

Pengaruh Faktor Ekonomi dan Lingkungan terhadap Deforestasi di Indonesia

(The Influence of Economic and Environmental Factors on Deforestation in Indonesia)

**Elfrida Eka Ayuningtyas¹, Muhammad Akmal Fadhillah², Vanisa Azra Nathania³,
Surya Puspita Sari⁴, Magdalena Effendi⁵**

Statistika, FSTI, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan^{1,2,3,4,5}

E-mail:

16231019@student.itk.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat deforestasi tertinggi di dunia yang dipengaruhi oleh berbagai faktor ekonomi dan lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), kepadatan penduduk, kebakaran hutan, luas hutan, dan emisi karbon dioksida (CO₂) terhadap laju deforestasi di Indonesia. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode regresi data panel terhadap 34 provinsi selama periode 2018–2022. Pemilihan model dilakukan melalui Uji Chow, yang menunjukkan bahwa Common Effect Model (CEM) merupakan model yang paling sesuai. Hasil estimasi menunjukkan bahwa PDRB, kebakaran hutan, dan luas hutan berpengaruh positif dan signifikan terhadap laju deforestasi, sedangkan kepadatan penduduk dan emisi CO₂ tidak berpengaruh signifikan. Temuan ini mengindikasikan bahwa faktor ekonomi dan tekanan lingkungan memiliki peran penting dalam mendorong deforestasi di Indonesia. Oleh karena itu, kebijakan pengendalian deforestasi perlu diarahkan pada penguatan pengelolaan hutan berkelanjutan serta pengendalian aktivitas ekonomi dan kebakaran hutan agar laju deforestasi dapat ditekan tanpa menghambat pertumbuhan ekonomi.

Kata kunci: Deforestasi, Ekonomi, Lingkungan, Regresi.

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries with the highest deforestation rates in the world, influenced by economic and environmental factors. This study aims to analyze the effects of Gross Regional Domestic Product (GRDP), population density, forest fires, forest area, and carbon dioxide (CO₂) emissions on deforestation in Indonesia. This research employs a quantitative approach using panel data regression on 34 provinces during the 2018–2022 period. Model selection using the Chow test indicates that the Common Effect Model (CEM) is the most appropriate model. The results show that GRDP, forest fires, and forest area have a positive and significant effect on deforestation, while population density and CO₂ emissions are not statistically significant. These findings suggest that economic activities and environmental pressures play a crucial role in driving deforestation in Indonesia. Therefore, deforestation control policies should focus on sustainable forest management and stricter control of economic activities and forest fires to mitigate forest loss without hindering economic growth.

Keywords: Deforestation, Economy, Environment, Regression.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan hutan tropis yang sangat luas dan berperan penting bagi keseimbangan ekosistem global. Hutan berfungsi menjaga siklus hidrologi, kesuburan tanah, serta menyerap karbon untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, Indonesia menghadapi tantangan serius berupa meningkatnya deforestasi yang menimbulkan

berbagai konsekuensi seperti hilangnya keanekaragaman hayati, degradasi lingkungan, dan meningkatnya emisi CO₂. Menurut Gamatara dan Kusumawardani (2024), kerusakan hutan di Indonesia memberi kontribusi signifikan terhadap perubahan iklim global. Hal ini sejalan dengan Isnaini dan Agustina (2019) yang menyebutkan bahwa deforestasi di Indonesia tidak hanya mengancam lingkungan lokal, tetapi juga berdampak pada keberlanjutan ekosistem global.

Faktor antropogenik menjadi penyebab utama deforestasi. Pertumbuhan ekonomi yang tercermin melalui peningkatan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), meningkatnya kepadatan penduduk, serta aktivitas manusia seperti kebakaran hutan dan emisi CO₂, mendorong penurunan luas kawasan hutan (Isnaini & Agustina, 2019). PDRB menggambarkan total nilai tambah barang dan jasa suatu wilayah (Hasibuan et al., 2022), di mana peningkatan sektor berbasis sumber daya alam sering kali mendorong konversi hutan menjadi lahan produksi. Sementara itu, kepadatan penduduk yang tinggi meningkatkan kebutuhan lahan untuk perumahan dan infrastruktur, yang akhirnya menekan kawasan hutan (Hachica & Triani, 2022).

