
Analisis Ekonomi Hijau dan Variabel Makroekonomi Terhadap Emisi Karbon

Astri Putri Utami
5553210102@untirta.ac.id

Vadilla Mutia Zahara
vadillamutia@untirta.ac.id

Deswita Herlina*
Deswita@untirta.ac.id

Muhammad Nasim Harahap
muhammad.nasim@untirta.ac.id

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Diterima 01 Juni 2025; Disetujui 08 Juni 2026; Dipublikasikan 30 Juni 2026

Abstract

Carbon emissions are a global challenge that affects almost all countries, including developing countries, thus requiring sustainable development. This initiative began with the Paris Agreement, which requires participating countries to set temperature limitation targets for climate change mitigation, in line with SDG 13 on climate action. In supporting the transition to sustainable development, various countries have adopted a green economy. This study analyzes the impact of Green Bonds and Low-Carbon Technology Product Trade as green economy instruments, as well as Financial Development and Foreign Direct Investment on carbon emissions during the period 2017–2021. The method used is the Generalized Method of Moments (GMM). The results of the study indicate that Green Bonds and Low-Carbon Technology Product Trade have a significant negative impact on carbon emissions, although the effect is relatively low. Conversely, Financial Development and Foreign Direct Investment contribute significantly to an increase in carbon emissions, reflecting the continued reliance on fossil fuels in developing countries. These findings highlight the need for accelerated economic transition.

Keywords

green bonds, trade in low carbon technology products, financial development, foreign direct investment, GMM

*) Corresponding Author

Abstrak

Emisi karbon merupakan tantangan global yang mempengaruhi hampir semua negara, termasuk negara berkembang, sehingga diperlukan pembangunan berkelanjutan. Inisiatif ini dimulai dengan Perjanjian Paris yang mengharuskan negara peserta menetapkan target pembatasan suhu untuk mitigasi perubahan iklim, sesuai dengan SDGs 13 tentang aksi iklim. Dalam mendukung transisi menuju pembangunan berkelanjutan, berbagai negara mengadopsi ekonomi hijau. Penelitian ini menganalisis pengaruh Obligasi Hijau dan Perdagangan Produk Teknologi Rendah Karbon sebagai instrumen ekonomi hijau, serta Perkembangan Keuangan dan Investasi Langsung Asing terhadap emisi karbon pada periode 2017–2021. Metode yang digunakan adalah *Generalized Method of Moments* (GMM). Hasil penelitian menjelaskan bahwa Obligasi Hijau dan Perdagangan Produk Teknologi Rendah Karbon memberikan pengaruh negatif signifikan terhadap emisi karbon, meskipun dampaknya relatif rendah. Sebaliknya, Perkembangan Keuangan dan Investasi Langsung Asing memberikan kontribusi positif signifikan terhadap peningkatan emisi karbon, hal ini mencerminkan masih ada ketergantungan energi fosil di negara berkembang. Temuan ini menjelaskan perlunya adanya percepatan transisi ekonomi.

Kata Kunci

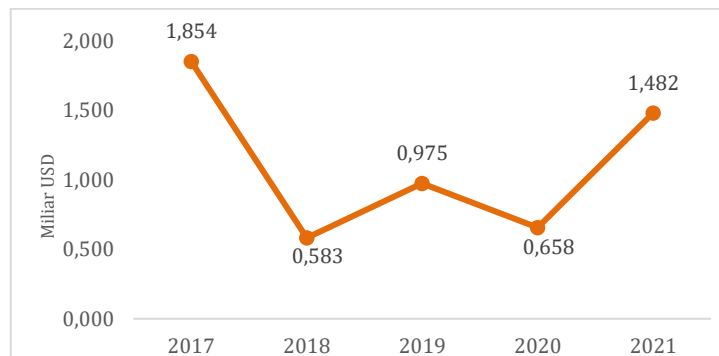
obligasi hijau, perdagangan produk teknologi rendah karbon, perkembangan keuangan, investasi langsung asing, GMM

Pendahuluan

Pemanasan global merupakan salah satu masalah mendesak yang mempengaruhi hampir semua negara di dunia, termasuk negara berkembang (Cheng et al., 2021). Secara luas diperkirakan bahwa masalah ini disebabkan oleh emisi gas rumah kaca (GRK) yang berlebihan, terutama emisi karbon dioksida. Ketergantungan negara berkembang pada bahan bakar fosil sebagai sumber utama energi semakin memperburuk situasi ini, karena peningkatan konsumsi energi berbasis karbon dapat mempercepat peningkatan emisi karbon dioksida (Qudrat-Ullah & Nevo, 2022). Tingkat emisi karbon yang tinggi di negara berkembang disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kelemahan regulasi lingkungan. Kondisi ini dimanfaatkan oleh industri-industri berpolusi dari negara maju yang cenderung memindahkan operasi produksi mereka ke negara berkembang, di mana standar lingkungan yang lebih longgar memungkinkan untuk beroperasi dengan biaya kepatuhan yang lebih rendah. Perpindahan industri ini berkontribusi pada peningkatan emisi karbon dan memperburuk masalah lingkungan di negara-negara berkembang (Khan et al., 2023).

Hal ini sejalan dengan hipotesis *race to the bottom* yang menjelaskan bahwa negara berkembang melonggarkan regulasi lingkungan, seperti kuota emisi karbon yang dihasilkan oleh perusahaan multinasional, untuk menarik Investasi Langsung Asing dari negara maju. Salah satu contohnya adalah Amerika Serikat yang memberikan aliran investasi melalui PT Freeport dengan total investasi mencapai 53,1 miliar USD selama periode 1992-2021. Produksi yang dihasilkan mengakibatkan emisi karbon yang signifikan, karena operasional perusahaan masih mengandalkan energi fosil. Tingginya emisi karbon di negara-negara berkembang menjadikan pembangunan berkelanjutan sebagai salah satu tujuan penting yang harus dicapai di tahun-tahun mendatang. Pencapaian pembangunan berkelanjutan mencakup pengurangan emisi karbon, yang sangat penting untuk menjaga pertumbuhan suhu dunia dalam batas-batas yang wajar, sehingga dapat mencegah terjadinya bencana iklim.

