



HUBUNGAN ANTARA PERDAGANGAN, INVESTASI, PDB, KORUPSI, DAN DEFORESTASI DI ASIA TENGGARA: MENGUJI HIPOTESIS *ENVIRONMENTAL KUZNETS CURVE (EKC)*

The Linkage Between Trade, Investment, GDP, Corruption, and Deforestation in Asia Tenggara: Testing the Environmental Kuznets Curve (EKC) Hypothesis

Mohamad Egi Destiariono¹

Fakultas Ekonomika dan Bisnis, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Artikel Masuk : 6 Oktober 2022

Artikel Diterima : 10 Januari 2023

Tersedia Online : 31 Desember 2023

Abstrak: Mencapai pembangunan berkelanjutan seperti *net zero deforestation* adalah agenda penting. Studi ini bermaksud mengungkap hubungan antara pertumbuhan ekonomi, keterbukaan perdagangan, investasi, pengendalian terhadap korupsi, dan deforestasi di Asia Tenggara periode 2000 – 2020 dengan mengadopsi kerangka *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Metode Pooled Mean Group (PMG) dan uji kausalitas Dumitrescu-Hurlin (DH) diaplikasikan untuk mengestimasi hubungan dinamis jangka pendek dan panjang, serta arah kausalitas. Uji akar unit dan kointegrasi juga ditambahkan dalam penelitian ini. Seluruh variabel terintegrasi pada ordo pertama, $I(1)$, dan mereka terkointegrasi. Hasil menunjukkan bahwa hubungan antara PDB per kapita dan deforestasi mengikuti kurva N, bukan EKC tradisional. Deforestasi akan terus berlangsung karena PDB per kapita Asia Tenggara telah melewati titik balik kedua (3.074 USD per capita). Selain itu, *foreign direct investment* (FDI) dan keterbukaan perdagangan terdeteksi sebagai pendorong deforestasi. Sebaliknya, indeks pengendalian korupsi memiliki pengaruh negatif pada deforestasi. Mendorong pembangunan sekaligus mengurangi laju deforestasi memungkinkan untuk dicapai karena uji DH menunjukkan kausalitas satu arah dari PDB per kapita menuju deforestasi. Studi ini menyarankan untuk memperkuat perdagangan hijau, investasi bersih, penguatan tata kelola, dan pembangunan berkelanjutan dengan tujuan mengurangi laju deforestasi.

Kata Kunci: Deforestasi, FDI, Korupsi, PDB, Perdagangan

Abstract: *Achieving sustainable development such as net zero deforestation is a critical agenda. This study aims to unravel the relationship between economic growth, trade openness, investment, control of corruption, and deforestation in Southeast Asia over the period 2000 – 2020 by adopting the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis. The Pooled Mean Group (PMG) estimator and the Dumitrescu-Hurlin (DH) causality test are*

¹ Korespondensi Penulis:

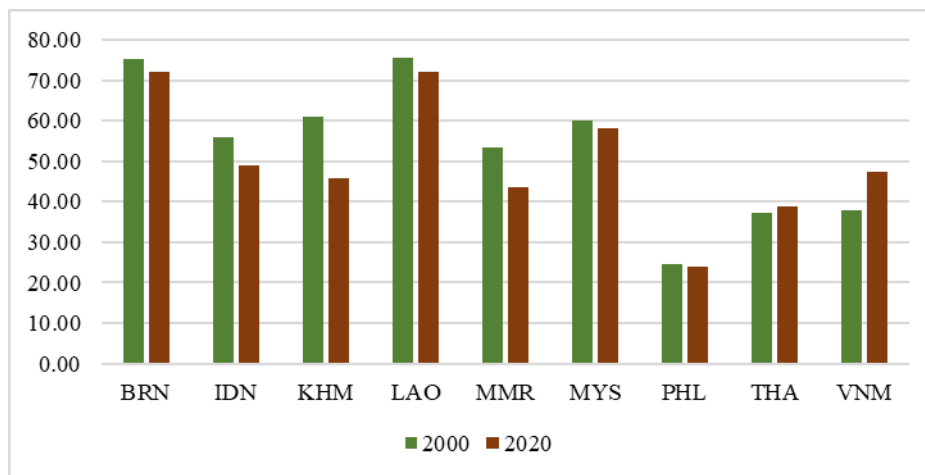
Email: medestiariono@lecturer.undip.ac.id

