta bentuk distribusi masing-masing variabel sehingga dapat memberikan pemahaman awal mengenai perilaku data selama periode penelitian.

**Tabel 2. Statistik deskriptif variabel penelitian**

| | AGCE | EG | INF | LnEXR |
|---|---|---|---|---|
| *Mean* | 4.538857 | 4.723429 | 8.286857 | 8.935698 |
| *Median* | 4.590000 | 5.070000 | 6.390000 | 9.147042 |
| *Maximum* | 6.160000 | 8.220000 | 58.42000 | 9.671269 |
| *Minimum* | 3.040000 | -13.13000 | 1.580000 | 7.519047 |
| *Std. Dev.* | 0.999717 | 3.612432 | 9.509271 | 0.719872 |
| *Observations* | 35 | 35 | 35 | 35 |

Sumber: data diolah, eviews 12 (2026)

Tabel 2 menyajikan statistik deskriptif dari seluruh variabel penelitian berdasarkan 35 observasi selama periode 1990–2024. AGCE memiliki tingkat variasi yang relatif rendah, ditunjukkan oleh standar deviasi yang lebih kecil daripada nilai rata-ratanya. Sebaliknya, inflasi merupakan variabel dengan volatilitas tertinggi, sedangkan pertumbuhan ekonomi menunjukkan fluktuasi yang mencerminkan adanya fase ekspansi dan kontraksi ekonomi. Transformasi logaritma pada nilai tukar (LnEXR) menghasilkan penyebaran data yang lebih stabil, sehingga mendukung proses estimasi model ARDL.

### 4.2 Uji Stasionaritas

Berdasarkan Tabel 2, hasil uji *Phillips Perron* (PP) menunjukkan bahwa variabel pertumbuhan ekonomi (EG) dan inflasi (INF) telah stasioner pada tingkat level atau berintegrasi pada orde *I(0)*. Sementara itu, variabel emisi karbon sektor pertanian (AGCE) dan nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika Serikat (LnEXR) belum stasioner pada tingkat level, namun menjadi stasioner setelah diferensiasi pertama sehingga berintegrasi pada orde *I(1)*. Dengan demikian, seluruh variabel memiliki kombinasi orde integrasi *I(0)* dan I(1) serta tidak terdapat variabel yang terintegrasi pada orde *I(2)*. Oleh karena itu, metode *Autoregressive Distributed Lag (ARDL)* sesuai digunakan untuk menganalisis hubungan jangka pendek dan jangka panjang antar variabel penelitian.

**Tabel 3. Uji Stasioneritas**

| Variabel Penelitian | *Level (Prob)* | *First Difference (Prob)* | *Order of Integration* |
|---|---|---|---|
| Emisi Karbon Sektor Pertanian (AGCE) | 0.4633 | 0.0000 | I(1) |
| Pertumbuhan Ekonomi (EG) | 0.0130 | 0.0000 | I(0) |
| Inflasi (INF) | 0.0014 | 0.0000 | I(0) |
| Nilai Tukar RP/USD (LnEXR) | 0.6597 | 0.0001 | I(1) |

Sumber: data diolah, eviews 12 (2026)

### 4.3 Pemilihan *Lag* Optimum

Penentuan *lag* optimum merupakan tahapan penting dalam estimasi *Autoregressive Distributed Lag (ARDL)* karena panjang *lag* menentukan kemampuan model dalam menangkap dinamika hubungan antarvariabel dari waktu ke waktu. Pemilihan *lag* yang terlalu pendek berpotensi mengabaikan pengaruh dinamis sehingga menghasilkan spesifikasi model yang kurang tepat, sedangkan *lag* yang terlalu panjang dapat mengurangi derajat kebebasan dan meningkatkan risiko *overfitting*. Oleh karena itu, diperlukan pemilihan *lag* yang optimal agar model menghasilkan estimasi yang efisien dan memenuhi asumsi ekonometrika.

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

**Tabel 4. *Lag* Optimum**

| Kriteria | Hasil |
|---|---|
| Kriteria Pemilihan | Akaike Information Criterion (AIC) |
| Model Terpilih | ARDL (3,4,4,0) |
| Alasan Pemilihan | Memiliki nilai AIC terendah di antara model yang dievaluasi |

Sumber: Hasil olahan data menggunakan Evieiws 12 (2026)

Berdasarkan tabel 4, proses seleksi menghasilkan 20 model terbaik berdasarkan nilai *Akaike Information Criterion (AIC)*. Model ARDL(3,4,4,0) dipilih sebagai model optimum karena memiliki nilai *AIC* paling rendah dibandingkan model alternatif lainnya. Dalam pendekatan *AIC*, model dengan nilai kriteria informasi terkecil dianggap memberikan keseimbangan terbaik antara tingkat kecocokan model (*goodness of fit*) dan kompleksitas model. Dengan demikian, spesifikasi ARDL(3,4,4,0) dinilai paling mampu menggambarkan hubungan dinamis antara emisi karbon sektor pertanian, pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar selama periode penelitian.

4.4 Uji Bounds Test (Kointegrasi)

Setelah model *ARDL* optimum diperoleh, dilakukan *Bounds Test* untuk menguji keberadaan hubungan jangka panjang antara emisi karbon sektor pertanian, pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar. Pengujian ini penting untuk memastikan apakah estimasi hubungan jangka panjang dan *Error Correction Model (ECM)* dapat dilakukan.

