

## PENGARUH DEFORESTASI TERHADAP EMISI CO<sub>2</sub> PADA NEGARA BERIKLIM TROPIS DI BENUA ASIA

Maksimilianus Paulus Jati Gamatara<sup>1</sup>; Deni Kusumawardani<sup>2</sup>

Universitas Airlangga, Surabaya<sup>1,2</sup>

Email : jatimaksy12@gmail.com<sup>1</sup>; deniku@feb.unair.ac.id<sup>2</sup>

### ABSTRAK

Masalah kondisi perubahan iklim akibat adanya peningkatan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari berbagai jenis aktifitas manusia salah satunya adalah akibat dari deforestasi. Masalah deforestasi seringkali disepelekan dan diremehkan padahal pengaruh dari deforestasi dapat menjadi penghambat dalam program *Sustainable Development Goals* (SDGs) terutama SDGs 13 yaitu menstabilkan perubahan iklim. Selain itu, masalah deforestasi paling banyak terjadi di wilayah yang beriklim tropis. Oleh karena itu, tujuan utama dalam penelitian ini adalah menganalisis pengaruh deforestasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada 14 negara beriklim tropis di benua Asia selama 20 tahun dari tahun 2001-2020. Penelitian ini juga akan mengkaji pengaruh jumlah penduduk, pendapatan dan konsumsi energi terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Untuk mencapai tujuan utama dalam penelitian ini, digunakan studi empiris kuantitatif dengan metode utamanya adalah metode DOLS dan untuk memperkuat ketahanan hasil estimasi digunakan metode FMOLS. Hasil estimasi DOLS menunjukkan bahwa peningkatan 1% deforestasi maka akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.026105%. Selain itu, pendapatan dan konsumsi energi diketahui memiliki pengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dan pada penelitian lebih lanjut terkait hubungan pendapatan dan emisi CO<sub>2</sub>, diketahui bahwa terdapat EKC berbentuk U terbalik. Namun demikian, pengaruh jumlah penduduk diketahui berpengaruh terhadap pengurangan emisi CO<sub>2</sub>. Hasil estimasi DOLS ini diperkuat dengan hasil estimasi FMOLS yang menunjukkan pengaruh dan arah yang sama. Dari hasil penelitian ini, kebijakan yang harus diambil oleh para pemegang kekuasaan adalah memperketat aturan mengenai kehutanan terutama terkait izin penebangan dan pengalihan lahan. Serta saran praktis yang harus dilakukan adalah dengan melakukan tindakan reboisasi.

Kata kunci : Emisi CO<sub>2</sub>; Deforestasi; Hutan; SDGs; EKC

### ABSTRACT

*The problem of climate change conditions due to increased CO<sub>2</sub> emissions resulting from various types of human activities, one of which is the result of deforestation. The problem of deforestation is often overlooked and underestimated, even though the effects of deforestation can be an obstacle in the program of the Sustainable Development Goals (SDGs), especially SDG 13, which is to stabilize climate change. Moreover, the problem of deforestation is most prevalent in tropical regions. Therefore, the main objective of this study is to analyze the impact of deforestation on CO<sub>2</sub> emissions in 14 tropical countries in the Asian continent for 20 years from 2001 to 2020. This study will also examine the influence of population, income and energy consumption on CO<sub>2</sub> emissions. To achieve the main objective of this research, a quantitative empirical study with the main method is the DOLS method and to strengthen the robustness of the estimation results, the FMOLS method is used. The DOLS estimation results show that a 1% increase in deforestation increases CO<sub>2</sub>*

*emissions by 0.026105%. In addition, income and energy consumption are known to have an influence on increasing CO<sub>2</sub> emissions, and in further research on the relationship between income and CO<sub>2</sub> emissions, it is known that there is an inverted U-shaped EKC. However, the effect of population is known to have an effect on reducing CO<sub>2</sub> emissions. The DOLS estimation results are supported by the FMOLS estimation results, which show the same effect and direction. From the results of this study, the policy that must be taken by the rulers is to tighten the rules regarding forestry, especially regarding logging licenses and land changes. As well as practical advice that must be done is to carry out reforestation activities.*

*Keywords : CO<sub>2</sub> Emissions; Deforestation; Forest; SDGs; EKC*

## PENDAHULUAN

Salah satu isu lingkungan yang terjadi dan menjadi masalah utama yang terjadi di dunia adalah masalah perubahan iklim. Perubahan iklim yang terjadi sendiri merupakan efek dari pemanasan global dikarenakan oleh adanya peningkatan konsentrasi emisi gas rumah kaca oleh aktivitas yang dilakukan oleh manusia. Konsentrasi gas rumah kaca itu sendiri terutama didominasi berasal dari karbon dioksida kemudian diikuti oleh metana dan nitrogen dioksida (NASA, 2024). Efek gas rumah kaca, paling dominan dihasilkan dari gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) yang diakibatkan oleh berbagai jenis aktivitas manusia seperti deforestasi hutan akibat kebakaran hutan maupun pengalihan lahan hutan untuk pertanian (Begum *et al.*, 2020; IPCC, 2014; Raihan *et al.*, 2022; Uddin, 2021).

Semenjak terjadinya revolusi industri pada abad ke-18, emisi CO<sub>2</sub> akibat dari deforestasi serta degradasi hutan meningkat pesat dan puncaknya pada tahun 1980-an. Hal ini menekankan dua hal penting yaitu yang pertama bahwa deforestasi bukanlah masalah baru yang terjadi saat ini dan yang kedua memperjelas seberapa besar percepatan deforestasi dalam beberapa abad terakhir (Ritchie & Roser, 2021). Kegiatan pembangunan dan pertumbuhan ekonomi juga menyebabkan peningkatan emisi karbon dari kegiatan pembukaan lahan dan konversi lahan hutan menjadi kegiatan penggunaan lahan berbasis ekonomi lainnya seperti pertanian, pemukiman, pertambangan, budidaya ikan, dan lain-lain (Jaafar *et al.*, 2020). Seydewitz *et al.*, (2023) memperkirakan bahwa deforestasi dan degradasi hutan berkontribusi pada kurang lebih 17% emisi gas rumah kaca secara global, menjadikannya penyebab utama kedua emisi CO<sub>2</sub> dari manusia. Selain itu, sebanyak 95% deforestasi di seluruh dunia terjadi di daerah tropis terkhususnya di wilayah Amerika Latin dan Asia Tenggara dan juga terdapat dua negara yang menjadi penyumbang terbesar dalam deforestasi, yaitu Brasil dan Indonesia yang dari kedua negara tersebut menyumbang hampir setengahnya (Ritchie & Roser, 2021).