employed to estimate short- and long-term dynamic relationships, as well as the direction of causality. Unit root and cointegration tests are also included in this article. All variables are integrated into the first order, $I(1)$, and they are cointegrated. Instead of traditional EKC, the results from PMG signify that the nexus between GDP per capita and deforestation follows an N curve. Deforestation will continue as Southeast Asia's GDP per capita has passed the second turning point (3,074 USD per capita). In addition, foreign direct investment (FDI) and trade openness are validated as drivers of deforestation. Conversely, control of corruption has a negative impact on deforestation. Fostering development while simultaneously reducing the rate of deforestation is possible to achieve given that the DH causality test demonstrates a one-way causality from GDP per capita to deforestation. This study recommends that it is critical to promote green trade, clean investment, control over corruption, and sustainable development with the aim of reducing the rate of deforestation.

Keywords: corruption, deforestation, FDI, GDP, trade

Pendahuluan

Hutan ditengarai memegang peran penting dalam mencapai indikator pembangunan berkelanjutan. Sumber daya hutan menawarkan manfaat sosial dan ekonomi yang dapat digunakan untuk memperbaiki kesejahteraan masyarakat lokal (Adams et al., 2016). Tidak hanya itu, hutan memegang peran kritis terkait aspek lingkungan karena menyerap 2,4 miliar ton emisi karbon per tahun (IUCN, 2021). Lebih kurang 606 gigatonnes (149 ton per hektar) biomassa tersimpan di hutan (FAO, 2020). Meski demikian, manfaat besar yang ditawarkan oleh hutan menghadapi ancaman nyata sejalan dengan isu alih fungsi lahan, degradasi hutan, deforestasi, dan fragmentasi (Taubert et al., 2018). Globalisasi, kondisi ekonomi makro, dan tata kelola dianggap menjadi akar perubahan (*underlying causes*) luas tutupan hutan, termasuk di wilayah Asia Tenggara (Lim et al., 2017).



Sumber: World Bank, 2020

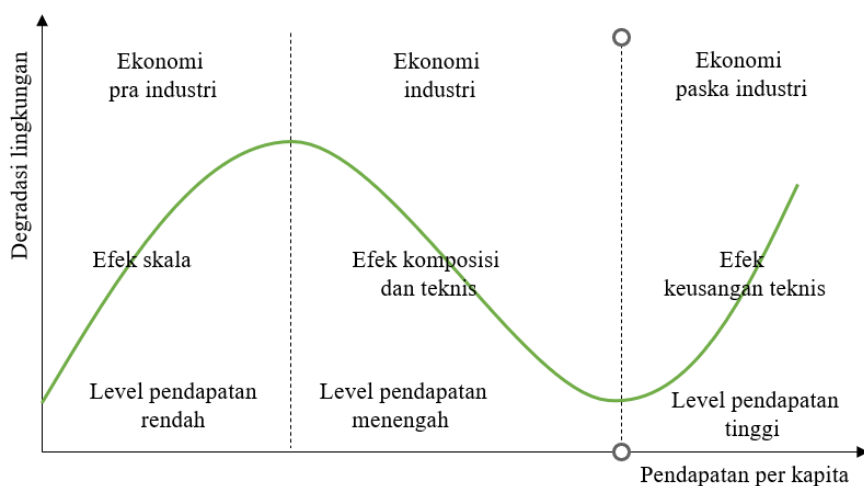
Gambar 1. Luas Tutupan Hutan Asia Tenggara Tahun 2000 dan 2020

Dalam dua dekade terakhir, laju deforestasi bersih di Asia Tenggara termasuk salah satu yang tertinggi di dunia. Gambar 1 menampilkan perubahan luas tutupan hutan antara tahun 2000 dan 2020. Dari 9 negara, Thailand dan Vietnam merupakan dua negara yang mengalami kenaikan luas tutupan hutan, masing – masing 1,71% dan 9,34%. Sebaliknya, laju deforestasi neto tertinggi terdeteksi di negara Kamboja dan Myanmar, masing – masing telah mengalami penyusutan hutan 15,37% dan 9,63%. Tingginya laju deforestasi menunjukkan bahwa aktivitas ekonomi di Asia Tenggara belum sesuai dengan prinsip tata

kelola hutan dan penggunaan lahan berkelanjutan. Meski demikian, fenomena deforestasi juga sangat kompleks jika dilihat dari karakteristik hutan, faktor pendorong, dan aspek kelembagaan. Deforestasi hutan mangrove ditemukan di Myanmar dan Philipina, sedangkan deforestasi hutan hujan tropis banyak terjadi di Indonesia (Gandhi & Jones, 2019; Turubanova et al., 2018; Margono et al., 2014)