Inisiatif untuk pembangunan berkelanjutan dimulai dengan Perjanjian Paris yang mengharuskan kepada negara-negara yang telah menyetujui perjanjian tersebut untuk membatasi kenaikan suhu global, yang disepakati pada Desember 2015 (Khan & Ozturk, 2021). Dalam perjanjian ini masing-masing negara berkewajiban untuk menentukan target dan langkah-langkah apa saja yang akan dilakukan agar suhu bumi tidak naik, serta menyediakan dukungan dana dan teknologi, sehingga dapat mendukung tercapainya target tersebut (Rizki & Anggraeni, 2022). Hal ini sejalan dengan *Sustainable Development Goals* (SDGs) 13 mengenai aksi iklim yang berfokus pada upaya untuk mengatasi perubahan iklim dan dampaknya. Tujuannya adalah untuk memperkuat ketahanan dan kemampuan adaptasi terhadap bencana terkait iklim, serta mengurangi emisi karbon. SDGs ini juga mendorong pengembangan kebijakan yang mendukung perubahan menuju ekonomi rendah karbon dan berkelanjutan, baik di tingkat nasional maupun global.



Gambar 1. Rata-Rata Penerbitan Obligasi Hijau

Sumber: International Monetary Fund (IMF), Tahun 2017 – 2021 (diolah)

Untuk mencapai target tersebut, investasi hijau sangat penting untuk mengubah standar produksi dan mendorong teknologi ramah lingkungan. Ini alasan mengapa memahami mekanisme pembiayaan investasi hijau melalui obligasi hijau sangat menarik bagi para akademisi dan pembuat kebijakan (Bachelet et al., 2019). Obligasi hijau adalah instrumen utang yang hasilnya digunakan untuk membiayai proyek-proyek dengan berbagai manfaat lingkungan, termasuk mitigasi perubahan iklim. Salah satu perusahaan yang menerbitkan obligasi hijau adalah PT SMI sebesar 3 Triliun Rupiah dengan membiayai proyek-proyek ramah lingkungan seperti energi terbarukan, transportasi bersih, pengelolaan air dan limbah, serta memastikan investor mengetahui alokasi dana dan laporan yang melihat dampak proyek hijau.

Grafik diatas merupakan rata rata-rata penerbitan obligasi hijau di negara berkembang selama periode 2017–2021. Negara ini dipilih berdasarkan negara berkembang yang aktif menerbitkan obligasi hijau setelah perjanjian paris. Grafik ini menunjukkan meskipun penerbitan obligasi hijau mengalami fluktuasi di negara berkembang, namun negara-negara tersebut telah menunjukkan komitmen dalam mengembangkan pembiayaan hijau. Penurunan obligasi hijau disebabkan oleh tantangan seperti standar yang tidak konsisten, informasi yang tidak memadai, kompleksitas evaluasi proyek, dan masalah likuiditas pasar (Huang, 2023).

Selain itu dalam pembangunan berkelanjutan, kontribusi produk hijau terhadap perubahan teknologi dan energi bersih untuk produksi yang lebih ramah lingkungan tidak dapat dipungkiri (Wei et al., 2023). Produk hijau adalah produk dan teknologi yang tidak mengkonsumsi banyak sumber daya dan ramah lingkungan dalam produksi dan pemanfaatannya. Oleh karena itu, produk hijau yang memenuhi standar teknologi lingkungan akan dikenakan hambatan perdagangan ekspor yang lebih rendah, dan dengan demikian tidak terlalu terpengaruh oleh hambatan tarif dan non-tarif. Penggunaan teknologi ini membantu mengurangi ketergantungan pada energi fosil yang berkontribusi terhadap penurunan emisi karbon.

Dalam penelitian (Alamgir & Cheng, 2023; Pang et al., 2024; Shah et al., 2024) menjelaskan bahwa obligasi hijau memiliki pengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon. Selain itu, penelitian (Li et al., 2022; Wei et al., 2023) menjelaskan bahwa perdagangan produk hijau berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon. Namun, temuan ini tidak sejalan dengan hasil penelitian (Pekanov et al., 2023) yang menjelaskan bahwa peningkatan penerbitan obligasi hijau hanya menurunkan sedikit penurunan emisi karbon dan tidak ada hubungan yang signifikan. Selanjutnya, penelitian oleh (Guo et al., 2025) menjelaskan bahwa perdagangan hijau dapat meningkatkan emisi karbon. Selain itu, meskipun negara berkembang telah mengadopsi instrumen ekonomi hijau, laporan dari Climate Leadership Council (2023) menjelaskan bahwa negara-negara berkembang tetap menjadi penyumbang utama peningkatan emisi karbon global dalam beberapa dekade terakhir. Kontradiksi antara hasil penelitian dan kondisi nyata ini mengindikasikan adanya kesenjangan yang menjadi latar belakang penelitian ini.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kembali efektivitas obligasi hijau dan perdagangan hijau dalam menurunkan emisi karbon, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mungkin menghambat kontribusi optimal inisiatif-inisiatif hijau tersebut dalam pengurangan emisi. Pemahaman terhadap kesenjangan ini sangat penting mengingat urgensi pembangunan berkelanjutan dan pencapaian target

pengurangan emisi global. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berguna bagi perumusan kebijakan agar instrumen keuangan hijau dan praktik perdagangan hijau dapat berperan lebih efektif dalam mendukung pencapaian target iklim.