Dalam pembangunan berkelanjutan, hutan sendiri memiliki peran yang sangat penting dalam keberlangsungannya suatu pembangunan berkelanjutan. Dalam sidang majelis umum PBB yang dilakukan di New York tahun 2017, hutan memiliki peran dalam kontribusinya pada berbagai target pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals* atau SDGs). Hasil hutan yang diperoleh dapat berkontribusi pada berbagai kesejahteraan masyarakat dan peran jasa yang diberikan hutan sangat beragam terutama pada SDGs 13 yaitu untuk menstabilkan iklim. Jasa ekosistem yang diberikan oleh hutan terhadap berbagai tujuan pembangunan serta bagaimana deforestasi dapat menjadi masalah karena dapat merusak capaian tujuan ini adalah suatu hal yang sering kali kurang dihargai oleh berbagai pihak. Oleh karena itu dalam upaya mencapai program SDG, seharusnya tidak mengabaikan peran hutan dalam pembentukan kebijakan dan keuangan sektoral pada program SDG. Sehingga isu deforestasi tidak dapat dianggap sepele dikarenakan deforestasi dapat menjadi penghambat dalam berbagai target pembangunan berkelanjutan (WRI, 2017).

Selain hutan yang dapat berperan sebagai penyerap dan sebagai sumber emisi CO<sub>2</sub> akibat dari deforestasi, terdapat beberapa pengaruh yang dapat meningkatkan konsentrasi emisi CO<sub>2</sub> seperti pengaruh dari jumlah penduduk, pendapatan dan konsumsi energi. Perubahan iklim yang terjadi akibat dari konsentrasi emisi didorong oleh faktor antropogenik diantaranya adalah jumlah penduduk, kemakmuran berupa pendapatan dan teknologi yang diukur dari intensitas konsumsi energi. Ketiga faktor antropogenik tersebut berkaitan satu sama lain yang diformulasikan ke dalam model yang dikembangkan oleh Paul Ehrlich dan John Holdren. Model tersebut adalah model IPAT (*Impact-Population-Affluance-Technology*). Jumlah penduduk memiliki pengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> (Namahoro *et al.*, 2021; Raihan, 2023; Sikder *et al.*, 2022; Uddin, 2021; Zeng *et al.*, 2021). Jumlah penduduk menyebabkan penambahan penggunaan energi serta lahan yang pada akhirnya mempengaruhi peningkatan emisi. Jumlah penduduk telah menjadi salah satu kekuatan pendorong utama dibalik peningkatan emisi CO<sub>2</sub> di seluruh dunia selama dua dekade terakhir selain itu diperkirakan bahwa pada tahun 2025 di masa depan, setengah dari peningkatan emisi disebabkan oleh penduduk dunia (Shi., 2001).

Di beberapa jurnal, pendapatan sebagai proksi dari aktivitas ekonomi dan emisi CO<sub>2</sub> memiliki hubungan yang kompleks. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa

pendapatan cenderung meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> serta mendukung hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) (Ifelunini *et al.*, 2023; Jebabli *et al.*, 2023). Namun demikian, hubungan antara pendapatan dan emisi CO<sub>2</sub> tersebut tidak selalu sesuai dengan hipotesis EKC dan dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor lainnya seperti kualitas tata kelola dan tingkat awal emisi CO<sub>2</sub>. Selain jumlah penduduk dan pendapatan, konsumsi energi merupakan pendorong utama dalam peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dari faktor antropogenik, sehingga dapat dikatakan bahwa konsumsi energi memiliki hubungan yang sangat erat kaitannya dengan emisi CO<sub>2</sub>. Beberapa penelitian menemukan hubungan di mana peningkatan konsumsi energi akan menyebabkan peningkatan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih tinggi yang berarti memiliki hubungan searah dengan peningkatan degradasi lingkungan serta perubahan iklim (Aras & Hanifi Van, 2022; Balli *et al.*, 2023; Sharif *et al.*, 2023).

Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini berfokus untuk mengkaji pengaruh dari deforestasi pada negara-negara yang beriklim tropis di benua Asia karena sebanyak 95 % deforestasi di seluruh dunia terjadi di daerah tropis. Masalah deforestasi sengaja dipilih dalam penelitian ini dikarenakan deforestasi merupakan penyebab utama kedua emisi CO<sub>2</sub> setelah konsumsi bahan bakar fosil. Selain itu, isu mengenai deforestasi seringkali luput dan diremehkan dalam upaya mencapai *Sustainable Development Goals* (SDGs), padahal masalah deforestasi dapat menjadi penghambat dalam program SDGs serta hutan dapat berkontribusi untuk mencapai SDGs terutama SDGs 13 (Menstabilkan iklim). Oleh karena itu, tujuan utama dalam penelitian ini yaitu menganalisis pengaruh yang ditimbulkan dari deforestasi, jumlah penduduk, pendapatan dan konsumsi energi terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada negara-negara yang beriklim tropis di benua Asia.

Terdapat beberapa manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini, diantaranya bagaimana peran hutan pada masa saat ini, apakah hutan berfungsi sebagai penyerap emisi CO<sub>2</sub> atau sebaliknya sebagai sumber emisi itu sendiri akibat adanya deforestasi di negara-negara beriklim tropis terkhususnya pada kawasan benua Asia. Selain itu, penelitian ini akan mendukung adanya hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) pada kelompok negara yang beriklim tropis di benua Asia. Manfaat lainnya yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah dapat dijadikan acuan dalam membuat kebijakan dalam pengelolaan hutan sebagai pemanfaatan sumber daya alam yang berkelanjutan sehingga tidak memperburuk kondisi lingkungan.

## TINJAUAN PUSTAKA DAN PENGEMBANGAN HIPOTESIS

### Hubungan Deforestasi dan emisi CO<sub>2</sub>

Deforestasi adalah bentuk kegiatan mengkonversi hutan menjadi penggunaan lahan lain atau pengurangan tutupan kanopi pohon dalam jangka waktu yang panjang di bawah ambang batas 10% yang digambarkan sebagai suatu kehilangan permanen tutupan suatu hutan dalam jangka waktu yang panjang akibat pengaruh dari manusia atau gangguan dari alam (FRA, 2000). Selain itu, menurut Field (2008), deforestasi adalah eksploitasi berlebihan terhadap sumber daya hutan. Dalam pengertiannya secara kuantitatif, deforestasi dapat dianggap sebagai pengurangan luas lahan yang diperuntukkan bagi hutan. Sedangkan dalam dimensi kualitatif, deforestasi dapat diartikan jika suatu jenis hutan digantikan oleh jenis hutan lainnya. FAO mendefinisikan deforestasi sebagai suatu tindakan konversi hutan menjadi penggunaan lahan lain terlepas dari apakah konversi hutan tersebut disebabkan oleh manusia (FRA, 2020). Menurut Curtis *et al.* (2018) secara garis besar, penyebab deforestasi antara lain adalah faktor **komoditas**, urbanisasi, perladangan berpindah (*shifting farming*), produksi kehutanan berupa penebangan hutan yang dikelola dan ditanami untuk menghasilkan produk seperti kayu, kertas dan pulp serta kebakaran hutan yang disebabkan oleh alam maupun manusia.