Laju deforestasi pada umumnya mengikuti kurva J-terbalik, dibagi menjadi empat tahap; pra transisi, transisi awal, transisi akhir, dan paska transisi (Hosonuma et al., 2012). Tahap pra transisi diasosiasikan dengan negara miskin atau berkembang awal dengan karakteristik sumber daya hutan belum dikelola secara optimal sehingga laju deforestasi rendah. Fase transisi awal identik dengan laju deforestasi cepat karena sebagai akibat dari industrialisasi sektor pertanian dan kehutanan (Pichler et al., 2021). Dihitung sejak tahun 1990, tahap transisi awal ini banyak terdeteksi di wilayah Asia Tenggara, Amerika Latin, dan Sub-Sahara Afrika, sedangkan tahap paska transisi banyak ditemukan di Amerika Utara dan Eropa, sejalan dengan tata kelola hutan sudah membaik sehingga laju deforestasi turun (Pendrill et al., 2019).

Konsep fase transisi hutan yang dipaparkan oleh Hosonuma et al. (2012) sejalan dengan kerangka kerja *Environmental Kuznets Curve* (EKC) bahwa koneksi antara pembangunan dan deforestasi tidak linier, tapi membentuk kurva U terbalik (Caravaggio, 2020). Kurva U-terbalik antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan terjadi karena efek skala, dekomposisi, dan teknologi sejalan tahap kemajuan ekonomi (Usman et al., 2019). Meski demikian, beberapa penelitian menemukan bahwa ada kemungkinan hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan (termasuk deforestasi) tidak mengikuti kurva U-terbalik, tetapi mengikuti kurva N. Pandangan ini merupakan modifikasi atau bentuk modern dari kurva tradisional EKC. Gambar 2 mengilustrasikan hubungan antara pendapatan per kapita dan degradasi lingkungan (laju deforestasi) yang mengikuti kurva N-EKC.



Sumber: Rahman et al., 2019

Gambar 2. Hubungan antara pendapatan per kapita dan degradasi lingkungan

Secara teoritis, faktor penyebab perubahan luas tutupan hutan dibedakan menjadi dua kelompok; pendorong langsung (*proximate causes*) dan tidak langsung (*underlying causes*). Ekspansi pertanian tanaman pangan, perkebunan, pembangunan infrastruktur, dan ekstraksi kayu merupakan aktivitas penyebab langsung deforestasi (Lim et al., 2017; Miyamoto et al., 2014). Sementara itu, faktor tidak langsung penyebab deforestasi sangat kompleks, mencakup aspek ekonomi lokal, globalisasi, demografi, institusi, dan sosial-budaya (Carodenuto et al., 2015). Dari perspektif ini, dimensi ekonomi ditengarai sebagai

kontributor utama deforestasi. Meski demikian, mengacu pada kerangka kerja EKC, maka koneksi antara pendapatan per kapita dan deforestasi tidak bersifat *monotonic increasing*, tetapi mengikuti kurva U-terbalik (tradisional EKC) atau kurva N.

Hubungan U-terbalik antara pembangunan dan deforestasi pada dasarnya turunan dari konsep "*pollution first, clean up later*". Beberapa artikel empiris membuktikan adanya kurva U-terbalik. Hasil studi Yameogo (2021) di Burkina Faso, Nathaniel & Bekun (2020) di Nigeria, Ajanaku & Collins (2021) di Sub-Sahara Afrika, dan Adila et al. (2021) di Indonesia konsisten dengan hipotesis EKC. Meski demikian, Caravaggio (2020) menemukan bahwa hipotesis EKC deforestasi hanya ditemukan untuk sampel negara berkembang. Studi lainnya, Pablo-Romero et al. (2023) melaporkan bahwa hipotesis EKC deforestasi tidak terkonfirmasi di Amerika Latin.