**Tabel 5. Hasil ARDL *Bounds Test***

| Uji Statistik | | | Nilai |
|---|---|---|---|
| F-statistik | | | 6.316 |
| Jumlah variabel independen (k) | | | 3 |
| Ukuran sampel (n) | | | 31 |
| Tingkat Signifikansi | Lower Bound I(0) | Upper Bound I(1) | Keputusan |
| 10% | 2.676 | 3.586 | F > I(1) |
| 5% | 3.272 | 4.306 | F > I(1) |
| 1% | 4.614 | 5.966 | F > I(1) |

Sumber: Hasil olahan data menggunakan Eviews 12 (2026)

Berdasarkan Tabel 5, nilai F-*statistic* sebesar 6.316 lebih besar daripada *upper bound critical value* pada tingkat signifikansi 5% (4.306). Hasil ini menunjukkan bahwa emisi karbon sektor pertanian, pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar memiliki hubungan keseimbangan jangka panjang, sehingga model *ARDL* layak digunakan untuk mengestimasi pengaruh jangka panjang maupun jangka pendek.

Temuan ini menunjukkan bahwa perubahan pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar tidak hanya memengaruhi emisi karbon sektor pertanian dalam jangka pendek, tetapi juga membentuk keseimbangan jangka panjang. Hasil ini sejalan dengan teori kointegrasi *Engle dan Granger* (1987) serta mendukung pendekatan Pesaran et al. (2001) bahwa variabel dengan kombinasi orde integrasi *I(0)* dan *I(1)* dapat memiliki hubungan jangka panjang. Dengan demikian, penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa faktor-faktor makroekonomi berperan dalam menjelaskan perubahan emisi karbon sektor pertanian di Indonesia.

4.5 Estimasi Hubungan Jangka Panjang (*Long Run*)

Berdasarkan tabel di bawah, maka persaman estimasi jangka panjang adalah:

$$EC = ACGE - (0.4806EG + 0.0324INF + 1.7064Ln(EXR) - 13.3038) \quad (4)$$

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

**Tabel 6. Estimasi Koefisien Jangka Panjang**

| Variabel | Koefesien | Prob |
|---|---|---|
| C | -13.3038 | 0.0037 |
| EG | 0.4806 | 0.0105 |
| **Variabel** | **Koefesien** | **Prob** |
| INF | 0.0324 | 0.5314 |
| Ln(EXR) | 1.7064 | 0.0001 |

Sumber: Hasil olah data menggunakan Eviews 12 (2026)

Hasil estimasi jangka panjang menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi (EG) berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon sektor pertanian di Indonesia dengan koefisien sebesar 0,4806 ($p$ = 0,0105). Artinya, peningkatan pertumbuhan ekonomi sebesar 1 poin persentase akan meningkatkan emisi karbon sektor pertanian sebesar 0,4806 $MtCO_2e$, *ceteris paribus*. Temuan ini sejalan dengan teori *Environmental Kuznets Curve (EKC)* yang menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan, pertumbuhan ekonomi cenderung meningkatkan tekanan terhadap lingkungan akibat meningkatnya aktivitas produksi dan konsumsi energi. Hasil penelitian ini juga konsisten dengan Apergis & Payne, (2010), Eakin & Selden (1995), Iwata et al., (2011) yang menemukan bahwa pertumbuhan ekonomi berkaitan dengan peningkatan emisi karbon, khususnya pada negara berkembang yang masih bergantung pada aktivitas produksi berbasis sumber daya alam.

Dalam konteks Indonesia, temuan tersebut dapat dijelaskan melalui karakteristik struktur ekonomi yang masih memiliki ketergantungan terhadap sektor berbasis sumber daya alam. Berdasarkan perspektif *Resource led Growth Theory*, pertumbuhan ekonomi pada tahap awal pembangunan sering kali didorong oleh peningkatan pemanfaatan sumber daya alam sebagai sumber keunggulan komparatif. Pada sektor pertanian, peningkatan aktivitas ekonomi mendorong intensifikasi produksi melalui penggunaan pupuk sintetis, pestisida, alat dan mesin pertanian, serta peningkatan konsumsi energi. Berbagai aktivitas tersebut berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon melalui penggunaan input berbasis fosil, emisi dari tanah pertanian, serta peningkatan aktivitas produksi.

Hubungan positif antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon juga dapat dikaitkan dengan fenomena *resource based development* dan potensi *Dutch Disease* dalam konteks negara berbasis komoditas (Kaplan & Ruffle, 2012; Sachs & Warner, 2001). Ketergantungan terhadap sektor primer dapat menyebabkan peningkatan eksploitasi sumber daya untuk mendukung pertumbuhan ekonomi, sementara investasi terhadap teknologi rendah karbon dan efisiensi produksi belum sepenuhnya berkembang (Barbier, 2003). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa transformasi ekonomi Indonesia menuju pola pembangunan rendah karbon masih berada dalam proses transisi. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia dalam periode penelitian belum sepenuhnya mencapai tahap pertumbuhan yang mampu memisahkan peningkatan aktivitas ekonomi dari peningkatan tekanan lingkungan (*decoupling*). Diperlukan transformasi sektor pertanian melalui penerapan teknologi rendah karbon, peningkatan efisiensi penggunaan pupuk, pengembangan pertanian presisi, serta penggunaan energi yang lebih bersih agar peningkatan produktivitas pertanian tidak selalu diikuti oleh peningkatan emisi karbon.