Ada banyak masalah yang disebabkan oleh deforestasi, salah satunya adalah dampak kenaikan kadar emisi CO<sub>2</sub> di atmosfer bumi akibat dari hilangnya jasa penyerapan dan penyimpanan karbon dari hutan yang hancur atau mengalami deforestasi terkhususnya di daerah tropis. Dalam beberapa penelitian menunjukkan bahwa deforestasi memiliki pengaruh dalam meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> (Arshad *et al.*, 2020; Begum *et al.*, 2020).

### Hubungan Penduduk dan Emisi CO<sub>2</sub>

Beberapa ahli telah berusaha untuk meningkatkan kualitas lingkungan dengan menganjurkan "*Zero Population Growth*". Penduduk yang tumbuh perlahan atau stasioner dapat membuatnya lebih mudah untuk mengendalikan dampak lingkungan, tetapi karena dua alasan, hal itu sama sekali tidak menjamin kontrol ini. Pertama, penduduk yang stasioner dapat tumbuh secara ekonomis, sehingga meningkatkan permintaan bahan baku. Kedua, dampak lingkungan dapat bersifat jangka panjang dan kumulatif, sehingga bahkan penduduk stasioner dapat secara bertahap menurunkan

lingkungan di mana ia berada. Memang benar, bagaimanapun bahwa pertumbuhan penduduk akan sering memperburuk dampak lingkungan dari ekonomi (Field & Olewiler., 2011). Thomas Malthus, seorang ekonom klasik akhir abad kedelapan belas dan awal abad kesembilan belas, menyimpulkan bahwa pertumbuhan penduduk merupakan jebakan bagi negara-negara yang ingin berkembang. Peningkatan pendapatan sementara dipandang sebagai pemicu peningkatan penduduk sampai tanah tidak bisa lagi memasok makanan yang memadai atau mengalami degradasi pada lingkungan (Tietenberg & Lewis., 2012). Dalam beberapa penelitian, ditemukan fakta bahwa penduduk dapat menjadi faktor pendorong peningkatan emisi CO<sub>2</sub> (Raihan, 2023; Sikder *et al.*, 2022; Uddin, 2021; Zeng *et al.*, 2021).

### **Hubungan Pendapatan dan Emisi CO<sub>2</sub>**

Menurut Tietenberg & Lewis (2012), suatu lingkungan dapat dipandang sebagai suatu aset komposit yang menyediakan berbagai layanan dalam suatu sistem ekonomi. Oleh karenanya hal ini adalah aset yang sangat istimewa, dikarenakan menyediakan sistem pendukung kehidupan yang menopang keberadaan kita. Lingkungan dapat menyediakan bahan baku dalam proses prekonomian, yang mana akan diubah menjadi produk konsumen dari proses produksi, dan energi, yang mendorong transformasi ini untuk mencapai kemakmuran berupa peningkatan pendapatan. Pada akhirnya, bahan baku dan energi ini kembali ke lingkungan sebagai produk limbah. Manusia dalam kegiatan perekonomian yang dilakukannya memiliki dampak atau pengaruh gangguan terhadap lingkungan dalam banyak hal. Banyak masalah lingkungan juga memiliki dimensi intertemporal yang kuat, yaitu *trade-off* penting antara hari ini dan masa depan. Misalnya, banyak polutan cenderung menumpuk di lingkungan daripada menghilang atau lenyap. Salah satunya adalah emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) selama beberapa dekade telah terakumulasi di atmosfer bumi (Field & Field., 2017).

Pada perkembangannya, penyelidikan hubungan antara pendapatan dan emisi CO<sub>2</sub> sering digambarkan dalam hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Hipotesis EKC diperkenalkan oleh Simon Kuznets (1955), yang menyatakan hipotesis EKC merupakan hubungan antara berbagai indikator degradasi lingkungan dan pertumbuhan ekonomi yang digambarkan oleh pendapatan. Pada tahap awal, degradasi lingkungan dan polusi meningkat akibat dari pertumbuhan ekonomi, namun setelah mengalami peningkatan pendapatan pada tingkat pendapatan per kapita tertentu (yang

bervariasi untuk berbagai indikator) trennya akan berbalik, sehingga pada tingkat pendapatan yang lebih tinggi, pertumbuhan ekonomi akan mengarah pada kondisi dimana lingkungan akan kembali pada kondisi yang baik (Tietenberg & Lewis., 2012). Pada penelitian terdahulu, sudah banyak yang menemukan bahwa pendapatan berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, namun pada tingkat pendapatan yang lebih tinggi didapat bahwa pendapatan dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> atau adanya hubungan yang menandakan EKC berbentuk U terbalik (Selvanathan Saroja *et al.*, 2023; Uddin, 2021; Zafeiriou *et al.*, 2023; Zmami & Ben-Salha, 2020).

### **Hubungan Konsumsi Energi dan Emisi CO<sub>2</sub>**

Salah satu kekhawatiran terbesar yang terkait dengan penggunaan energi adalah meningkatnya jumlah karbon di atmosfer dan dampaknya terhadap perubahan iklim global. Jelas tidak semua energi adalah tentang karbon, tetapi karena ketergantungan kita pada bahan bakar fosil, cukup banyak. Oleh karena itu penting untuk meninjau karbon di lingkungan kita (Nancy., 2014) . Energi mempengaruhi lingkungan pada setiap tahapan siklus hidupnya, yaitu eksplorasi, pengembangan, produksi, transportasi, dan distribusi, konversi, penggunaan, dan pembuangan. Secara tradisional, efek ini tidak termasuk ke dalam proses produksi dan pengambilan keputusan. Namun pesatnya pertumbuhan pasokan dan permintaan energi serta meluasnya dampak lingkungan secara global membuat permasalahan ini tidak dapat diabaikan (Bhattacharyya., 2019). Semua orang di dunia mencemari atmosfer melalui penggunaan energi dan kegiatan lainnya. Demikian pula, efek dari perubahan atmosfer dan iklim akan mempengaruhi semua orang juga (Peter *et al.*, 2017). Penggunaan energi jelas memiliki dampak yang sangat fatal terhadap lingkungan, terkhususnya dalam peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Dalam beberapa hasil empiris telah menyatakan bahwa konsumsi energi memiliki dampak yang signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> (Begum *et al.*, 2020; Parajuli *et al.*, 2019; Selvanathan Saroja *et al.*, 2023; Sikder *et al.*, 2022; Zmami & Ben-Salha, 2020)