Landasan Literatur dan Pengembangan Hipotesis

Obligasi Hijau dan Emisi Karbon

Obligasi hijau merupakan instrumen utang atau surat berharga yang digunakan untuk menghimpun dana dari investor dengan tujuan menyalurkan dana tersebut untuk membiayai proyek-proyek yang bertujuan meminimalkan dampak emisi karbon (Saha & Maji, 2023). Instrumen ini memainkan peran penting dalam upaya mitigasi perubahan iklim melalui pembiayaan proyek energi terbarukan, peningkatan investasi ramah iklim, serta mendorong transparansi dan akuntabilitas dalam penggunaan dana dan pelaporan hasil proyek (Alamgir & Cheng, 2023). Transparansi dalam pengungkapan informasi terkait alokasi dana menjadi aspek krusial, karena memastikan bahwa investor memahami bagaimana dana tersebut digunakan untuk mendukung proyek-proyek mitigasi perubahan iklim. Dengan demikian, keterbukaan informasi keuangan berperan penting dalam memengaruhi keputusan investasi (Fatica & Panzica, 2021). Hal ini sejalan dengan teori sinyal yang menjelaskan bahwa pihak internal memberikan keterbukaan informasi keuangan kepada investor dan dapat membantu menjaga kepercayaan dan mendukung keberlangsungan perusahaan serta hubungan dengan para investor. Penjelasan tersebut didukung oleh penelitian (Alamgir & Cheng, 2023; Pang et al., 2024; Shah et al., 2024) yang menjelaskan bahwa obligasi hijau berpengaruh negatif dan signifikan dengan memainkan peran penting dalam mempromosikan keberlanjutan dengan menyalurkan sumber-sumber keuangan untuk meningkatkan proyek energi terbarukan sehingga mengurangi emisi karbon dengan peralihan dari energi fosil ke energi terbarukan. Dengan demikian, penelitian ini mengajukan hipotesis sebagai berikut ini:

H₁: Obligasi hijau berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon.

Perdagangan Produk Teknologi Rendah Karbon dan Emisi Karbon

Negara maju berperan dalam mentransfer teknologi ramah lingkungan ke negara berkembang melalui jalur perdagangan internasional (Ahmed et al., 2022; Wei et al., 2023). Peran perdagangan hijau menjadi semakin penting sebagai bagian dari upaya global untuk mendukung pembangunan berkelanjutan (Dong et al., 2023). Produk hijau didefinisikan sebagai produk dan teknologi yang efisien dalam penggunaan sumber daya serta ramah lingkungan dalam proses produksi maupun penggunaannya. Oleh karena itu, produk hijau yang memenuhi standar teknologi lingkungan akan dikenakan hambatan perdagangan ekspor yang lebih rendah, dan dengan demikian tidak terlalu terpengaruh oleh hambatan tarif dan non-tarif (Li et al., 2022).

Produk ramah lingkungan dianggap sebagai salah satu parameter penting yang mempengaruhi kualitas lingkungan. Penggunaan produk hijau yang semakin meluas karena berkaitan dengan aktivitas perdagangan internasional. Melalui perdagangan internasional, negara-negara tidak hanya memproduksi dan mengekspor produk hijau ke seluruh dunia, tetapi juga mengimpor berbagai jenis produk hijau dari negara lain. Kondisi ini memungkinkan perluasan perdagangan sekaligus mendukung upaya perlindungan lingkungan dengan menurunkan tingkat emisi karbon (Can, Ahmed, et al., 2021). Penjelasan tersebut didukung oleh penelitian (Li et al., 2022; Wei et al., 2023) yang menjelaskan bahwa perdagangan produk hijau atau produk ramah lingkungan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon, karena produk tersebut dihasilkan menggunakan teknologi rendah karbon. Dengan demikian, penelitian ini mengajukan hipotesis sebagai berikut ini:

H₂: Perdagangan produk teknologi rendah karbon berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon.

Perkembangan Keuangan Terhadap Emisi Karbon

Efektivitas ekonomi dan keadaan lingkungan dipengaruhi oleh aktivitas sektor keuangan (Y. Yu & Qayyum, 2021). Sistem keuangan yang maju mampu terhubung dengan sistem keuangan yang stabil dan aman sehingga dapat membantu menstimulasi pertumbuhan ekonomi, hal ini dapat mendorong pengembangan teknologi yang menghasilkan sedikit polusi dan lebih efisien (Raihan & Chandra Voumik, 2022). Namun pertumbuhan ekonomi juga berpotensi menimbulkan kerusakan lingkungan karena peningkatan produksi mengakibatkan peningkatan konsumsi energi dan emisi karbon (Geyikci et al., 2022).

Negara maju umumnya memiliki sistem industri yang lebih berkembang, sehingga perusahaan cenderung

berinvestasi pada inovasi teknologi daripada memperluas skala produksi. Selain itu, sektor keuangan di negara maju lebih banyak mendanai proyek ramah lingkungan karena adanya peraturan lingkungan yang ketat dari pemerintah. Akibatnya, pembuat kebijakan di negara maju tidak menghadapi tekanan besar terkait lingkungan saat merencanakan pengembangan sektor keuangan. Hal ini sejalan dengan *financial development theory* yang menjelaskan bahwa sistem keuangan yang efisien dan berkembang dapat mendukung inovasi teknologi.

Sebaliknya, di negara berkembang dengan sektor industri yang masih dalam tahap perkembangan dan tekanan kuat untuk pembangunan ekonomi, perusahaan cenderung memperluas skala produksi melalui kredit tanpa fokus pada teknologi energi terbarukan. Oleh karena itu, perkembangan keuangan di negara berkembang memiliki dampak positif dan signifikan terhadap peningkatan emisi karbon (Chun Jiang, 2019). Penjelasan ini sejalan dengan penelitian (Wijerathna & Dharmarathna, 2023) yang menjelaskan bahwa ketersediaan sumber daya keuangan dan kemajuan teknologi di negara berkembang lebih rendah dibandingkan dengan negara maju. Dengan demikian, penelitian ini mengajukan hipotesis sebagai berikut ini:

H₃: Perkembangan keuangan berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon.