Variabel inflasi (INF) memiliki koefisien positif sebesar 0,0324, artinya setiap kenaikan inflasi 1 poin persentase akan meningkatkan emisi karbon sektor pertanian (AGCE) sebesar 0.0324 $MtCO_2e$, namun tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon sektor pertanian ($p$ = 0,5314). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan tingkat inflasi tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap emisi karbon sektor pertanian dalam jangka panjang. Secara teori, inflasi dapat memengaruhi biaya produksi, harga energi, dan harga input pertanian sehingga berpotensi mengubah aktivitas produksi serta tingkat emisi karbon. Namun, hubungan tersebut tidak selalu bersifat langsung karena dipengaruhi oleh berbagai faktor lain, seperti struktur ekonomi, bauran energi, dan kebijakan pemerintah. Temuan penelitian ini sejalan dengan Grolleau & Weber (2024) yang menyatakan bahwa hubungan antara inflasi dan emisi $CO_2$ relatif lemah serta bergantung

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

pada karakteristik masing-masing negara. Mereka menemukan bahwa inflasi hanya memberikan pengaruh yang moderat terhadap emisi karbon sehingga tidak dapat menjadi instrumen utama dalam menurunkan emisi. Selain itu, Ünsal (2025) menemukan bahwa pada negara-negara berkembang, konsumsi energi, investasi asing langsung dan keterbukaan perdagangan merupakan determinan penting emisi $CO_2$, sementara inflasi memiliki pengaruh negatif yang relatif terbatas dibandingkan faktor-faktor struktural tersebut. Dalam konteks Indonesia, emisi karbon sektor pertanian lebih dipengaruhi oleh perubahan teknologi produksi, penggunaan pupuk dan mesin pertanian, serta ekspansi aktivitas pertanian daripada perubahan tingkat inflasi. Oleh karena itu, inflasi tidak menjadi determinan yang signifikan terhadap emisi karbon sektor pertanian dalam jangka panjang.

Variabel nilai tukar (Ln(EXR)) berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon sektor pertanian dengan koefisien sebesar 1,7064 ($p$=0,0001). Nilai tukar ditransformasikan ke dalam logaritma natural, setiap peningkatan nilai tukar sebesar 1% diperkirakan meningkatkan emisi karbon sektor pertanian sebesar 0,0171 $MtCO_2e$, ceteris paribus. Hal ini menunjukkan bahwa depresiasi nilai tukar dalam jangka panjang cenderung meningkatkan emisi karbon sektor pertanian di Indonesia. Secara teori, fluktuasi nilai tukar memengaruhi biaya perdagangan internasional, harga input impor, serta daya saing ekspor sehingga dapat mengubah aktivitas produksi dan konsumsi energi. Hasil penelitian ini sejalan dengan Lee & Yue (2017) yang menunjukkan bahwa nilai tukar USD dapat memengaruhi kondisi lingkungan melalui keterkaitannya dengan konsumsi petroleum, aktivitas ekonomi, dan emisi $CO_2$ di Amerika Serikat.

Selain itu, Smaili & Gam, (2023) menemukan bahwa nilai tukar merupakan salah satu faktor yang berkaitan dengan emisi $CO_2$ dalam jangka panjang, dengan arah hubungan yang berbeda antara negara maju dan negara berkembang. Perbedaan temuan tersebut menunjukkan bahwa pengaruh nilai tukar terhadap emisi sangat bergantung pada struktur ekonomi dan karakteristik masing-masing negara. Dalam konteks Indonesia, depresiasi rupiah dapat meningkatkan daya saing ekspor komoditas pertanian sehingga mendorong peningkatan produksi. Di sisi lain, sektor pertanian masih bergantung pada berbagai input impor, seperti pupuk, pestisida, dan mesin pertanian. Peningkatan aktivitas produksi dan penggunaan input tersebut berpotensi meningkatkan konsumsi energi dan pada akhirnya meningkatkan emisi karbon sektor pertanian.

4.6 Estimasi Hubungan Jangka Pendek *(Error Correction Model)*

**Tabel 7. Hasil Estimasi *Error Correction Model (ECM)***

| Variabel | Koefisien | Prob. |
|---|---|---|
| D(AGCE(-1)) | -0,3398 | 0,1306 |
| D(AGCE(-2)) | -0,4175 | 0,0303 |
| D(EG) | 0,0058 | 0,8755 |
| D(EG(-1)) | -0,3359 | 0,0001 |
| D(EG(-2)) | -0,2428 | 0,0013 |
| D(EG(-3)) | -0,1575 | 0,0040 |
| D(INF) | -0,0379 | 0,0411 |
| D(INF(-1)) | -0,0824 | 0,0017 |
| D(INF(-2)) | -0,0703 | 0,0025 |
| D(INF(-3)) | -0,0535 | 0,0033 |
| ECT(-1) | -0,7290 | 0,0084 |

Sumber: Hasil olahan data menggunakan Eviews12, (2026)