### **METODE PENELITIAN**

Metode adalah suatu cara kerja yang dapat digunakan untuk memperoleh sesuatu. Sedangkan metode penelitian dapat diartikan sebagai tata cara kerja di dalam proses penelitian, baik dalam pencarian data ataupun pengungkapan fenomena yang ada (Zulkarnaen, W., et al., 2020:229). Penelitian yang dilakukan dalam studi ini merupakan studi empiris kuantitatif yang bertujuan untuk menguji pengaruh dari deforestasi,

jumlah penduduk, pendapatan dan konsumsi energi terhadap emisi CO<sub>2</sub> serta melihat validitas dari hipotesis EKC melalui pendapatan yang dikuadratkan pada negara-negara yang beriklim tropis di benua Asia. Mengikuti (Arshad *et al.*, 2020), model analisis yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$\ln CO_{2it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Def_{it} + \alpha_2 \ln TP_{it} + \alpha_3 \ln GDP_{it} + \alpha_4 \ln GDPsq_{it} + \alpha_5 \ln EC_{it} + \varepsilon_{it}$$

Di mana  $\ln CO_2$  adalah variabel emisi CO<sub>2</sub>,  $\ln Def$  adalah variabel deforestasi,  $\ln GDP$  adalah variabel pendapatan,  $\ln GDPsq$  adalah variabel pendapatan yang dikuadratkan untuk melihat adanya EKC, dan  $\ln EC$  adalah variabel untuk konsumsi energi. Penjelasan lebih lengkap untuk masing-masing variabel yang digunakan dalam penelitian ini, dapat di lihat pada Tabel 1.

Penelitian ini menggunakan analisis data panel dari 14 negara periode tahun 2001-2020 dan menerapkan berbagai teknik ekonometrik seperti pengujian akar unit, analisis kointegrasi, dan *Dynamic Ordinary Least Squares* (DOLS) serta *Fully Modified Ordinary Least Squares* (FMOLS). Mengikuti Arshad *et al.*, (2020), alasan menggunakan model DOLS dan FMOLS adalah untuk mengatasi masalah endogenitas, multikolinearitas dan korelasi serial (memastikan bahwa estimasi koefisien tidak terpengaruh oleh adanya autokorelasi dalam data) dalam proses estimasi. Dalam penelitian ini, FMOLS digunakan untuk memperkuat ketahanan hasil estimasi (*robustness*) dari DOLS.

Penelitian mengikuti pendekatan sistematis dan terstruktur, dimulai dengan pengujian akar unit untuk menentukan keberadaan tren stokastik, diikuti dengan analisis kointegrasi untuk menilai hubungan jangka panjang. Kemudian menerapkan DOLS serta FMOLS untuk memperkirakan hubungan jangka panjang antara variabel. Secara keseluruhan, pendekatan penelitian dalam jurnal ini menggabungkan analisis kuantitatif, teknik ekonometrik, dan pemodelan statistik untuk memeriksa pengaruh dari deforestasi, jumlah penduduk, pendapatan dan konsumsi energi pada negara-negara yang beriklim tropis di benua Asia.

## HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

### Pengujian Akar Unit (*Unit Root Testing*)

Uji akar unit panel digunakan untuk menentukan keberadaan tren stokastik, yang secara luas dirancang untuk menguraikan postulasi ketergantungan *cross-sectional*. Karena beberapa strategi pengujian yang berbeda, tujuan penerapan beberapa pengujian



akar unit di panel adalah untuk menganalisis keandalan hasil empiris. Terdapat dua uji akar unit panel yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah model *Fisher* berupa uji *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) serta uji *Phillips Perron* (PP) dan yang kedua adalah model yang diusulkan oleh Pesaran (2007) untuk mengatasi masalah ketergantungan *cross-section*. Nilai *P-value* dari hasil statistik akan dibandingkan dengan tingkat signifikan yang telah ditentukan agar dapat menentukan apakah data yang digunakan stasioner atau tidak. Jika nilai *P-value* lebih kecil dari tingkat signifikansi yang ditentukan maka data tersebut stasioner atau tidak terdapat unit root. Hasil uji akar unit diketahui bahwa data tidak stasioner pada levelnya untuk beberapa variabel namun semua variabel stasioner pada *first-difference* baik dengan tren dan tanpa tren pada model *Fisher* dan model yang dikembangkan oleh Pesaran. Hasil pengujian akar unit panel secara lengkap dapat dilihat pada Table 2 dan Tabel 3.

### **Pengujian Kointegrasi**

Setelah semua data dinyatakan stasioner, langkah berikutnya yang harus dilakukan adalah uji kointegrasi. Untuk mengetahui apakah data yang digunakan atau diamati memiliki hubungan keseimbangan jangka panjang antara variabel, maka harus dilakukan uji kointegrasi. Jika nilai *P-value* lebih kecil dari tingkat signifikan yang ditetapkan maka variabel dalam model terdapat kointegrasi maka terdapat hubungan jangka panjang. Terdapat dua uji kointegrasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu uji kointegrasi model Pedroni dan Westerlund yang secara khusus digunakan untuk uji kointegrasi data panel. Hasil untuk pengujian kointegrasi model Pedroni, diketahui terdapat lima dari tujuh statistik yang menyatakan data terkointegrasi atau terdapat hubungan jangka panjang antara variabel. Untuk hasil pengujian kointegrasi model Westerlund, diketahui bahwa semuanya menunjukkan data terkointegrasi atau memiliki hubungan jangka panjang antara variabel. Hasil lengkap pengujian kointegrasi model Pedroni dan Westerlund dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

### **Hasil Estimasi DOLS dan FMOLS**

Untuk variabel deforestasi, hasil estimasi menunjukkan bahwa deforestasi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Hasil estimasi metode DOLS didapat nilai koefisien sebesar 0,0261 yang artinya peningkatan deforestasi sebesar 1% akan menyebabkan peningkatan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0,0261% dalam jangka panjang. Hasil estimasi DOLS ini didukung oleh hasil estimasi metode FMOLS yang

menunjukkan hasil yang sama yaitu deforestasi berpengaruh positif terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Hasil estimasi ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa deforestasi berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> (Arshad *et al.*, 2020; Begum *et al.*, 2020). Dari hasil estimasi ini, isu mengenai masalah deforestasi tidak dapat diremehkan lagi bahkan luput dari perhatian dikarenakan deforestasi dapat memberikan dampak nyata terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> yang pada akhirnya mempengaruhi perubahan iklim dunia sehingga menghambat program SDGs 13 yaitu menstabilkan iklim. Di sisi yang lain, dapat dikatakan bahwa deforestasi yang terjadi berarti sama saja dalam melemahkan kemampuan hutan dalam menyerap dan menyimpan karbon yang dihasilkan oleh berbagai aktivitas manusia.