Selain itu, kebakaran hutan juga mempercepat laju deforestasi. Di Indonesia, kebakaran umumnya disebabkan oleh pembukaan lahan dengan cara membakar, yang mengakibatkan kerusakan ekosistem dan peningkatan emisi karbon (Nakita & Najicha, 2022). Faktor iklim seperti musim kemarau panjang dan fenomena El Niño memperburuk kondisi tersebut. Akibatnya, emisi karbon dioksida (CO₂) meningkat tajam karena pelepasan karbon dari biomassa dan lahan gambut (Setiyono et al., 2024). Oleh karena itu, pengendalian emisi CO₂ dan kebakaran hutan menjadi langkah penting dalam menjaga keberlanjutan hutan dan menekan dampak perubahan iklim.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penyebab deforestasi bervariasi antar wilayah. Isnaini dan Agustina (2019) menyoroti bahwa di Kalimantan, deforestasi dipicu oleh penebangan dan konversi lahan, sedangkan Kristiana, Laut, dan Prakoso (2021) menemukan bahwa konsumsi energi di Asia Tenggara berkaitan erat dengan emisi karbon dan deforestasi. Untuk menganalisis hubungan antar variabel secara lebih akurat, penelitian ini menggunakan metode regresi data panel, yaitu pendekatan statistik yang menggabungkan dimensi waktu (*time series*) dan wilayah (*cross-section*) sehingga dapat menggambarkan dinamika antar daerah secara lebih mendalam (Dewintha, Yahya, & Ihwal, 2025). Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berupaya menjawab beberapa pertanyaan, yaitu bagaimana pengaruh pertumbuhan ekonomi (PDRB) terhadap deforestasi di Indonesia, bagaimana hubungan kepadatan penduduk dengan laju deforestasi, sejauh mana kebakaran hutan mempengaruhi deforestasi, serta bagaimana emisi CO₂ berkaitan dengan perubahan luas hutan. Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh PDRB, kepadatan penduduk, kebakaran hutan, dan emisi CO₂ terhadap deforestasi di Indonesia dengan menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis data panel. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran empiris yang komprehensif serta menjadi dasar dalam penyusunan kebijakan pembangunan berkelanjutan, sebagaimana ditegaskan oleh Gamatara & Kusumawardani (2024), agar laju deforestasi dapat ditekan tanpa harus menghambat pertumbuhan ekonomi nasional.

METODE

Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data panel, yaitu gabungan data *time-series* dan *cross-section*. Data yang digunakan adalah data sekunder dengan jumlah data 34, sesuai dengan jumlah Provinsi di Indonesia yang diperoleh dari beberapa instansi, diantaranya Badan Pusat Statistik (BPS), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), dan *Our World in Data*.

Definisi Operasional Variabel

Penelitian ini menggunakan satu variabel dependen dan lima variabel independen. Untuk memastikan konsistensi pengukuran dan interpretasi, definisi operasional masing-masing variabel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Definisi Operasional Variabel Penelitian.

| Variabel | Simbol | Definisi Operasional | Satuan | Sumber Data |
|--------------------|--------|---|---------------|-------------|
| Deforestasi | Y | Luas kehilangan tutupan hutan per provinsi per tahun | Hektar | BPS |
| PDRB | X_1 | Produk Domestik Regional Bruto atas dasar harga konstan | Miliar Rupiah | BPS |
| Kebakaran Hutan | X_2 | Luas indikasi kebakaran hutan dan lahan | Hektar | KLHK |
| Luas Hutan | X_3 | Total luas kawasan hutan per provinsi | Hektar | BPS |
| Kepadatan Penduduk | X_4 | Jumlah penduduk per satuan luas wilayah | Jiwa/ km^2 | BPS |
| Emisi CO_2 | X_5 | Emisi karbon dioksida akibat kebakaran hutan | Ton | KLHK |

Model Regresi Data Panel

Model penelitian di estimasi menggunakan regresi data panel yang mampu memperhatikan perbedaan antar wilayah dan perubahan waktu. Berdasarkan definisi operasional variabel pada Tabel 1, model regresi data panel yang digunakan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \dots + \beta_5 X_{5it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Dengan:

Y_{it} = Laju deforestasi hutan di provinsi i pada tahun t

X_{1it} = PDRB

X_{2it} = Kebakaran Hutan

X_{3it} = Luas Hutan

X_{4it} = Kepadatan Penduduk

X_{5it} = Emisi CO_2

α = Konstanta

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$ = Koefisien regresi untuk setiap variabel