Hasil estimasi *Error Correction Model (ECM)* menunjukkan bahwa dalam jangka pendek perubahan pertumbuhan ekonomi pada periode berjalan (D(EG)) tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon sektor pertanian ($p$ = 0,8755). Namun, pertumbuhan ekonomi pada *lag* pertama, kedua, dan ketiga menunjukkan pengaruh negatif dan signifikan terhadap perubahan

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

emisi karbon sektor pertanian. Temuan ini mengindikasikan bahwa dampak pertumbuhan ekonomi terhadap emisi karbon tidak terjadi secara langsung, tetapi melalui proses penyesuaian yang membutuhkan waktu. Pengaruh negatif tersebut menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi dalam periode sebelumnya justru diikuti oleh penurunan emisi karbon sektor pertanian dalam jangka pendek.

Fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui perspektif *Resource-Led Growth*, yaitu pola pembangunan yang menjadikan pemanfaatan sumber daya alam dan komoditas primer sebagai salah satu basis pertumbuhan ekonomi (Findlay & Lundahl, 1999). Dalam konteks pertanian, pertumbuhan yang pada awalnya bertumpu pada perluasan penggunaan lahan dan input produksi dapat secara bertahap beralih menuju pertumbuhan berbasis produktivitas melalui adopsi teknologi dan peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya (World Bank, 2019). Dalam konteks Indonesia, penggunaan pupuk dan energi merupakan faktor penting yang berkaitan dengan emisi sektor pertanian, sehingga peningkatan efisiensi penggunaan input dapat menjadi salah satu mekanisme untuk meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi tekanan lingkungan (Putri et al., 2025).

Variabel inflasi menunjukkan pengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon sektor pertanian dalam jangka pendek, baik pada periode berjalan maupun hingga beberapa periode sebelumnya. Koefisien negatif pada D(INF), D(INF(-1)), D(INF(-2)), dan D(INF(-3)) menunjukkan bahwa peningkatan inflasi cenderung menurunkan emisi karbon sektor pertanian. Secara ekonomi, kondisi ini dapat dijelaskan melalui mekanisme tekanan biaya produksi *(cost push effect)*, di mana peningkatan harga input pertanian seperti pupuk, bahan bakar, pestisida, dan energi menyebabkan peningkatan biaya operasional bagi pelaku usaha pertanian. Kenaikan biaya input tersebut dapat mendorong penyesuaian perilaku produksi, seperti pengurangan penggunaan input secara intensif atau perubahan strategi produksi untuk mempertahankan efisiensi usaha. Mengingat sebagian sumber emisi sektor pertanian berasal dari penggunaan pupuk sintetis, konsumsi energi, serta aktivitas produksi berbasis bahan bakar fosil, maka peningkatan biaya input dapat berimplikasi pada penurunan penggunaan sumber daya yang menghasilkan emisi karbon. Inflasi yang tinggi dan berkelanjutan juga berpotensi menghambat investasi teknologi pertanian rendah karbon dalam jangka panjang.

Perubahan emisi karbon periode sebelumnya menunjukkan penyesuaian dalam proses pembentukan emisi sektor pertanian. Variabel D(AGCE(-1)) tidak menunjukkan pengaruh signifikan, sedangkan D(AGCE(-2)) berpengaruh negatif dan signifikan terhadap perubahan emisi karbon sektor pertanian. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan emisi karbon tidak sepenuhnya bersifat langsung, tetapi memiliki pola penyesuaian yang dipengaruhi oleh karakteristik sektor pertanian. Berbeda dengan sektor industri yang dapat melakukan perubahan produksi secara cepat, sektor pertanian memiliki siklus produksi, pola tanam, dan keputusan penggunaan input yang membutuhkan waktu sebelum menghasilkan perubahan terhadap tingkat emisi.

Pada model ARDL(3,4,4,0), variabel nilai tukar dipilih dengan *lag* 0, yang menunjukkan bahwa perubahan nilai tukar pada periode berjalan lebih relevan dalam menjelaskan perubahan emisi karbon sektor pertanian dibandingkan perubahan nilai tukar periode sebelumnya. Berdasarkan hasil seleksi model menggunakan *Akaike Information Criterion (AIC)*, penambahan *lag* nilai tukar tidak meningkatkan kemampuan model dalam menjelaskan variasi emisi karbon sektor pertanian. Secara ekonomi, pengaruh langsung nilai tukar dapat dijelaskan melalui ketergantungan sektor pertanian Indonesia terhadap beberapa input produksi impor, seperti pupuk, pestisida, mesin pertanian, dan energi tertentu. Perubahan nilai tukar akan segera memengaruhi harga input tersebut sehingga mendorong pelaku usaha melakukan penyesuaian keputusan produksi pada periode yang sama. Ketika biaya input meningkat akibat perubahan nilai tukar, produsen dapat mengurangi penggunaan input tertentu atau melakukan efisiensi produksi, yang selanjutnya dapat memengaruhi tingkat emisi karbon sektor pertanian.