Investasi Langsung Asing dan Emisi Karbon

Peningkatan Investasi Langsung Asing atau FDI dapat menyebabkan peningkatan emisi karbon, hal ini sejalan dengan *Pollution Haven Hypothesis* (PHH) yang menjelaskan bahwa perusahaan dari negara maju memindahkan aktivitas yang mencemari lingkungan ke negara dengan regulasi lingkungan yang lemah agar bisa menghindari biaya pengendalian polusi yang tinggi. Akibatnya, negara-negara tersebut menjadi “surga” polusi, sehingga beban pencemaran lingkungan lebih besar di negara berkembang dibanding negara maju (Copeland, 2003). Hipotesis tersebut di dukung oleh *Race to the Bottom*, yang menyatakan bahwa ketatnya persaingan antar negara berkembang dalam menarik FDI dilakukan melalui pelonggaran regulasi lingkungan (Demena & Afesorgbor, 2020).

Arus masuk FDI ke negara-negara berkembang merupakan hasil dari peraturan lingkungan yang lemah, oleh karena itu lebih banyak FDI yang akan menyebabkan degradasi lingkungan di negara penerima investasi (Khan et al., 2023). Beberapa studi menunjukkan bahwa FDI cenderung berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon di negara-negara berkembang, dibandingkan dengan negara-negara maju (X. Yu et al., 2024). Dengan demikian, penelitian ini mengajukan hipotesis sebagai berikut ini:

H₄: Investasi Langsung Asing berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon.

Metode Penelitian

Fokus dalam penelitian ini ada pada Emisi Karbon Per GDP sebagai Variabel Dependent dan Obligasi Hijau, Perdagangan Produk Teknologi Rendah Karbon, Perkembangan Keuangan, dan Investasi Langsung Asing sebagai Variabel Independent. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 19 Negara Berkembang (Argentina, Brazil, Colombia, Hungary, India, Indonesia, Malaysia, Mauritius, Mexico, Nigeria, Panama, Peru, Philippines, Poland, Russia, South Africa, Thailand, Turkiye, United Arab Emirates) dari tahun 2017 – 2021.

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data kuantitatif yang merupakan bagian dari metode penelitian yang menggunakan data sekunder. Data sekunder dikumpulkan dari bahan penelitian yang sudah dipublikasi, laporan dari organisasi tertentu, seperti *The Emissions Database For Global Atmospheric Research* (EDGAR), *United Nations Conference On Trade and Development* (UNCTAD), dan *International Monetary Fund* (IMF). Penelitian ini menggunakan metode *GMM (Generalized Method of Moment)*.

Data Panel Dinamis

Data panel dinamis adalah model regresi yang memasukkan variabel dependen lag (nilai variabel dependen pada periode sebelumnya). Persamaan modelnya dapat ditulis pada persamaan berikut ini:

$$Y_{it} = \alpha + \beta y_{it} + \gamma X_{it} + \varepsilon_{it}$$

Melalui penjelasan di atas bahwa adanya hubungan lag variabel dependen dengan variabel residu pada model data panel dinamis yang mengakibatkan penggunaan OLS menjadi tidak konsisten. Untuk dapat menggunakan metode GMM perlu ditambahkan pengganti lag variabel dependen yaitu dengan Variabel Instrumen (VI),

dimana penambahan tersebut bertujuan utama untuk dapat menghilangkan permasalahan koreksi lag pada variabel dependen. Dengan ditambahkannya VI tersebut, maka akan terbentuk persamaan sebagai berikut:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta y_{i,t-1} + \gamma' X_{i,t-1} + \varepsilon_{i,t}$$

Dalam persamaan diatas variabel terikat direpresentasikan oleh notasi Y, variabel bebas yaitu X, waktu invariant spesifik individu fixed effect yaitu m , kesalahan pengganggu atau error term yaitu ε , dan yang terakhir yaitu i, t sebagai notasi individu dan periode waktu. Untuk dapat menghindari permasalahan simultanitas pada parameter maka perlu adanya variabel yang mengontrol endogenitas variabel penjelas dalam model regresi, maka (Arellano & Bond, 1991) mengusulkan first-differenced GMM estimator dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y_{i,t} - Y_{i,t-1} = \gamma(Y_{i,t-1} - Y_{i,t-2}) + \beta(X_{i,t} - X_{i,t-1}) + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})$$

Pada persamaan first-difference telah dilakukan pengeliminasian pada intercept dan spesifikasi individu fixed effect, namun hal tersebut tidak akan menghilangkan bias dan ketidakkonsistenan sebab masih terdapat lag variabel dependen yaitu $(Y_{i,t-1} - Y_{i,t-2})$ dan kesalahan pengganggu yaitu $(\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})$ yang berkorelasi. Maka dari itu, dengan mengacu pada metodologi yang dikemukakan oleh (Arellano & Bond, 1991) terbentuklah model persamaan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

$$CO2_{i,t} - CO2_{i,t-1} = \beta_0 + \beta(CO2_{i,t-1} - CO2_{i,t-2}) + \gamma(LNGB_{i,t} - LNGB_{i,t-1}) + \gamma(LCT_{i,t} - LCT_{i,t-1}) + \gamma(FD_{i,t} - FD_{i,t-1}) + \gamma(LNFDI_{i,t} - LNFDI_{i,t-1}) + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})$$

Keterangan :

CO2	: Emisi Karbon Per GDP (tCO2 eq/k USD)
LNGB	: Obligasi Hijau (%)
LCT	: Perdagangan Produk Teknologi Rendah Karbon (%)
FD	: Perkembangan Keuangan
LNFDI	: Investasi Langsung Asing (%)
β_0	: Konstanta
β, γ	: Koefisien Regresi
i	: Banyaknya <i>cross-section</i>
t	: Banyaknya <i>time series</i>
ε	: Komponen error/error term

Uji Spesifikasi Model

Dalam model regresi panel dinamis, pengujian spesifikasi melibatkan beberapa uji, antara lain uji Arellano-Bond, uji Sargan, serta pemeriksaan ketidakbiasan estimasi. Uji Arellano-Bond berfungsi untuk memastikan model konsisten dengan memeriksa kemungkinan adanya autokorelasi pada residual, sementara uji Sargan bertujuan untuk memvalidasi penggunaan variabel instrumen yang jumlahnya melebihi parameter yang diestimasi (overidentifying restrictions). Berikut hipotesis yang digunakan pada Arellano-Bond Test:

H0 : Tidak terdapat autokorelasi pada serial orde kedua pada model penelitian

H1 : Terdapat autokorelasi pada serial orde kedua pada model penelitian

Estimasi model GMM bersifat konsisten apabila nilai $m(2)$ menghasilkan keputusan tidak signifikan. Maka hasil penarikan hipotesis yang diharapkan yaitu terima H0 yang dapat diperoleh dengan memenuhi kriteria nilai Pvalue pada $AR(2) > \alpha (0,05)$. Selanjutnya, hipotesis yang digunakan pada Sargan test adalah sebagai berikut:

H0 : Estimasi model yang digunakan dalam kondisi valid, tidak adanya korelasi antar variabel instrumen dengan error

H1 : Estimasi model yang digunakan dalam kondisi tidak valid, terdapat korelasi antar variabel instrumen dengan error

Keputusan yang diharapkan dalam sargan test ini yaitu menghasilkan hasil keputusan tidak tolak H0 dimana untuk memperoleh keputusan tersebut perlu memenuhi kriteria nilai P-value $> \alpha (0,05)$.

Uji Ketidakbiasan

Apabila estimasi regresi panel dinamis dilakukan dengan metode Ordinary Least Squares (OLS), hasil yang diperoleh cenderung mengalami bias dan ketidak-konsistenan akibat adanya korelasi antara lag variabel

dependen dengan error. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan metode Generalized Method of Moments (GMM) yang mampu memberikan estimasi yang tidak bias dan konsisten. Validitas ketidakbiasan dalam metode GMM dapat diuji dengan membandingkan nilai koefisien lag dependen yang dihasilkan dengan model Fixed Effect Model (FEM) dan Pooled Least Squares (PLS). Estimasi yang dianggap tidak bias dan dapat digunakan dalam metode GMM adalah yang berada di antara nilai estimasi FEM dan PLS.

Uji Signifikansi Parameter

Uji signifikansi parameter digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel independent terhadap dependent baik secara parsial maupun simultan. Uji signifikansi parsial digunakan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dari masing-masing variabel independent terhadap variabel dependent. Pengambil kesimpulan dalam uji signifikansi parsial dengan melihat nilai $Z_{hitung} > Z_{tabel}$ atau $-Z_{hitung} < -Z_{tabel}$ dengan nilai $Pvalue < \alpha$ (0,05). Selanjutnya Uji signifikansi simultan digunakan untuk mengetahui apakah semua variabel independen secara bersama-sama (simultan) berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen, dengan pengambilan kesimpulan nilai $Pvalue$ pada uji wald $< \alpha$ (0,05).

Hasil dan Pembahasan

Estimasi Model Regresi Data Panel Dinamis

Penelitian ini menggunakan model *first difference* GMM (FD-GMM) dan *system* GMM (SYS-GMM) *two step*, tabel 1, menunjukkan estimasi FD-GMM dan tabel 2, menunjukkan estimasi SYS-GMM.

Uji Spesifikasi Model Regresi Data Panel Dinamis

Tabel 3 menunjukkan hasil uji Arellano-Bond yang digunakan untuk mendeteksi autokorelasi pada residual model regresi panel dinamis. Fokus utama pengujian ini adalah autokorelasi orde kedua, di mana nilai $Pvalue$ untuk statistik $m(2)$ pada metode FD-GMM dan SYS-GMM $> \alpha$ (0,05), sehingga tidak tolak H_0 . Hal ini menunjukkan hasil yang tidak signifikan dan tidak terdapat autokorelasi pada orde kedua, sehingga estimasi model FD-GMM dan SYS-GMM dapat dianggap konsisten.

Tabel 4 menyajikan hasil uji Sargan yang berfungsi untuk memvalidasi penggunaan variabel instrumen yang melebihi jumlah parameter estimasi dalam model GMM. Uji ini memastikan bahwa instrumen yang digunakan tidak berkorelasi dengan error term. Dari model FD-GMM dan SYS-GMM memperoleh nilai $Pvalue > \alpha$ (0,05), sehingga tidak tolak H_0 . Hal ini menunjukkan bahwa model memenuhi kondisi validitas instrumen dan estimasi yang dihasilkan valid.

Tabel 1. Estimasi Parameter Pendekatan FD-GMM

Parameter	Koefisien	Standard Error	z	Pvalue
L1.CO2	0.9261343	0.2178181	4.25	0.000
LNGB	-0.0022188	0.001013	-2.19	0.028
LCT	-0.0012597	0.0024307	-0.52	0.604
FD	0.1571084	0.0681836	2.30	0.021
LNFDI	0.0027045	0.0029243	0.92	0.355
Uji Wald	55.55			
Pvalue	0.0000			

Tabel 2. Estimasi Parameter Pendekatan SYS-GMM

Parameter	Koefisien	Standard Error	z	Pvalue
L1.CO2	0.9525946	0.0452628	21.05	0.000
LNGB	-0.0022863	0.0008112	-2.82	0.005
LCT	-0.0029854	0.00117	-2.55	0.011
FD	0.1705535	0.0527006	3.24	0.001
LNFDI	0.0042028	0.0010645	3.95	0.000
Uji Wald	1415.16			
Pvalue	0.0000			

Tabel 3. Hasil Uji Spesifikasi Arellano-Bond FD-GMM dan SYS-GMM

	FD-GMM	<i>Pvalue</i>	SYS-GMM	<i>Pvalue</i>
m(1)	-1.2453	0.2130	-1.27	0.2041
m(2)	1.1997	0.2303	1.2795	0.2007

Tabel 4. Hasil Uji Sargan FD-GMM dan SYS-GMM

FD-GMM	<i>Pvalue</i>	SYS-GMM	<i>Pvalue</i>
3.215742	0.6668	5.306792	0.7243

Tabel 5. Perbandingan Estimator GMM dengan FEM dan PLS

Parameter	FEM	FD-GMM	SYS-GMM	PLS
δ	0.47987159	0.92613431	0.95259463	0.97046104

Tabel 6. Ringkasan Hasil Pengujian

Kriteria	FD-GMM	SYS-GMM
Uji Sargan	Terpenuhi	Terpenuhi
Uji Arellano-Bond	Terpenuhi	Terpenuhi
Ketidakhbiasan	Terpenuhi	Terpenuhi