ε_{it} = Error term

Uji Pemilihan Model

Pemilihan model terbaik dalam regresi data panel dilakukan dengan membandingkan tiga jenis model, yaitu *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM). Proses pemilihan dilakukan secara bertahap melalui sejumlah uji statistik. Pertama, uji Chow digunakan untuk menentukan apakah model yang lebih tepat adalah CEM atau FEM. Jika hasil uji menunjukkan bahwa FEM lebih unggul, maka tahapan berikutnya dilanjutkan dengan uji Hausman untuk membandingkan FEM dan REM. Apabila uji Hausman menyatakan bahwa model efek acak lebih sesuai, maka langkah selanjutnya adalah melakukan uji *Lagrange Multiplier* (LM) untuk menguji apakah model CEM atau REM yang layak digunakan. Model yang dipilih berdasarkan rangkaian uji tersebut kemudian menjadi model dasar untuk analisis selanjutnya.

Uji Asumsi Klasik

Setelah model dipastikan, tahap berikutnya adalah pengujian asumsi klasik guna memastikan estimasi yang dihasilkan bersifat BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*). Langkah pertama, dilakukan terlebih dahulu uji multikolinearitas dengan menggunakan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF), yang dihitung menggunakan persamaan:

$$VIF_i = \frac{1}{1-R_i^2} \quad (2)$$

Dimana R_i^2 merupakan koefisien determinasi hasil regresi variabel independen ke-i terhadap variabel independen lainnya. Nilai VIF di atas 10 umumnya menunjukkan adanya multikolinearitas serius.

Selanjutnya, akan dilakukan uji autokorelasi dengan menggunakan statistik *Durbin-Watson* (DW) untuk mendeteksi korelasi residual antar waktu dalam data panel, dengan rumus:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^T (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T e_t^2} \quad (3)$$

Nilai DW mendekati 2 menunjukkan tidak adanya autokorelasi, sedangkan nilai mendekati 0 atau 4 mengindikasikan autokorelasi positif atau negatif.

Selanjutnya, uji heteroskedastisitas dilakukan untuk memastikan bahwa residual memiliki varians yang konstan, sedangkan uji *cross-section* dependence digunakan untuk mendeteksi apakah terdapat ketergantungan antar unit *cross-section* (misalnya antar provinsi). Selain itu, uji normalitas residual dilakukan untuk memastikan *error term* terdistribusi normal. Tahap berikutnya adalah pengujian signifikansi model dan koefisien. Pengujian parsial dilakukan menggunakan statistik uji-t untuk masing-masing koefisien regresi, dengan rumus:

$$t_i = \frac{\hat{\beta}_i}{SE(\hat{\beta}_i)} \quad (4)$$

di mana β_i merupakan koefisien variabel independen ke-iii dan $SE(\beta_i)$ adalah standard *error*-nya. Sementara itu, pengujian simultan dilakukan menggunakan uji-F untuk mengetahui apakah seluruh variabel independen secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Nilai statistik F dirumuskan sebagai:

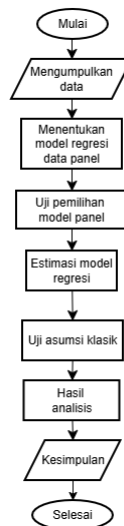
$$F = \frac{(R^2/k)}{((1-R^2)/(n-k-1))} \quad (5)$$

Dengan R^2 sebagai koefisien determinasi, k jumlah variabel independen, dan n jumlah observasi. Kemampuan model dalam menjelaskan variasi deforestasi diukur menggunakan koefisien determinasi (R^2), yang dihitung dengan:

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} \quad (6)$$

di mana RSS adalah *residual sum of squares* dan TSS adalah *total sum of squares*. Semakin besar nilai R^2 , semakin baik model menjelaskan variasi data deforestasi antar wilayah dan waktu.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Deforestasi

Penentuan model estimasi regresi data panel merupakan langkah awal untuk menghasilkan koefisien yang baik. Untuk mencapai hal tersebut, dilakukan serangkaian uji untuk menentukan model yang paling sesuai dengan karakteristik data, yakni perbandingan antara *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM). Proses penentuan model ini dilakukan dengan Uji Chow dan Uji Hausman.