Pada variabel jumlah penduduk, didapat hasil estimasi yang menunjukkan bahwa jumlah penduduk berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Hasil estimasi metode DOLS didapat nilai koefisien sebesar -2,37286 yang artinya peningkatan jumlah penduduk sebesar 1% akan menyebabkan pengurangan emisi CO<sub>2</sub> sebesar -2,373% dalam jangka panjang. Hasil estimasi DOLS ini didukung oleh hasil estimasi metode FMOLS yang menunjukkan hasil yang sama yaitu jumlah penduduk berpengaruh negatif terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Hasil estimasi ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa jumlah penduduk berpengaruh terhadap pengurangan emisi CO<sub>2</sub> Zhu *et al.*, (2016). Alasan mengapa dampak penduduk dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> adalah kualitas bukan kuantitas dari penduduknya yang mempengaruhi kualitas lingkungan. Kualitas penduduk suatu wilayah dapat ditentukan oleh tingkat pendidikan dan kesadaran masyarakatnya. Pada tingkat pendidikan yang lebih tinggi, seseorang akan cenderung memiliki kesadaran yang tinggi pada kualitas lingkungan sekitarnya (Dietz & Rosa, 1997).

Untuk variabel pendapatan, hasil estimasi menunjukkan bahwa pendapatan berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Hasil estimasi metode DOLS didapat nilai koefisien sebesar 5,25746 yang artinya peningkatan pendapatan sebesar 1% akan menyebabkan peningkatan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 5,257% dalam jangka panjang. Pada tingkat pendapatan yang lebih tinggi yaitu pada variabel pendapatan yang dikuadratkan, didapat bahwa pendapatan yang lebih tinggi dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub>, hubungan ini menunjukkan adanya validitas EKC berbentuk U terbalik. Hasil estimasi DOLS ini didukung oleh hasil estimasi metode FMOLS yang menunjukkan hasil yang

sama yaitu pendapatan berpengaruh positif terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> serta memberikan adanya hubungan yang menunjukkan validitas EKC berbentuk U terbalik. Hasil estimasi ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa pendapatan berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> serta mendukung validitas EKC (Selvanathan Saroja *et al.*, 2023; Uddin, 2021; Zafeiriou *et al.*, 2023; Zmami & Ben-Salha, 2020).

Terakhir untuk variabel konsumsi energi, hasil estimasi menunjukkan bahwa konsumsi energi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Hasil estimasi metode DOLS didapat nilai koefisien sebesar 0,61057 yang artinya peningkatan konsumsi energi sebesar 1% akan menyebabkan peningkatan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0,611% dalam jangka panjang. Hasil estimasi DOLS ini didukung oleh hasil estimasi metode FMOLS yang menunjukkan hasil yang sama yaitu konsumsi energi berpengaruh positif terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Hasil estimasi ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa konsumsi energi berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> (Begum *et al.*, 2020; Parajuli *et al.*, 2019; Selvanathan Saroja *et al.*, 2023; Sikder *et al.*, 2022; Zmami & Ben-Salha, 2020). Dari hasil estimasi ini, dapat dikatakan pada kawasan negara beriklim tropis di benua Asia masih mengandalkan energi tidak terbarukan. Hal ini dikarenakan data yang digunakan merupakan data gabungan dari energi terbarukan dan tidak terbarukan yang kedua jenis energi ini dapat memberikan dampak pengaruh yang berbeda, di mana energi terbarukan dapat berdampak pada pengurangan emisi CO<sub>2</sub> sedangkan energi tidak terbarukan dapat berdampak pada penambahan emisi CO<sub>2</sub> (Hanif *et al.*, 2019).

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang ada, dapat disimpulkan bahwa deforestasi memiliki pengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Di mana peningkatan 1% deforestasi, maka akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0,0261% dalam jangka panjang di kawasan negara-negara beriklim tropis di benua Asia. Dengan adanya hasil ini, maka dapat dikatakan bahwa masalah deforestasi tidak dapat dianggap sepele bahkan diremehkan lagi terlebih masalah deforestasi dapat menjadi penghambat dalam upaya pembangunan berkelanjutan SDGs 13 yaitu menstabilkan iklim. Hal ini dikarenakan hutan yang seharusnya berfungsi mengendalikan lingkungan dengan cara

menyerap dan menyimpan karbon yang dihasilkan oleh berbagai kegiatan manusia, malahan menjadi penyebab atau sumber emisi itu sendiri.

Selain itu, pendapatan dan konsumsi energi juga terbukti memiliki pengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> pada kawasan negara-negara beriklim tropis di benua Asia. Namun demikian, jumlah penduduk diketahui memiliki pengaruh terhadap pengurangan emisi CO<sub>2</sub>. Pada penelitian lebih lanjut mengenai hubungan antara pendapatan dan emisi CO<sub>2</sub>, diketahui bahwa pada tingkat pendapatan yang lebih tinggi pendapatan dapat memberi eksternalitas positif terhadap lingkungan yaitu pendapatan yang lebih tinggi berpengaruh terhadap pengurangan emisi CO<sub>2</sub>. Temuan hubungan ini menandakan adanya hubungan yang membentuk EKC pada kawasan negara-negara beriklim tropis di benua Asia.

Berdasarkan hasil penelaitan ini, dapat kita berikan saran paraktis yang dapat diterapkan guna untuk mengatasi masalah lingkungan yang diakibatkan oleh deforestasi adalah dengan malakukan reboisasi atau penghijauan hutan kembali agar fungsi hutan yang sebenarnya dapat kembali yaitu sebagai penyerap dan penyimpan karbon bukan sebagai penghasil emisi karbon itu sendiri. Saran lain berupa kebijakan yang harus dilakukan yaitu memperketat kebijakan mengenai perlindungan hutan dan pengelolaan hutan itu sendiri. Di sisi lain, dalam hal upaya untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, disarankan untuk lebih banyak menggunakan energi terbarukan serta teknologi ramah lingkungan karena dapat memberikan dampak terhadap pengurangan emisi.