Tabel 5 membandingkan koefisien lag variabel dependen yang dihasilkan oleh metode GMM (FD-GMM dan SYS-GMM) dengan model Fixed Effect Model (FEM) dan Pooled Least Squares (PLS). Nilai koefisien dari kedua metode GMM berada di antara nilai estimasi FEM dan PLS, yang menunjukkan bahwa estimasi GMM memenuhi kriteria ketidakhbiasan. Dalam penelitian ini model FD-GMM dan SYS-GMM memenuhi kriteria ketidakhbiasan karena kedua model tersebut berada diantara FEM dan PLS.

Pemilihan Model Data Panel Dinamis

Berdasarkan Tabel 6, model FD-GMM dan SYS-GMM telah memenuhi uji spesifikasi model panel dinamis, pemilihan antara keduanya dapat didasarkan pada standar error yang lebih kecil. Berdasarkan hasil perbandingan model FD-GMM dan SYS-GMM, standar error terkecil terdapat pada model SYS-GMM. Maka penelitian ini menggunakan pendekatan SYS-GMM.

Uji Signifikansi Parameter

Uji signifikansi parameter terdiri dari uji simultan dan uji parsial. Uji simultan dilakukan untuk mengetahui pengaruh seluruh variabel independen terhadap variabel dependen. Berdasarkan Tabel 2 (Estimasi SYS-GMM) nilai probabilitas uji wald $< \alpha$ (0.05) maka kesimpulan nya lag emisi karbon, obligasi hijau, perdagangan produk teknologi rendah karbon, perkembangan keuangan dan investasi langsung asing secara simultan berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon

Selanjutnya uji parsial dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh dari variabel independent terhadap dependent. Syarat pengambilan keputusannya ialah ketika nilai $Z_{hitung} > Z_{tabel}$ atau $-Z_{hitung} < -Z_{tabel}$ dengan $Pvalue < \alpha$ (0,05). Berdasarkan pada Tabel 2, variabel obligasi hijau dan perdagangan produk teknologi rendah karbon memiliki nilai $-Z_{hitung} < -Z_{tabel}$ (-1,96) dengan nilai $Pvalue < \alpha$ (0,05). Sedangkan perkembangan keuangan dan investasi langsung asing memiliki nilai $Z_{hitung} > Z_{tabel}$ (1,96) dengan nilai $Pvalue < \alpha$ (0,05). Maka dapat diambil kesimpulan bahwa obligasi hijau dan perdagangan produk teknologi rendah karbon berpengaruh negatif dan signifikan, serta perkembangan keuangan dan investasi langsung asing berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon.

Berdasarkan pendekatan SYS-GMM pada Tabel 2, diperoleh persamaan SYS-GMM sebagai berikut:

$$\text{CO}_{2,i,t} = -0.106814 + 0.9525946\text{CO}_{2,i,t-1} - 0.0022863\text{LNGB}_{i,t} - 0.0029854\text{LCT}_{i,t} + 0.1705535\text{FD}_{i,t} + 0.0042028\text{LNFDI}_{i,t} + (\varepsilon_{i,t} - \varepsilon_{i,t-1})$$

Koefisien Obligasi Hijau (LNGB) sebesar -0.0022 menjelaskan bahwa kenaikan 1 persen Obligasi Hijau akan menurunkan emisi karbon sebesar 0.0023 persen. Penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Saha & Maji, 2023) menjelaskan bahwa obligasi berpengaruh negatif dan signifikan di negara berkembang, sementara pengaruhnya lemah di negara maju. Penelitian ini menunjukkan bahwa obligasi hijau lebih efektif dalam menurunkan emisi karbon di negara-negara dengan tingkat keberlanjutan yang rendah dan tingkat emisi yang tinggi. Sebaliknya, di negara-negara maju dengan tingkat keberlanjutan yang tinggi, pengaruh obligasi hijau terhadap penurunan emisi cenderung sedikit, mungkin disebabkan oleh rendahnya tingkat emisi yang sudah dicapai.

Koefisien Perdagangan Produk Teknologi Rendah Karbon (LCT) sebesar -0.0029 menjelaskan bahwa kenaikan 1 persen perdagangan produk tersebut akan menurunkan emisi karbon sebesar 0.0029 persen. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Can, et al., 2021) yang menjelaskan bahwa perdagangan produk hijau dapat berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan, karena produk-produk hijau yang diperdagangkan cenderung memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan produk konvensional. Dengan demikian, semakin tinggi keterbukaan terhadap perdagangan produk hijau, semakin kecil emisi karbon yang dihasilkan oleh negara tersebut. Hasil ini memberikan bukti empiris bahwa fokus pada perdagangan produk hijau, bukan hanya peningkatan perdagangan secara umum, tetapi menjadi strategi untuk mengurangi tekanan terhadap lingkungan dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

Koefisien perkembangan keuangan (FD) sebesar 0.1705 menjelaskan bahwa kenaikan 1 persen perkembangan keuangan akan meningkatkan emisi karbon sebesar 0.17055 persen. Hal ini sejalan dalam penelitian (Chun Jiang, 2019) yang menjelaskan bahwa perkembangan sektor keuangan memiliki pengaruh positif dan signifikan di negara berkembang. Hal ini disebabkan oleh tekanan besar untuk mencapai pertumbuhan ekonomi, sehingga prioritas utama adalah meningkatkan output produksi dibandingkan dengan menjaga kualitas lingkungan. Perusahaan-perusahaan di negara berkembang cenderung menggunakan kredit untuk memperluas skala produksi, daripada menginvestasikan dana dalam pengembangan teknologi hemat energi. Selain itu, proses produksi yang digunakan masih sangat bergantung pada energi fosil, yang berkontribusi pada peningkatan emisi karbon.