Tabel 2. Hasil Uji Chow dan Uji Hausman

| Pengujian | Perbandingan Model | df | Statik Uji | P-Value | Keputusan |
|-------------|--------------------|-------|------------|---------|-----------------|
| Uji Chow | CEM VS FEM | 32,75 | 0,971 | 0,5230 | CEM |
| Uji Hausman | FEM VS REM | 4 | 46,25 | 0,00 | Tidak Digunakan |

Hasil Uji Chow menunjukkan nilai P-Value sebesar 0,5230. Karena nilai P-Value tersebut lebih besar dari tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$, maka H_0 , yang menyatakan bahwa CEM lebih tepat. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak terdapat perbedaan *intercept* yang signifikan antar unit individu, sehingga model yang disarankan adalah Common Effect Model (CEM). Dengan terpilihnya CEM, maka Uji Hausman yang berfungsi membandingkan FEM dan REM menjadi tidak relevan dalam prosedur pemilihan model ini. Oleh karena itu, berdasarkan hasil Uji Chow, model Common Effect Model (CEM) ditetapkan sebagai model regresi data panel yang paling sesuai untuk estimasi.

Ringkasan Statistik Estimasi Model

Tabel 3. Ringkasan Hasil Estimasi CEM

| Variabel | Koefisien | Std. Error | P-value |
|-------------------------|------------|------------|---------|
| PDRB | 0,1612 | 0,037 | 0,0000 |
| Kebakaran Hutan | 0,1461 | 0,0437 | 0,0011 |
| Luas Hutan | 0,0007 | 0,0002 | 0,0015 |
| Kepadatan Penduduk | -1,1659 | 2,916 | 0,6901 |
| Emisi [CO] ₂ | -0,0000047 | 0,000083 | 00,5717 |
| R-Squared | | 0,4725 | |
| F-Statistics | | 19,16 | |

Berdasarkan Tabel 2, hasil estimasi menggunakan Common Effect Model (CEM) menunjukkan bahwa produk domestik regional bruto (PDRB), kebakaran hutan, dan luas hutan berpengaruh signifikan terhadap laju deforestasi hutan. Sementara itu, kepadatan penduduk dan emisi CO₂ tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan secara statistik. Nilai R-squared sebesar 0,4725 mengindikasikan bahwa 47,25 persen variasi laju deforestasi hutan dapat dijelaskan oleh variabel-variabel independen dalam model. Selain itu, hasil uji F menunjukkan bahwa model signifikan secara simultan, sehingga Common Effect Model dinilai layak digunakan dalam analisis laju deforestasi hutan.

Berdasarkan hasil uji pemilihan model panel data, diperoleh bahwa Common Effect Model (CEM) merupakan model yang paling tepat digunakan dalam menganalisis pengaruh variabel bebas terhadap laju deforestasi di Indonesia. Pemilihan model ini didasarkan pada hasil Uji Chow yang menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan karakteristik individu yang signifikan antarprovinsi, sehingga model Common Effect dinilai paling sesuai untuk digunakan dalam penelitian ini.

Model terbaik yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$Y_{it} = -575,0 + 0,1612X_1 + 0,1461X_2 + 0,0007X_3 - 1,1659X_4 - 0,000047X_5$$

Berdasarkan hasil estimasi model, dapat diketahui bahwa variabel produk domestik regional bruto (PDRB), kebakaran hutan, dan luas hutan memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap laju deforestasi hutan di berbagai provinsi di Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi yang tercermin dari kenaikan PDRB, meningkatnya kejadian kebakaran hutan, serta semakin luasnya kawasan hutan yang tersedia cenderung diikuti oleh peningkatan laju deforestasi. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa tekanan terhadap sumber daya hutan tidak hanya berasal dari faktor lingkungan, tetapi juga berkaitan erat dengan dinamika pembangunan ekonomi dan pemanfaatan lahan.

Sementara itu, variabel kepadatan penduduk dan emisi CO₂ menunjukkan arah pengaruh negatif terhadap laju deforestasi hutan, namun pengaruh tersebut tidak signifikan secara statistik. Temuan ini mengindikasikan bahwa peningkatan jumlah penduduk dan emisi karbon belum secara langsung berdampak nyata terhadap perubahan laju deforestasi pada periode pengamatan, atau pengaruhnya masih dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak tercakup dalam model. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menggambarkan bahwa faktor ekonomi dan lingkungan memiliki peranan yang berbeda dalam memengaruhi laju deforestasi hutan antarprovinsi di Indonesia, di mana sebagian variabel terbukti berpengaruh signifikan, sementara variabel lainnya belum menunjukkan pengaruh yang kuat secara statistik.