Dalam penelitian ini juga, didapati beberapa kekurangan yang kiranya dapat dijadikan bahan acuan untuk pengembangan penelitian di masa depan. Kekurangan yang pertama yaitu mengenai data konsumsi energi, yang mana data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data gabungan antara total konsumsi energi terbarukan dan energi tidak terbarukan sehingga pada penelitian di masa depan dapat membandingkan pengaruh yang dihasilkan dari penggunaan kedua jenis energi tersebut. Kekurangan lain yang dapat dijadikan bahan untuk pengembangan penelitian lanjutan adalah dengan membandingkan pengaruh dari deforestasi di negara-negara beriklim tropis dengan negara-negara yang bukan beriklim tropis di benua Asia. Selain itu dapat membandingkannya pengaruh dari deforestasi di negara-negara beriklim tropis di benua Asia dengan benua lainnya ataupun secara Global.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, M. M., Murad, M. W., Noman, A. H. M., & Ozturk, I. (2016). *Relationships among carbon emissions, economic growth, energy consumption and population growth: Testing Environmental Kuznets Curve hypothesis for Brazil, China, India and Indonesia*. *Ecological Indicators*, 70, 466–479. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.043>
- Aras, S., & Hanifi Van, M. (2022). *An interpretable forecasting framework for energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions*. *Applied Energy*, 328. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120163>
- Arshad, Z., Robaina, M., Shahbaz, M., & Veloso, A. B. (2020). *The effects of deforestation and urbanization on sustainable growth in Asian countries*. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 10065–10086. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07507-7>
- Aye, G. C., & Edoja, P. E. (2017). *Effect of economic growth on CO<sub>2</sub> emission in developing countries: Evidence from a dynamic panel threshold model*. *Cogent Economics and Finance*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23322039.2017.1379239>
- Balli, E., Sigeze, C., Ugur, M. S., & Çatık, A. N. (2023). *The relationship between FDI, CO<sub>2</sub> emissions, and energy consumption in Asia-Pacific economic cooperation countries*. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(15), 42845–42862. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17494-3>
- Begum, R. A., Raihan, A., & Said, M. N. M. (2020). *Dynamic impacts of economic growth and forested area on carbon dioxide emissions in malaysia*. *Sustainability (Switzerland)*, 12(22), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su12229375>
- Bhattacharyya, S. C. (2019). *Energy economics: Concepts, issues, markets and governance*, 2nd ed. 2019. In *Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance, 2nd ed. 2019*. Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-7468-4>
- Carpenter, Nancy. (2014). *Sustainable Energy*. London: Taylor & Francis Group
- Curtis, P. G., Slay, C. M., Harris, N. L., Tyukavina, A., & Hansen, M. C. (2018). *Classifying drivers of global forest loss*. <https://www.science.org>
- Dietz, T., & Rosa, E. A. (1997). *Effects of population and affluence on CO<sub>2</sub> emissions* (Vol. 94). [www.pnas.org](http://www.pnas.org).
- Field, B. (2008). *Natural Resource Economics: Second Edition*. United State of America: Waveland Press
- Barry, & Olewiler Nancy. (2011). *Environmental Economics: 3rd Edition (2011)*. McGraw-Hill Ryerson
- Field, C. B., & Field, K. M. (2017). *Environmental Economics an Introduction: Seventh Edition*. United State of America: McGraw-Hill
- FRA. (2000). *The Forest Resources Assessment Programme*. [www.fao.org/fo](http://www.fao.org/fo)
- FRA. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*. In *Global Forest Resources Assessment 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca8753en>
- Gökmenoğlu, K., & Taspınar, N. (2016). *The relationship between Co<sub>2</sub> emissions, energy consumption, economic growth and FDI: the case of Turkey*. *Journal of International Trade and Economic Development*, 25(5), 706–723. <https://doi.org/10.1080/09638199.2015.1119876>

- Hanif, I., Aziz, B., & Chaudhry, I. S. (2019). *Carbon emissions across the spectrum of renewable and nonrenewable energy use in developing economies of Asia. Renewable Energy, 143*, 586–595. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.05.032>
- Ifelunini, I., Ekpo, U., Agbutun, S. A., Arazu, O. W., Ugwu, C. S., Osadebe, N., & Asogwa, O. F. (2023). Economic Growth, Governance and CO<sub>2</sub>Emissions in West Africa. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies, 11*(1). <https://doi.org/10.1142/S2345748123500021>
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: synthesis report: longer report*. 116.
- Islam, R., Bashawir, A., Ghani, A., & Mahyudin, E. (2017). *International Journal of Energy Economics and Policy Carbon Dioxide Emission, Energy Consumption, Economic Growth, Population, Poverty and Forest Area: Evidence from Panel Data Analysis. International Journal of Energy Economics and Policy* |, 7(4), 99–106. <http://www.econjournals.com>
- Jebabli, I., Lahiani, A., & Mefteh-Wali, S. (2023). *Quantile connectedness between CO<sub>2</sub> emissions and economic growth in G7 countries. Resources Policy, 81*. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103348>
- Li, W., Qiao, Y., Li, X., & Wang, Y. (2022). *Energy consumption, pollution haven hypothesis, and Environmental Kuznets Curve: Examining the environment–economy link in belt and road initiative countries. Energy, 239*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.12255>
- Mohd Jaafar, W. S. W., Maulud, K. N. A., Muhmad Kamarulzaman, A. M., Raihan, A., Sah, S. M., Ahmad, A., Maizah Saad, S. N., Mohd Azmi, A. T., Syukri, N. K. A. J., & Khan, W. R. (2020). *The influence of deforestation on land surface temperature—A case study of Perak and Kedah, Malaysia. Forests, 11*(6). <https://doi.org/10.3390/F11060670>
- Namahoro, J. P., Wu, Q., Xiao, H., & Zhou, N. (2021). *The impact of renewable energy, economic and population growth on co<sub>2</sub> emissions in the east african region: Evidence from common correlated effect means group and asymmetric analysis. Energies, 14*(2). <https://doi.org/10.3390/en14020312>
- NASA. (2024, January 30). *CAUSES The Causes of Climate Change*. Global Climate Change.
- Parajuli, R., Joshi, O., & Maraseni, T. (2019). *Incorporating forests, agriculture, and energy consumption in the framework of the Environmental Kuznets Curve: A dynamic panel data approach. Sustainability, 11*(9), 2688.
- Raihan, A. (2023). *The dynamic nexus between economic growth, renewable energy use, urbanization, industrialization, tourism, agricultural productivity, forest area, and carbon dioxide emissions in the Philippines. Energy Nexus, 9*. <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100180>
- Raihan, A., Begum, R. A., Nizam, M., Said, M., & Pereira, J. J. (2022). *Dynamic impacts of energy use, agricultural land expansion, and deforestation on CO<sub>2</sub> emissions in Malaysia. Environmental and Ecological Statistics, 29*(3), 477–507. <https://doi.org/10.1007/s10651-022-00532-9>
- Ritchie, H., & Roser, M. (2021). *Forests and deforestation. Our World in Data*.
- Selvanathan Saroja, Jayasinghe Maneka Savithri, Selvanathan Eliyathamby, Abbas Syed Ali, & Iftekhar Md Sayed. (2023). *Energy consumption, agriculture, forestation and CO<sub>2</sub> emission nexus: an application to OECD countries. APPLIED ECONOMICS*.