Nilai *Error Correction Term* (ECT(-1)) sebesar −0,728957 dan signifikan pada tingkat 1% ($p$ = 0,0084). Koefisien ECT yang negatif dan signifikan menunjukkan adanya mekanisme koreksi menuju keseimbangan jangka panjang antara pertumbuhan ekonomi, inflasi, nilai tukar,

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

dan emisi karbon sektor pertanian. Nilai koefisien tersebut menunjukkan bahwa sekitar 72,90% penyimpangan yang terjadi dalam jangka pendek akan dikoreksi kembali menuju keseimbangan jangka panjang dalam satu periode. Hal ini menunjukkan bahwa model ARDL memiliki mekanisme penyesuaian yang relatif cepat dan memperkuat bukti adanya hubungan jangka panjang antar variabel penelitian.

4.7 Uji Diagnostik

Uji diagnostik bertujuan untuk memastikan bahwa model tidak mengalami permasalahan ekonometrika, seperti autokorelasi dan heteroskedastisitas, sedangkan uji stabilitas digunakan untuk melihat konsistensi parameter model selama periode penelitian.

**Tabel 8. Hasil Uji Diagnostik Model ARDL**

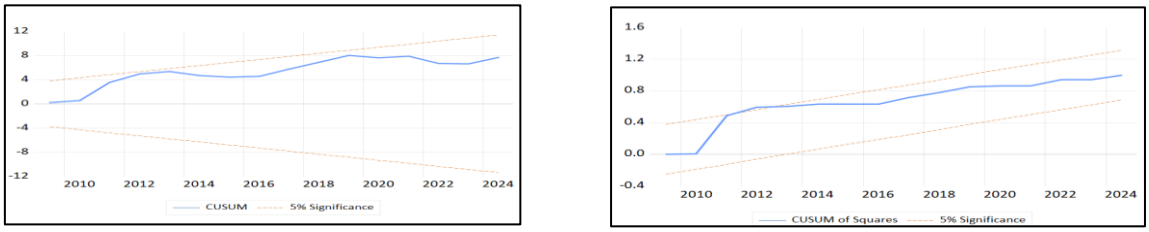
| Pengujian | Probabilitas | Kesimpulan |
|---|---|---|
| Multikolinearitas *(Correlation Matrix)* | Korelasi maksimum = -0,786 (EG–INF) | Tidak terdapat multikolinearitas |
| Serial Correlation LM Test | 0.4776 | Tidak terdapat autokorelasi |
| Heteroskedasticity Test | 0.5386 | Tidak terdapat heteroskedastisitas |
| Jarque-Bera Normality Test | 0.4166 | Residual berdistribusi normal |

Sumber: Hasil olahan data menggunakan Evieiws 12, (2026)

Hasil uji diagnostik menunjukkan bahwa model ARDL telah memenuhi beberapa asumsi penting dalam estimasi. Hasil uji multikolinearitas berdasarkan matriks korelasi menunjukkan bahwa korelasi tertinggi antar variabel independen terjadi antara pertumbuhan ekonomi (EG) dan inflasi (INF) sebesar -0,786, yang masih berada pada tingkat yang dapat diterima. Uji *Breusch Godfrey Serial Correlation LM Test* menunjukkan bahwa residual model tidak mengalami masalah autokorelasi, sehingga error pada suatu periode tidak berkorelasi dengan periode sebelumnya. Selanjutnya, hasil uji *heteroskedastisitas* menunjukkan bahwa varians residual bersifat konstan, sehingga estimasi parameter model tidak mengalami gangguan akibat perubahan varians *error*. Selain itu, uji normalitas menunjukkan bahwa residual model memiliki distribusi yang mendekati normal. Dengan demikian, model ARDL yang diestimasi telah memenuhi kriteria kelayakan diagnostik dan hasil estimasi dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan antara pertumbuhan ekonomi, inflasi, nilai tukar, dan emisi karbon sektor pertanian di Indonesia.

4.8 Uji Stabilitas Model

Pengujian stabilitas parameter dilakukan untuk memastikan bahwa hubungan antara variabel makroekonomi dan emisi karbon sektor pertanian tidak mengalami perubahan struktural selama periode penelitian. Dalam penelitian ini, stabilitas model ARDL(3,4,4,0) diuji menggunakan pendekatan *Cumulative Sum of Recursive Residuals (CUSUM)* dan *Cumulative Sum of Squares of Recursive Residuals (CUSUMSQ)* yang dikembangkan oleh Brown, Durbin, dan Evans (1975). Model dinyatakan stabil apabila garis statistik *CUSUM* dan *CUSUMSQ* berada di antara batas kritis pada tingkat signifikansi 5 persen. Apabila garis tersebut melewati batas kritis, maka terdapat indikasi ketidakstabilan parameter atau kemungkinan adanya perubahan struktural dalam model.




**Gambar 2**. Uji stabilitas CUSUM dan CUSUMQ

Berdasarkan hasil uji *CUSUM* pada Gambar 2, garis statistik *CUSUM* berada di antara batas kritis 5 persen selama periode pengamatan. Meskipun terjadi peningkatan nilai statistik pada

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

beberapa periode, terutama setelah tahun 2018, pergerakan tersebut masih berada dalam rentang batas signifikansi yang ditetapkan.
Hal ini menunjukkan bahwa parameter model ARDL(3,4,4,0) relatif stabil dan tidak terdapat bukti adanya perubahan struktural yang signifikan dalam hubungan antara pertumbuhan ekonomi (EG), inflasi (INF), nilai tukar (Ln(EXR)), dan emisi karbon sektor pertanian (AGCE) selama periode 1990–2024.