Uji Asumsi Klasik

Tabel 4. Uji Diagnostik Model

| Uji | P-value |
|--------------------|----------|
| Breusch Pagan Test | 0,000556 |
| Durbin Watson | 1,74 |
| Jarque Bera | 0,0000 |
| VIF | < 10 |

Berdasarkan uji asumsi klasik dari tabel 3, diketahui bahwa nilai *p-value* Breusch–Pagan Test sebesar 0,000556 ($< 0,05$), yang menunjukkan bahwa model mengalami heteroskedastisitas. Nilai Durbin–Watson sebesar 1,74 berada di kisaran 1,5–2,5, sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat masalah autokorelasi dalam model. Selanjutnya, nilai *p-value* Jarque–Bera sebesar 0,0000 ($< 0,05$) mengindikasikan bahwa data residual tidak berdistribusi normal. Namun demikian, hasil VIF < 10 menunjukkan bahwa tidak terdapat masalah multikolinearitas antarvariabel independen, sehingga model dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Karena model mengalami heteroskedastisitas, maka perlu dilakukan penanganan lebih lanjut. Metode yang digunakan untuk menangani hal ini yaitu *Robust Clustered Estimation*. Metode ini digunakan karena mampu mengoreksi *standar error* pada variabel.

Tabel 5. Uji Breusch Pagan Setelah Penanganan Heteroskedastisitas

| Uji | P-value |
|--------------------|---------|
| Breusch Pagan Test | 0,0014 |

Meskipun uji Breusch-Pagan menunjukkan adanya gejala heteroskedastisitas, model ini tetap valid karena diestimasi menggunakan *Cluster Robust Standard Errors*. Penggunaan metode ini memberikan estimator yang tetap konsisten dan tidak bias, serta mengoreksi standar error sehingga hasil uji-t dan uji-F tetap reliabel. Penggunaan *Robust Standard Errors* merupakan standar untuk menangani pelanggaran asumsi homoskedastisitas tanpa harus mengubah data asli.

IMPLIKASI KEBIJAKAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor ekonomi dan tekanan lingkungan berperan signifikan dalam mendorong deforestasi di Indonesia. Oleh karena itu, pemerintah perlu mengintegrasikan prinsip pembangunan berkelanjutan dalam perencanaan ekonomi daerah, khususnya pada wilayah dengan aktivitas ekonomi tinggi dan kawasan hutan yang luas.

Selain itu, pengaruh signifikan kebakaran hutan menegaskan pentingnya penguatan kebijakan pencegahan kebakaran melalui peningkatan sistem deteksi dini, patroli hutan rutin, serta penegakan hukum terhadap praktik pembakaran lahan. Meskipun emisi CO₂ tidak berpengaruh signifikan secara statistik, penerapan teknologi rendah emisi tetap perlu didorong sebagai langkah preventif jangka panjang. Dengan sinergi antara pengendalian aktivitas ekonomi, perlindungan kawasan hutan, dan pencegahan kebakaran, kebijakan pengendalian deforestasi diharapkan dapat berjalan lebih efektif dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis regresi data panel terhadap 34 provinsi di Indonesia selama periode 2018–2022 menggunakan Common Effect Model, diperoleh bahwa PDRB, kebakaran hutan, dan luas hutan berpengaruh positif dan signifikan terhadap laju deforestasi. Sebaliknya, kepadatan penduduk dan emisi CO₂ tidak menunjukkan pengaruh signifikan secara statistik.