- Seydewitz, T., Pradhan, P., Landholm, D. M., & Kropp, J. P. (2023). *Deforestation Drivers Across the Tropics and Their Impacts on Carbon Stocks and Ecosystem Services*. *Anthropocene Science*, 2(1), 81–92. <https://doi.org/10.1007/s44177-023-00051-7>
- Sharif, F., Hussain, I., & Qubtia, M. (2023). *Energy Consumption, Carbon Emission and Economic Growth at Aggregate and Disaggregate Level: A Panel Analysis of the Top Polluted Countries*. *Sustainability (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/su15042935>
- Shi Anqing. (2001). populasi. *International Union for the Scientific Study of Population*.
- Sikder, M., Wang, C., Yao, X., Huai, X., Wu, L., KwameYeboah, F., Wood, J., Zhao, Y., & Dou, X. (2022). *The integrated impact of GDP growth, industrialization, energy use, and urbanization on CO2 emissions in developing countries: Evidence from the panel ARDL approach*. *Science of the Total Environment*, 837. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155795>
- Tietenberg, T., & Lewis, L. (2012). *Environmental & Natural Resource Economics 9th Edition*. Boston: Pearson Education
- Uddin, M. M. M. (2021). Revisiting the impacts of economic growth on environmental degradation: new evidence from 115 countries. *Environmental and Ecological Statistics*, 28(1), 153–185. <https://doi.org/10.1007/s10651-020-00479-9>
- WRI. (2017). *Hutan dan Target Pembangunan Berkelanjutan (SDG)*. WRI. <https://wri-indonesia.org/id/wawasan/hutan-dan-target-pembangunan-berkelanjutan-sdg>
- Zafeiriou, E., Kyriakopoulos, G. L., Andrea, V., & Arabatzis, G. (2023). *Environmental Kuznets curve for deforestation in Eastern Europe: a panel cointegration analysis*. *Environment, Development and Sustainability*, 25(9), 9267–9287. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02435-y>
- Zeng, C., Stringer, L. C., & Lv, T. (2021). *The spatial spillover effect of fossil fuel energy trade on CO2 emissions*. *Energy*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120038>
- Zhu, H., Duan, L., Guo, Y., & Yu, K. (2016). *The effects of FDI, economic growth and energy consumption on carbon emissions in ASEAN-5: Evidence from panel quantile regression*. *Economic Modelling*, 58, 237–248. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2016.05.003>
- Zmami, M., & Ben-Salha, O. (2020). *An empirical analysis of the determinants of CO2 emissions in GCC countries*. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 27(5), 469–480. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1715508>
- Zweifel Peter, Praktijnjo Aaron, & Erdmann Georg. (2017). *Energy Economics Theory and Applications*. <http://www.springer.com/series/10099>
- Zulkarnaen, W., Fitriani, I., & Yuningsih, N. (2020). Pengembangan Supply Chain Management Dalam Pengelolaan Distribusi Logistik Pemilu Yang Lebih Tepat Jenis, Tepat Jumlah Dan Tepat Waktu Berbasis Human Resources Competency Development Di KPU Jawa Barat. *Jurnal Ilmiah MEA (Manajemen, Ekonomi, & Akuntansi)*, 4(2), 222-243. <https://doi.org/10.31955/mea.vol4.iss2.pp222-243>.

## GAMBAR, GRAFIK DAN TABEL

Tabel 1 Devinisi Operasional dan Pengukuran Variabel

Variabel	Definisi	Satuan	Sumber data
CO <sub>2</sub>	Polusi Emisi CO <sub>2</sub> yang dihasilkan dari	Metrik ton (t)	<i>World Resources</i>

	seluruh sektor yang berbasis pada sisi produksi		<i>Institute (WRI), 2023</i>
Def	Tindakan eksploitasi penggundulan hutan menjadi lahan lain ataupun pengurangan tutupan kanopi pohon dalam jangka panjang di bawah ambang batas 10 %	Hektar (ha)	<i>World Resources Institute (WRI), 2023</i>
TP	Keseluruhan penduduk yang didasarkan pada definisi penduduk secara de facto, yang menghitung seluruh penduduk tanpa memandang status hukum atau kewarganegaraan.	Total penduduk/jiwa	<i>World Development Indicators (WDI), 2023.</i>
GDP	Pendapatan dapat dilihat dari PDB per kapita. PDB per kapita adalah produk domestik bruto dibagi jumlah penduduk pada pertengahan tahun.	US\$ harga konstan 2015	<i>World Development Indicators (WDI), 2023.</i>
EC	Konsumsi energi primer yang berasal langsung dari alam dan belum diubah menjadi bentuk lainnya berupa energi terbarukan dan tidak terbarukan.	quadrillion <i>British Thermal Unit (Btu)</i>	<i>World Resources Institute (WRI), 2023</i>

Tabel 2 Pengujian Akar Unit Panel-Fisher

Fisher-Type								
Variabel	Tanpa Trend				Dengan Trend			
	inverse chi-squared (330) p				inverse chi-squared (330) p			
	ADF		PPerron		ADF		PPerron	
	statistic	p-value	statistic	p-value	statistic	p-value	statistic	p-value
CO2	54.4444**	0.002	54.4444**	0.002	19.2564	0.890	19.2564	0.890
ΔCO2	189.6535***	0.000	189.6535***	0.000	143.6055***	0.000	143.6055***	0.000
Def	57.7271***	0.001	57.7271***	0.001	93.5919***	0.000	93.5919***	0.000
ΔDef	553.4375***	0.000	553.4375***	0.000	492.0185***	0.000	492.0185***	0.000
TP	540.0902***	0.000	540.0902***	0.000	27.3449	0.500	27.3449	0.500
ΔTP	42.5436**	0.039	45.6706**	0.019	55.9912***	0.001	41.8559**	0.045
GDP	73.83***	0.000	73.83***	0.000	17.4309	0.940	17.4309	0.940
ΔGDP	73.6266***	0.000	73.6266***	0.000	42.2461**	0.041	42.2461**	0.041
GDPsq	46.4306**	0.016	46.4306**	0.016	14.4112	0.984	14.4112	0.984
ΔGDPsq	43.9365**	0.028	43.9365**	0.028	42.9672**	0.035	42.9672**	0.035
EC	57.2757**	0.001	57.2757***	0.001	17.096	0.947	17.096	0.947
ΔEC	118.7189**	0.000	118.7189***	0.000	98.5985***	0.000	98.5985***	0.000

Catatan: \*\*\*, \*\*, dan \* masing-masing menunjukkan tingkat signifikansi 1%, 5% dan 10%.