Hasil pengujian *CUSUMSQ* pada Gambar 3 juga menunjukkan bahwa garis statistik berada di dalam batas kritis 5 persen. Walaupun terjadi peningkatan akumulasi residual kuadrat terutama pada periode akhir pengamatan, nilai tersebut masih belum melewati batas signifikansi. Dengan demikian, tidak ditemukan indikasi adanya perubahan varians residual yang menyebabkan ketidakstabilan parameter model. Hasil ini mengindikasikan bahwa model ARDL(3,4,4,0) mampu menangkap hubungan dinamis antara faktor makroekonomi dan emisi karbon sektor pertanian secara konsisten sepanjang periode penelitian.

Secara keseluruhan, hasil pengujian *CUSUM* dan *CUSUMSQ* menunjukkan bahwa model ARDL(3,4,4,0) memiliki parameter yang stabil pada tingkat signifikansi 5 persen. Stabilitas ini memperkuat hasil estimasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang antara pertumbuhan ekonomi, inflasi, nilai tukar, dan emisi karbon sektor pertanian di Indonesia. Dengan demikian, model yang digunakan dapat diandalkan untuk menjelaskan dinamika emisi karbon sektor pertanian selama periode 1990–2024.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis pengaruh pertumbuhan ekonomi, inflasi, dan nilai tukar terhadap emisi karbon sektor pertanian di Indonesia periode 1990–2024 menggunakan pendekatan *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). Hasil *bounds test* menunjukkan adanya hubungan keseimbangan jangka panjang antara variabel makroekonomi dan emisi karbon sektor pertanian. Dalam jangka panjang, pertumbuhan ekonomi dan nilai tukar berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon sektor pertanian, sedangkan inflasi tidak berpengaruh signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi dan perubahan nilai tukar masih berkaitan dengan meningkatnya penggunaan energi, pupuk sintetis, serta input produksi berbasis karbon di sektor pertanian. Hasil tersebut mendukung perspektif *Environmental Kuznets Curve* (EKC) dan *Resourceled Growth Theory*, yang menjelaskan bahwa negara berkembang masih menghadapi peningkatan tekanan lingkungan pada tahap awal pembangunan ekonomi.

Secara empiris, penelitian ini memperluas bukti mengenai determinan emisi karbon sektor pertanian di Indonesia melalui pendekatan ARDL yang mampu mengidentifikasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang. Berbeda dengan sebagian besar penelitian yang menggunakan emisi karbon agregat, penelitian ini secara khusus berfokus pada emisi sektor pertanian sehingga memberikan gambaran yang lebih spesifik mengenai pengaruh faktor makroekonomi terhadap emisi gas rumah kaca sektor pertanian. Secara teoritis, hasil penelitian menegaskan bahwa hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan dipengaruhi oleh struktur produksi, ketergantungan terhadap input berbasis sumber daya, serta kemampuan transformasi menuju sistem pertanian rendah karbon.

### 5.2 Saran

Berdasarkan temuan tersebut, kebijakan pengurangan emisi karbon sektor pertanian perlu diarahkan pada transformasi sistem produksi melalui efisiensi penggunaan pupuk, pengembangan pertanian presisi, pemanfaatan energi terbarukan, serta peningkatan kapasitas petani dalam menerapkan praktik pertanian berkelanjutan. Stabilitas nilai tukar dan pengurangan ketergantungan terhadap input pertanian impor juga perlu menjadi perhatian. Penelitian ini masih terbatas pada penggunaan tiga variabel makroekonomi dan data emisi agregat sektor pertanian. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan memasukkan variabel seperti konsumsi energi, penggunaan pupuk, perubahan penggunaan lahan, teknologi hijau, dan kebijakan lingkungan, serta menggunakan data panel atau analisis subsektor pertanian untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai determinan emisi karbon sektor pertanian di Indonesia.

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

**Referensi**

Anjani, G., Imelda, & Sukanto. (2024). The relationship between environmental degradation and per capita income in ASEAN countries. *KnE Social Sciences*. https://doi.org/10.18502/kss.v9i14.16103

Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). The emissions, energy consumption, and growth nexus: Evidence from the Commonwealth of Independent States. *Energy Policy, 38*(1), 650–655.

Arndt, C., Benfica, R., Maximiano, N., Nucifora, A. M. D., & Thurlow, J. T. (2008). Higher fuel and food prices: Impacts and responses for Mozambique. *Agricultural Economics, 39*(s1), 497–511. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2008.00355.x

Barbier, E. B. (2003). The role of natural resources in economic development. *Australian Economic Papers, 42*(2), 253–272. https://doi.org/10.1111/1467-8454.00198

Brunelle, T., Dumas, P., Souty, F., Dorin, B., & Nadaud, F. (2015). Evaluating the impact of rising fertilizer prices on crop yields. *Agricultural Economics, 46*(5), 653–666. https://doi.org/10.1111/agec.12161

Chataut, G., Bhatta, B., Joshi, D., Subedi, K., & Kafle, K. (2023). Greenhouse gases emission from agricultural soil: A review. *Journal of Agriculture and Food Research, 11*, 100533. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100533