Koefisien investasi langsung asing (LNFDI) sebesar 0.0042 menjelaskan bahwa kenaikan 1 persen investasi langsung asing akan meningkatkan emisi karbon sebesar 0.0042 persen. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian (Xie et al., 2019) yang menjelaskan bahwa investasi langsung asing berpengaruh positif dan signifikan, sehingga mendukung *Haven Hypothesis Pollution* yang menjelaskan bahwa produksi yang mencemari lingkungan dapat menyertai modal asing yang diinvestasikan, terutama di negara berkembang dengan alasan bahwa persaingan yang ketat diantara negara-negara berkembang untuk menarik investasi langsung asing dapat menyebabkan pelonggaran regulasi lingkungan, sehingga mendorong perusahaan di negara maju untuk memindahkan produksi yang meningkatkan emisi karbon ke negara berkembang, Hal ini diperkuat oleh hipotesis *race to the bottom* yang menjelaskan bahwa negara berkembang menurunkan standar regulasi lingkungan agar perusahaan multinasional tertarik memindahkan produksi mereka (Demena & Afesorgbor, 2020).

Kesimpulan

Kesimpulan Penelitian

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerbitan obligasi hijau dan perdagangan produk teknologi rendah karbon secara signifikan berkontribusi dalam menurunkan emisi karbon di negara berkembang selama periode 2017–2021. Namun, besaran pengaruhnya relatif kecil, dengan kontribusi penurunan emisi karbon sebesar 0.0022 persen dari obligasi hijau dan 0.0029 persen dari perdagangan hijau. Di sisi lain, *financial development* dan *foreign direct investment* berpengaruh positif dan signifikan dalam meningkatkan emisi karbon, dengan kontribusi masing-masing sebesar 0.1705 persen dan 0.0042 persen. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem

keuangan di negara berkembang, yang didukung oleh sektor industri yang masih dalam tahap pertumbuhan dan tekanan kuat untuk mempercepat pembangunan ekonomi, cenderung mendorong perluasan skala produksi tanpa memperhatikan penggunaan teknologi energi terbarukan. Selain itu, kegiatan produksi oleh perusahaan multinasional masih sangat bergantung pada sumber energi fosil, yang berkontribusi pada peningkatan emisi karbon di negara tersebut. Dengan demikian, meskipun negara berkembang mulai transisi ekonomi hijau dengan menggunakan produk teknologi rendah karbon dan menjalankan proyek energi terbarukan, dominasi penggunaan energi fosil lebih besar dalam proses produksi dan masih menjadi hambatan utama dalam upaya pengurangan emisi karbon secara signifikan. Hal ini membutuhkan percepatan transisi ekonomi hijau.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain penggunaan data yang terbatas pada periode 2017 hingga 2021, sehingga belum mencakup rentang waktu yang lebih panjang yang diperlukan untuk menggambarkan tren jangka panjang mengenai hubungan antara ekonomi hijau dan emisi karbon. Selain itu, cakupan penelitian hanya melibatkan negara berkembang, tidak mencakup ke negara maju atau negara dengan kondisi ekonomi dan lingkungan yang berbeda.

Implikasi

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa percepatan transisi menuju ekonomi hijau merupakan kebutuhan yang sangat mendesak. Oleh karena itu, sebagai saran dalam penelitian ini bank sentral perlu mempertimbangkan penerapan kebijakan *Green Quantitative Easing* sebagai instrumen strategis untuk mendukung percepatan transisi tersebut. Kebijakan *Green quantitative easing* yang dilakukan oleh bank sentral dengan membeli obligasi perusahaan atau pemerintah yang secara khusus mendukung proyek-proyek lingkungan, seperti energi terbarukan, efisiensi energi, dan investasi hijau lainnya.

Berbeda dengan *quantitative easing* konvensional yang membeli berbagai jenis obligasi untuk merangsang ekonomi dan menurunkan suku bunga umum, *Green Quantitative Easing* difokuskan secara khusus pada pasar obligasi hijau yang mendukung keberlanjutan lingkungan, beberapa negara sudah mempertimbangkan dan mengembangkan kebijakan green quantitative easing diantaranya *Bank Of England* dan *European Central Bank*. Selain itu, langkah-langkah lain yang dapat diambil meliputi penerapan pajak karbon, peningkatan investasi publik pada proyek-proyek hijau, serta intervensi regulasi yang ketat untuk mendorong praktik industri yang ramah lingkungan.

Saran Penelitian Selanjutnya

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data dengan periode yang lebih panjang dan cakupan negara yang lebih luas, termasuk negara maju. Selain itu, variabel lingkungan tambahan seperti penggunaan energi terbarukan dan kebijakan hijau perlu dimasukkan untuk analisis yang lebih komprehensif.

Daftar Pustaka

- Ahmed, Z., Ahmad, M., Rjoub, H., Kalugina, O. A., & Hussain, N. (2022). Economic growth, renewable energy consumption, and ecological footprint: Exploring the role of environmental regulations and democracy in sustainable development. *Sustainable Development*, 30(4), 595–605.
<https://doi.org/10.1002/sd.2251>
- Alamgir, M., & Cheng, M. C. (2023). Do Green Bonds Play a Role in Achieving Sustainability? *Sustainability (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su151310177>
- Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some Test of Spesification for Data Panel: Monte Carlo Evidence and an Aplication of Employment Equations. *Source: The Review of Economic Studies*, 58(2), 277–297.
[doi:10.2307/2297968](https://doi.org/10.2307/2297968)
- Bachelet, M. J., Becchetti, L., & Manfredonia, S. (2019). The green bonds premium puzzle: The role of issuer characteristics and third-party verification. *Sustainability (Switzerland)*, 11(4), 1–22.
<https://doi.org/10.3390/su11041098>
- Can, M., Ahmed, Z., Mercan, M., & Kalugina, O. A. (2021). The role of trading environment-friendly goods in environmental sustainability: Does green openness matter for OECD countries? *Journal of Environmental Management*, 295(May), 113038. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113038>
- Can, M., Jebli, M. Ben, & Brusselaers, J. (2021). Exploring the Impact of Trading Green Technology