Faktor ekonomi lain yang ditengarai memiliki peran signifikan terhadap perubahan luas tutupan hutan adalah globalisasi dan keterbukaan perdagangan. Globalisasi memiliki manfaat karena membuka pasar lebih luas. Meski demikian, globalisasi dan perdagangan juga berpotensi menyebabkan deforestasi melalui ekspor dan impor produk turunan pertanian dan kehutanan. Kenaikan permintaan komoditas pertanian dari global dianggap sebagai insentif untuk ekspansi produksi dengan cara mengkonversi hutan menjadi lahan pertanian (Richards & Friess, 2016; Defries et al., 2010). Tidak hanya itu, perdagangan kayu gelondongan juga menyebabkan hutan terdegradasi. Faria & Almeida (2016) melaporkan bahwa perdagangan komoditas primer seperti pertanian terbukti menyebabkan deforestasi. Namun, Nathaniel & Bekun (2020) menemukan bahwa dalam jangka panjang keterbukaan tidak mendorong deforestasi.

Tidak hanya perdagangan, investasi juga ditengarai memiliki peran kuat pada perubahan luas tutupan hutan di kawasan tropis, termasuk *foreign direct investment* (FDI). Investasi dapat mendorong degradasi hutan melalui peningkatan aktivitas ekonomi, khususnya jika investasi dialokasikan untuk sektor pertanian atau industri manufaktur yang terhubung kuat dengan sektor pertanian dan kehutanan (Tarascina, 2018). Studi di Afrika menemukan bahwa FDI berdampak signifikan dan positif terhadap deforestasi (Acheampong & Opoku, 2023).

Diluar konteks ekonomi, perubahan tutupan hutan juga diasosiasikan dengan tata kelola. Wehkamp et al. (2018) mengkonfirmasi bahwa beberapa indikator tata kelola seperti kebijakan lingkungan, kejelasan hak milik, keberadaan LSM lingkungan, dan regulasi lingkungan terbukti efektif untuk mengurangi deforestasi. Sebaliknya, perbaikan kebebasan hak dan demokrasi tidak efektif mengurangi deforestasi. Meski demikian, Ajanaku & Collins (2021) menemukan bahwa hak politik dan kebebasan sipil tidak mampu menghambat deforestasi dalam jangka panjang. Pachmann (2018) menegaskan bahwa hubungan jangka panjang antara korupsi dan deforestasi terbukti ada, dimana perilaku korupsi membantu praktik penebangan hutan secara liar. Perilaku – perilaku korupsi menghambat program konservasi hutan, sertifikasi hutan, dan pembangunan pertanian berkelanjutan.

Berdasarkan isu yang telah dipaparkan, studi ini bermaksud menyelidiki hubungan antara PDB per kapita dan deforestasi di negara – negara berkembang di Asia Tenggara tahun 2000 – 2020 dalam kerangka kerja EKC dan mengintegrasikan dampak keterbukaan perdagangan, investasi asing, dan pengendalian korupsi. Artikel ini menawarkan beberapa kebaruan. Penelitian ini bertujuan untuk menguji hipotesis koneksi antara PDB dan deforestasi mengikuti kurva N dari EKC yang belum dilakukan sebelumnya, dengan menggunakan metode estimasi data yang mengakomodasi isu heterogenitas panel. Asumsi homogenitas slope sangat sulit dipenuhi karena karakteristik hutan dan struktur ekonomi masing – masing negara Asia Tenggara berbeda. Oleh karena itu, metode estimasi *Pooled Mean Group* (PMG) atau Panel-ARDL cocok untuk diterapkan.

Ketiga, artikel EKC ini juga dilengkapi dengan analisis kausalitas panel yang diusulkan oleh Dumitrescu & Hurlin (2012). Kelebihan uji kausalitas DH adalah

mengakomodasi masalah heterogenitas individu dan cocok diaplikasikan untuk struktur data panel panjang, $T > N$. Uji kausalitas memiliki peran penting guna melihat arah kausalitas antara laju deforestasi, PDB per kapita, keterbukaan perdagangan, investasi, dan korupsi.

Metode Penelitian

Bagian metode penelitian terdiri dari data dan sumber data, spesifikasi model empiris, definisi operasional variabel dan hipotesis, dan metode estimasi.

Jenis dan Sumber Data

Sampel yang digunakan dalam studi ini adalah delapan negara berkembang di Asia Tenggara yakni Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam, Filipina, Kamboja, Myanmar, dan Laos, periode 2000 hingga 2020. Singapura dan Brunei Darussalam tidak dimasukkan ke objek studi karena level PDB per kapita di atas 13.845 USD atau melewati ambang batas negara berkembang, sedangkan Timor Leste tidak dimasukkan karena beberapa data tidak tersedia. Panjang observasi (2000 – 2020) berdasarkan ketersediaan data. Beberapa data yang dibutuhkan untuk membentuk variabel adalah luas tutupan hutan, nilai ekspor, nilai impor, PDB per kapita, *foreign direct investment*, dan nilai indeks pengendalian korupsi. Seluruh data diperoleh dari publikasi statistik *World Development Indicators* (WDI) dan *World Governance Indicators* (WGI) yang diterbitkan World Bank. Total observasi dalam penelitian ini adalah 168 unit, terdiri dari 8 negara dan 21 seri.