Claire, B., & Widyawati, D. (2023). Impact of industrialization and renewable energy on carbon dioxide emission in 9 ASEAN countries. *Economic Journal of Emerging Markets, 15*(2), 183–198. https://doi.org/10.20885/ejem.vol15.iss2.art6

Fathia, A. N., Hadianto, A., & Raswatie, F. D. (2024). Strategi mengurangi emisi gas rumah kaca pada budidaya padi di Indonesia: Strategy to reduce greenhouse gas emissions on padi cultivation in Indonesia. *Indonesian Journal of Agricultural Resource and Environmental Economics, 3*(1), 49–58. https://doi.org/10.29244/ijaree.v3i1.54757

Farah, A. A., Mohamed, M. A., Musse, O. S. H., & Nor, B. A. (2025). The multifaceted impact of climate change on agricultural productivity: A systematic literature review of SCOPUS-indexed studies (2015–2024). *Discover Sustainability, 6*(1), 397. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01229-2

Febriyanto, A. D., & Panjawa, J. L. (2024). Economic growth and carbon emissions: Environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis in Indonesia from 1990 to 2020. *Jurnal Ekonomi Pembangunan, 13*(1), 1–14. https://doi.org/10.23960/jep.v13i1.1147

Findlay, R., & Lundahl, M. (n.d.). Resource-led growth: A long-term perspective—The relevance of the 1870–1914 experience for today's developing economies. *WIDER Working Paper*. Retrieved August 1, 2026, from https://ideas.repec.org/p/ags/widerw/295488.html

Gao, H., Tian, H., Zhang, Z., & Xia, X. (2022). Warming-induced greenhouse gas fluxes from global croplands modified by agricultural practices: A meta-analysis. *Science of the Total Environment, 820*, 153288. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153288

Geng, N., Zheng, X., Han, X., & Li, X. (2024). Towards sustainable development: The impact of agricultural productive services on China's low-carbon agricultural transformation. *Agriculture, 14*(7), 1033. https://doi.org/10.3390/agriculture14071033

Gerke, J. (2025). Reducing greenhouse gas emissions from arable land and grassland: The case for organic farming—A critical review. *Sustainability, 17*(5), 1886. https://doi.org/10.3390/su17051886

Ginting, R. F., Prajanti, S. D. W., & Setyadharma, A. (2023). Determinan indeks kualitas lingkungan hidup dengan pengujian Environmental Kuznets Curve. *Business and Economic Analysis Journal, 3*(1), 16–24. https://doi.org/10.15294/beaj.v3i1.41646

Grolleau, G., & Weber, C. (2024). The effect of inflation on CO2 emissions: An analysis over the period 1970–2020. *Ecological Economics, 217*, 108029. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108029

Guo, C., Liu, X., & He, X. (2022). A global meta-analysis of crop yield and agricultural greenhouse gas emissions under nitrogen fertilizer application. *Science of the Total Environment, 831*, 154982. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154982

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

Han, G., Xu, J., Zhang, X., & Pan, X. (2024). Efficiency and driving factors of agricultural carbon emissions: A study in Chinese state farms. *Agriculture, 14*(9), 1454. https://doi.org/10.3390/agriculture14091454

Hertel, T. W., & Baldos, U. L. C. (2016). *Global change and the challenges of sustainably feeding a growing planet*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22662-0

Holka, M., Kowalska, J., & Jakubowska, M. (2022). Reducing carbon footprint of agriculture—Can organic farming help to mitigate climate change? *Agriculture, 12*(9), 1383. https://doi.org/10.3390/agriculture12091383

Holtz-Eakin, D., & Selden, T. M. (1995). Stoking the fires? CO2 emissions and economic growth. *Journal of Public Economics, 57*(1), 85–101. https://doi.org/10.1016/0047-2727(94)01449-X

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*. Geneva, Switzerland: Author.

Iwata, H., Okada, K., & Samreth, S. (2011). A note on the environmental Kuznets curve for CO2: A pooled mean group approach. *Applied Energy, 88*(5), 1986–1996. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.11.005

Kamyab, H., SaberiKamarposhti, M., Hashim, H., & Yusuf, M. (2024). Carbon dynamics in agricultural greenhouse gas emissions and removals: A comprehensive review. *Carbon Letters, 34*(1), 265–289. https://doi.org/10.1007/s42823-023-00647-4

Kaplan, T. R., & Ruffle, B. J. (2012). Which way to cooperate. *The Economic Journal, 122*(563), 1042–1068. https://doi.org/10.1111/j.1468-0297.2011.02485.x

Keorite, M., & E, O. (2015). An analysis of CO2 emissions, energy consumption, economic growth, and foreign direct investment in Thailand. *Second International Conference on Advances in Economics, Social Science and Human Behaviour Study (ESSHBS 2015)*, 6–13. https://doi.org/10.15224/978-1-63248-076-7-52

Khalimjonov, N. (2024). An econometric analysis of air contamination in Uzbekistan. *Iqtisodiy Taraqqiyot va Tahlil, 2*(5), 133–142. https://doi.org/10.60078/2992-877X-2024-vol2-iss5-pp133-142

Lee, J., & Yue, C. (2017). Impacts of the US dollar (USD) exchange rate on economic growth and the environment in the United States. *Energy Economics, 64*, 170–176. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.03.006