Temuan ini menunjukkan bahwa deforestasi di Indonesia lebih dipengaruhi oleh tekanan ekonomi dan faktor lingkungan langsung, khususnya kebakaran hutan dan pemanfaatan kawasan berhutan luas. Oleh karena itu, pengendalian deforestasi memerlukan kebijakan terpadu yang menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dengan upaya konservasi hutan, pencegahan kebakaran, serta pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2023). *Angka deforestasi (netto) Indonesia di dalam dan di luar kawasan hutan tahun 2013–2022 (ha/th)*. Diakses dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjA4MSMx/angka-deforestasi-netto-indonesia-di-dalam-dan-di-luar-kawasan-hutan-tahun-2013-2022--ha-th-.html>
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Kepadatan penduduk menurut provinsi*. Diakses dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTQxIzI=/kepadatan-penduduk-menurut-provinsi>
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Luas kawasan hutan dan kawasan konservasi perairan Indonesia berdasarkan surat keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017–2021*. Diakses dari <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTcxNiMx/luas-kawasan-hutan-dan-kawasan-konservasi-perairan-indonesia-berdasarkan-surat-keputusan-menteri-lingkungan-hidup-dan-kehutanan--2017-2021.html>
- Basymeleh, H., Radjamin, I. P., & Tanaya, O. (2024). Indikator ekonomi berpengaruh terhadap deforestasi di Indonesia. *COSTING: Journal of Economic, Business and Accounting*, 7(2), 3396–3407.
- Dewintha, A., Yahya, I., & Ihwal, M. (2025). Analisis regresi data panel pada faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kemiskinan di Provinsi Sulawesi Tenggara tahun 2020–2023. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(1), 83–94.
- Ghozi, S., & Hermansyah, H. (2018). Analisis regresi data panel profitabilitas Bank Pembangunan Daerah (BPD) di Indonesia. *Jurnal Matematika*, 8(1), 1–12. <https://doi.org/10.24843/JMAT.2018.v08.101.p93>
- Hachica, E., & Triani, M. (2022). Pengaruh pendidikan, pengangguran dan kepadatan penduduk terhadap kriminalitas di Indonesia. *Ecosains: Jurnal Ilmiah Ekonomi dan Pembangunan*, 11(1), 63–70.
- Hasibuan, R. R. A., Kartika, A., Suwito, F. A., & Agustin, L. (2022). Pengaruh produk domestik regional bruto (PDRB) terhadap tingkat kemiskinan Kota Medan. *Reslaj: Religion Education Social Laa Roiba Journal*, 4(3), 683–693. <https://doi.org/10.47476/reslaj.v4i3.887>
- Isnaini, D. N., & Agustina, N. (2019). Aplikasi regresi data panel dalam menentukan determinan deforestasi di Kalimantan periode 2014–2018. *Seminar Nasional Official Statistics 2019: Pengembangan Official Statistics dalam Mendukung Implementasi SDGs*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2025). *Emisi CO₂ akibat kebakaran hutan dan lahan*. Diakses dari <https://sipongi.menlhk.go.id/emisi-co2>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2025). *Indikasi luas kebakaran*. Diakses dari <https://sipongi.menlhk.go.id/indikasi-luas-kebakaran>
- Kristiana, N., Laut, L. T., & Prakoso, J. A. (2021). Pengaruh konsumsi energi dan deforestasi terhadap output nasional lima negara anggota ASEAN. *Jurnal Ekonomi Pembangunan (JEP)*, 10(2).
- Nakita, C., & Najicha, F. U. (2022). Pengaruh deforestasi dan upaya menjaga kelestarian hutan di Indonesia. *IUS CIVILE: Jurnal Ius Civile (Refleksi Penegakan Hukum dan Keadilan)*, 6(1).
- Pangestu, R. C. K., & Ayuningsasi, A. A. K. (2024). Pengaruh konsumsi energi sektor industri, rumah tangga, dan transportasi terhadap emisi karbon di Indonesia. *Inisiatif: Jurnal Ekonomi, Akuntansi dan Manajemen*, 3(4), 297–311. <https://doi.org/10.30640/inisiatif.v3i4.3154>
- Pusakasari, A. S. (2015). *Regresi panel dengan metode weighted cross-section SUR pada data pengamatan gross domestic product dengan heterokedastisitas dan korelasi antar individu (cross-section correlation)* [Skripsi]. Universitas Brawijaya.
- Setiyono, A., Dharmawan, A., & Furqon, Z. (2024). Prediksi faktor penyebab emisi CO₂ pada kendaraan menggunakan gradient boosting regression. *Jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, 9(4), 243–247.
- Yuliana, U. A. (2022). Pemodelan regresi data panel untuk memprediksi ketersediaan beras di Kabupaten Bojonegoro. *STATKOM: Jurnal Statistika dan Komputasi*, 1(1). <https://doi.org/10.32665/statkom.v1i1.447>