- Products on the Environment: Introducing the Green Openness Index. *SSRN Electronic Journal*, 106730. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3804046>
- Cheng, C., Ren, X., Dong, K., Dong, X., & Wang, Z. (2021). How does technological innovation mitigate CO2 emissions in OECD countries? Heterogeneous analysis using panel quantile regression. *Journal of Environmental Management*, 280(November 2020), 111818. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111818>
- Chun Jiang. (2019). The Impact of Financial Development on Carbon Emissions: A Global Perspective. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 11(6), 353–364. <https://doi.org/10.32479/ijee.11872>
- Climate Leadership Council. (2023, Juli). *Emissions growth in the developing world*. Retrieved June 1, 2025, <https://clcouncil.org/blog/emissions-growth-in-the-developing-world/>
- Copeland, B. R. (2003). TRADE, GROWTH AND THE ENVIRONMENT. *Journal GEEJ*, 7(2).
- Demena, B. A., & Afesorbor, S. K. (2020). The effect of FDI on environmental emissions: Evidence from a meta-analysis. *Energy Policy*, 138, 111192. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111192>
- Dong, K., Li, J., & Dong, X. (2023). How do green product exports affect carbon emissions? Evidence from China. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 21(2), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.cjpre.2023.06.001>
- Fatica, S., & Panzica, R. (2021). Green bonds as a tool against climate change? *Business Strategy and the Environment*, 30(5), 2688–2701. <https://doi.org/10.1002/bse.2771>
- Geyikci, U. B., Çınar, S., & Sancak, F. M. (2022). Analysis of the Relationships among Financial Development, Economic Growth, Energy Use, and Carbon Emissions by Co-Integration with Multiple Structural Breaks. *Sustainability (Switzerland)*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/su14106298>
- Guo, M., Cui, Y., Li, Z., Wang, J., & Qiao, S. (2025). Global carbon emission governance and green trade: the moderating role of political stability and trade diversity. *Frontiers in Environmental Science*, 13(March), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1517472>
- Huang, X. (2023). *Research and Prospects for the Development of Green Bonds under the Dual Carbon Target*. 10(3).
- Khan, M., & Ozturk, I. (2021). Examining the direct and indirect effects of financial development on CO2 emissions for 88 developing countries. *Journal of Environmental Management*, 293(May), 112812. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112812>
- Khan, M., Rana, A. T., & Ghardallou, W. (2023). FDI and CO2 emissions in developing countries: the role of human capital. In *Natural Hazards* (Vol. 117, Issue 1). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05949-4>
- Li, J., Dong, K., Dong, X., & Shahbaz, M. (2022). How green trade influences pollution emissions in China: A provincial perspective. *Energy Economics*, 115(October 2021), 106330. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106330>
- Pang, H., Wu, C., & Zhang, L. (2024). The impact of green bond issuance on carbon emission intensity and path analysis. *PLoS ONE*, 19(6 June), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0304364>
- Pekanov, D., Crnković, B., & Bestvina Bukvić, I. (2023). Green bonds and carbon emissions. *Ekonomski Vjesnik*, 36(1), 113–123. <https://doi.org/10.51680/ev.36.1.9>
- Quadrat-Ullah, H., & Nevo, C. M. (2022). Analysis of the Dynamic Relationships among Renewable Energy Consumption, Economic Growth, Financial Development, and Carbon Dioxide Emission in Five Sub-Saharan African Countries. *Energies*, 15(16). <https://doi.org/10.3390/en15165953>
- Raihan, A., & Chandra Voumik, L. (2022). Carbon Emission Dynamics in India Due to Financial Development, Renewable Energy Utilization, Technological Innovation, Economic Growth, and Urbanization. *Journal of Environmental Science and Economics*, 1(4), 36–50. <https://doi.org/10.56556/jescae.v1i4.412>
- Rizki, C. A., & Anggraeni, P. W. (2022). Analisis Pengaruh Foreign Direct Investment, Penanaman Modal Dalam Negeri, Dan Gross Domestic Product Terhadap Emisi Karbon Di Indonesia. *Journal of Development Economic and Social Studies*, 1(4), 529–538. <https://doi.org/10.21776/jdess.2022.01.4.03>
- Saha, R., & Maji, S. G. (2023). Do green bonds reduce CO2 emissions? Evidence from developed and developing nations. *International Journal of Emerging Markets*. <https://doi.org/10.1108/IJOEM-05-2023-0765>
- Shah, S. S., Murodova, G., & Khan, A. (2024). Achieving zero emission targets: The influence of green

- bonds on clean energy investment and environmental quality. *Journal of Environmental Management*, 364(June), 121485. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121485>
- Wei, S., Jiandong, W., & Saleem, H. (2023). The impact of renewable energy transition, green growth, green trade and green innovation on environmental quality: Evidence from top 10 green future countries. *Frontiers in Environmental Science*, 10(January), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1076859>
- Wijerathna, & Dharmarathna. (2023). Effect of the Financial Development on Carbon Emission: an Empirical Investigation From a Global Perspective. *Journal of Accountancy & Finance*, 10(1), 1–18. <https://doi.org/10.57075/jaf1012301>
- Xie, Q., Wang, X., & Cong, X. (2019). How does foreign direct investment affect CO2 emissions in emerging countries? New findings from a nonlinear panel analysis. *Journal of Cleaner Production*, 119422. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119422>
- Yu, X., Kuruppuarachchi, D., & Kumarasinghe, S. (2024). Financial development, FDI, and CO2 emissions: does carbon pricing matter? *Applied Economics*, 56(25), 2959–2974. <https://doi.org/10.1080/00036846.2023.2203460>
- Yu, Y., & Qayyum, M. (2021). Impacts of financial openness on economic complexity: Cross-country evidence. *International Journal of Finance and Economics*, 28(2), 1514–1526. <https://doi.org/10.1002/ijfe.2491>