Li, G., Hou, C., & Zhou, X. (2022). Carbon neutrality, international trade, and agricultural carbon emission performance in China. *Frontiers in Environmental Science, 10*, 931937. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.931937

McArthur, J. W., & McCord, G. C. (2017). Fertilizing growth: Agricultural inputs and their effects in economic development. *Journal of Development Economics, 127*, 133–152. https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2017.02.007

Nga, P. T. H., Tien, P. C., & Cuong, N. Q. (2024). The impact of climate change on economic growth: A study of ASEAN countries. *Tạp Chí Nghiên Cứu Tài Chính - Marketing*, 16–29. https://doi.org/10.52932/jfm.vi2.518

Ngadisih, N., Sinatrya, A., Wulan, I. R., Tanjung, J. C., Fahima, S., & Lestari, P. (2024). Potensi ancaman dan upaya mitigasi emisi gas rumah kaca di sektor pertanian Indonesia: Tinjauan sistematis atas literatur. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, 12*(1), 245–254. https://doi.org/10.26418/jtllb.v12i1.74231

Nguyen, C. P., Le, T.-H., Schinckus, C., & Su, T. D. (2021). Determinants of agricultural emissions: Panel data evidence from a global sample. *Environment and Development Economics, 26*(2), 109–130. https://doi.org/10.1017/S1355770X20000315

Nurmasyahyati, N., Maulida, D., Fauzan, F., Safrida, S., & Kurniawan, R. (2024). Policy transfer: Mewujudkan pertanian berkelanjutan melalui pendekatan Climate-Smart Agriculture (CSA) dalam mengatasi perubahan iklim di Kabupaten Aceh Utara. *Jurnal Trias Politika, 8*(2), 221–246. https://doi.org/10.33373/jtp.v8i2.6791

JEPU, Vol 09, No 01, Mei 2026
https://doi.org/10.29103/jepu.v9i1.29081

Orhan, A., Adebayo, T. S., Genç, S. Y., & Kirikkaleli, D. (2021). Investigating the linkage between economic growth and environmental sustainability in India: Do agriculture and trade openness matter? *Sustainability, 13*(9), 4753. https://doi.org/10.3390/su13094753

Otim, J., Watundu, S., Mutenyo, J., Bagire, V., & Adaramola, M. S. (2023). Effects of carbon dioxide emissions on agricultural production indexes in East African Community countries: Pooled mean group and fixed effect approaches. *Energy Nexus, 12*, 100247. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100247

Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics, 16*(3), 289–326. https://doi.org/10.1002/jae.616

Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare*. London, England: Macmillan.

Putri, M. A., Karimi, S., Ridwan, E., & Muharja, F. (2025). Fertilizer use, deforestation, and energy consumption: Key drivers of nitrous oxide emissions in Indonesia. *Discover Sustainability, 6*(1), 411. https://doi.org/10.1007/s43621-025-01290-x

Sachs, J. D., & Warner, A. M. (2001). The curse of natural resources. *European Economic Review, 45*(4), 827–838. https://doi.org/10.1016/S0014-2921(01)00125-8

Smaili, S. M., & Gam, I. (2023). Dynamic effect of exchange rate depreciation on carbon emission in the Mediterranean basin: Fresh insights from linear and non-linear ARDL approaches. *Environmental Science and Pollution Research, 30*(21), 59481–59498. https://doi.org/10.1007/s11356-023-26674-2

Sokal, K., & Kachel, M. (2025). Impact of agriculture on greenhouse gas emissions—A review. *Energies, 18*(9), 2272. https://doi.org/10.3390/en18092272

Sweileh, W. M. (2020). Bibliometric analysis of peer-reviewed literature on food security in the context of climate change from 1980 to 2019. *Agriculture & Food Security, 9*(1), 11. https://doi.org/10.1186/s40066-020-00266-6

Tang, Y., Luan, X., Sun, J., Zhao, J., Yin, Y., Wang, Y., & Sun, S. (2021). Impact assessment of climate change and human activities on GHG emissions and agricultural water use. *Agricultural and Forest Meteorology, 296*, 108218. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.108218

Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature, 418*(6898), 671–677. https://doi.org/10.1038/nature01014

Tubiello, F. N. (2025). *Greenhouse gas emissions from agrifood systems: Global, regional and country trends, 2001–2023*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ünsal, M. E. (2025). Effects of inflation, foreign direct investment, energy consumption, and trade openness on CO2 emissions: Panel data analysis for developing countries. *Siyasal: Journal of Political Sciences, 34*(1), 71–85. https://doi.org/10.26650/siyasal.2025.34.1536959

Uri, N. D. (1997). The use of fertilizer and its environmental consequences. *Energy & Environment, 8*(3), 191–205. https://doi.org/10.1177/0958305X9700800302

World Bank. (n.d.). Carbon dioxide (CO2) emissions from agriculture (Mt CO2e). *World Bank Data360*. Retrieved August 10, 2026, from [URL perlu dilengkapi]

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our common future*. Oxford, England: Oxford University Press.

Yu, B., Liu, F., & You, L. (2012). Dynamic agricultural supply response under economic transformation: A case study of Henan, China. *American Journal of Agricultural Economics, 94*(2), 370–376. https://doi.org/10.1093/ajae/aar114