Sumber: Data Olahan Stata 14

Tabel 3 Pengujian Akar Unit Panel-Pesaran

Pesaran (2007) Unit Root Analysis with Cross-Sectional Dependence						
Variabel	Tanpa Trend			Dengan Trend		
	T-bar	Z (t-bar)	p-value	T-bar	Z (t-bar)	p-value
CO2	-1.804	-0.197	0.422	-2.281	-0.004	0.498
ΔCO2	-3.454***	-6.251	0.000	-3.548***	-4.746	0.000
Def	-3.402***	-6.061	0.000	-3.492***	-4.533	0.000
ΔDef	-5.233***	-12.775	0.000	-5.293***	-11.272	0.000



TP	-1.354	1.453	0.927	-1.01	4.75	1.000
ΔTP	-2.317*	-1.397	0.081	-3.057**	-2.432	0.008
GDP	-1.786	-0.133	0.447	-0.848	5.356	1.000
ΔGDP	-3.118**	-2.334	0.010	-3.187*	-1.556	0.060
GDPsq	-1.761	-0.04	0.484	-0.692	5.94	1.000
ΔGDPsq	-3.109**	-2.318	0.010	-3.178*	-1.541	0.062
EC	-1.725	0.092	0.537	-1.614	2.491	0.994
ΔEC	-3.168***	-5.201	0.000	-3.605***	-4.959	0.000

Catatan: \*\*\*, \*\*, dan \* masing-masing menunjukkan tingkat signifikansi 1%, 5% dan 10%.

Sumber: Data Olahan Stata 14

Tabel 4 Pengujian Kointegrasi-Pedroni

Pedroni					
Dimensi	Statistik	Without Trend		With Trend	
		Statistic	P-value	Statistic	P-value
Within-Dimension	Panel v-statistic	-1.825*	0.068	-3.216***	0.001
	Panel rho-statistic	-1.175	0.240	0.09289	0.926
	Panel PP-statistic	-10.52***	0.000	-15.62***	0.000
	Panel ADF-statistic	-6.78***	0.000	-5.895***	0.000
Between-Dimension	Group rho-statistic	0.08857	0.929	1.442	0.149
	Group PP-statistic	-14.04***	0.000	-18.64***	0.000
	Group ADF-statistic	-4.465***	0.000	-4.204***	0.000

Catatan: \*\*\*, \*\*, dan \* masing-masing menunjukkan tingkat signifikansi 1%, 5% dan 10%

Sumber: Data Olahan Stata 14

Tabel 5 Pengujian Kointegrasi-Westerlund

Westerlund (2007) panel cointegration analysis				
Statistic	Without Trend		With Trend	
	Value	Robust P-Value	Value	Robust P-Value
Gt	-3.618***	0.000	-3.782***	0.000
Ga	-6.485***	0.000	-5.719***	0.000
Pt	-9.931***	0.000	-10.378***	0.000
Pa	-4.258***	0.000	-3.975***	0.000

Catatan: \*\*\*, \*\*, dan \* masing-masing menunjukkan tingkat signifikansi 1%, 5% dan 10%. Robust P-Value menunjukkan P-value yang dibootstrapping untuk memperkuat ketergantungan *cross-sectional* karena adanya faktor-faktor umum dalam *time-series*.

Sumber: Data Olahan Stata 14

Tabel 6 Hasil Estimasi DOLS dan FMOLS

Variabel	DOLS		FMOLS	
	Coef.	p-value	Coef.	p-value
lnDef	0.026105**	0.003	0.040359***	0.000
lnTP	-2.37286***	0.000	-5.54601***	0.000
lnGDP	5.257461***	0.000	2.460503***	0.001
lnGDPsq	-0.31022***	0.000	-0.09331**	0.045
lnec	0.610569***	0.000	1.014541***	0.000

cons	40.89025***	0.000	109.5692***	0.000
Catatan: ***, **, dan * masing-masing menunjukkan tingkat signifikansi 1%, 5% dan 10%				

Sumber: Data Olahan Stata 14

Cointegration regression (DOLS):

AR lag(user)	=	0	Number of obs	=	19
Kernel	=	bartlett	R2	=	.9936798
Bandwidth(neweywest)	=	13.6647	Adjusted R2	=	.9905198
DOLS lag(user)	=	0	S.e.	=	.0301361
DOLS lead	=	0	Long run S.e.	=	.0104926

lnCO2	Coef.	Rescaled Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
lnDef	.0261047	.0087609	2.98	0.003	.0089336	.0432759
lnTP	-2.372857	.6044957	-3.93	0.000	-3.557647	-1.188067
lnGDP	5.257461	1.338849	3.93	0.000	2.633365	7.881557
lnGDPsq	-.3102186	.0874401	-3.55	0.000	-.481598	-.1388392
lnec	.6105685	.1236076	4.94	0.000	.3683021	.8528349
_cons	40.89025	11.29702	3.62	0.000	18.74851	63.032

Gambar 1. Hasil Estimasi DOLS

Sumber: Data Olahan Stata 14

Cointegration regression (FMOLS):

VAR lag(user)	=	0	Number of obs	=	19
Kernel	=	bartlett	R2	=	.9972664
Bandwidth(neweywest)	=	15.1550	Adjusted R2	=	.9962151
			S.e.	=	.0190446
			Long run S.e.	=	.0066152

lnCO2	Coef.	Std. Err.	z	P> z	[95% Conf. Interval]	
lnDef	.0403587	.0055196	7.31	0.000	.0295405	.0511769
lnTP	-5.546011	.3750324	-14.79	0.000	-6.281061	-4.810961
lnGDP	2.460503	.7284354	3.38	0.001	1.032796	3.88821
lnGDPsq	-.0933083	.0465593	-2.00	0.045	-.1845628	-.0020538
lnec	1.014541	.0738896	13.73	0.000	.8697202	1.159362
_cons	109.5692	6.537686	16.76	0.000	96.75555	122.3828

Gambar 2. Hasil Estimasi FMOLS

Sumber: Data Olahan Stata 14