Spesifikasi Model Empiris

Studi ini bermaksud menyelidiki deforestasi di Asia Tenggara dalam kerangka kerja EKC dan menambahkan faktor keterbukaan perdagangan, investasi, dan korupsi. Mengacu pada studi terdahulu oleh Caravaggio (2020) dan Ajanaku & Collins (2021), maka model empiris disusun sebagai berikut:

$$DEF_{it} = \beta_0 + \beta_1 PDB_{it} + \beta_2 PDB_{it}^2 + \beta_3 PDB_{it}^3 + \beta_4 TO_{it} + \beta_5 FDI_{it} + \beta_6 COR_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Dimana DEF adalah laju deforestasi. PDB adalah pendapatan per kapita, PDB^2 adalah bentuk kuadrat PDB per kapita, dan PDB^3 merupakan bentuk kubik PDB per kapita. TO adalah keterbukaan perdagangan. FDI adalah investasi asing langsung. COR adalah indeks pengendalian korupsi. Subskrip i dan t menunjukkan negara dan periode analisis (2000 – 2020). $\beta_1 \dots \beta_6$ adalah koefisien variabel penjelas yang akan diestimasi. β_0 adalah intersep. ε adalah galat. Hipotesis EKC (kurva N) terkonfirmasi hanya jika koefisien $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$, dan $\beta_3 > 0$.

Definisi Operasional Variabel

Deforestasi

Deforestasi merupakan variabel dependen dalam penelitian ini. Kami menggunakan definisi deforestasi dalam arti sempit. Deforestasi adalah perubahan luas tutupan hutan (FAO, 2007). Pendapat lainnya, Hosonuma et al. (2012) menjelaskan bahwa deforestasi adalah penghilangan tutupan hutan dan perubahan vegetasi hutan menjadi vegetasi non-hutan. Mengacu pada studi Waluyo & Terawaki (2016), penelitian ini menggunakan laju perubahan bersih luas tutupan hutan sebagai proksi deforestasi. Laju deforestasi bersih diperoleh melalui persamaan 2. FOR_{it} adalah luas adalah luas tutupan hutan (%). Jika nilai DEF_{it} positif maka terjadi deforestasi, yakni luas tutupan hutan periode analisis (t) lebih rendah daripada luas tutupan periode sebelumnya ($t-1$). Sebaliknya, jika nilai DEF_{it} negatif maka terjadi kenaikan luas tutupan hutan.

$$DEF_{it} = \left(\frac{FOR_{it-1} - FOR_{it}}{FOR_{it}} \right) \quad (2)$$

PDB per kapita

Artikel ini memanfaatkan Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita harga konstan tahun 2015 sebagai proksi pertumbuhan ekonomi dan pembangunan. Kelebihan ukuran harga konstan adalah mampu merekam adanya pertumbuhan ekonomi. Selain itu, studi ini juga membangun variabel bentuk kuadrat PDB per kapita (PDB^2) dan bentuk kubik PDB per kapita (PDB^3) untuk keperluan membangun modal EKC bentuk kurva N. Koefisien PDB dan PDB^3 diekspektasikan positif sedangkan koefisien PDB^2 diekspektasikan negatif.

Keterbukaan Perdagangan

Keterbukaan perdagangan diproksi melalui rasio total perdagangan (jumlah ekspor dan impor) terhadap PDB tahun berjalan. Keterbukaan perdagangan diduga sebagai faktor tidak langsung perubahan tutupan hutan. Mengacu pada studi Faria & Almeida (2016) dan Yameogo (2021), keterbukaan perdagangan diekspektasikan berdampak positif terhadap laju deforestasi. Keterbukaan akan mengakomodir permintaan produk – produk pertanian dan kehutan dari negara lain yang akan diikuti dengan ekspansi pertanian dan kehutan melalui konversi hutan.

Foreign Direct Investment

Foreign Direct Investment (FDI) dalam studi ini diproksi dari rasio arus masuk neto investasi asing langsung terhadap PDB. FDI diprediksi memiliki pengaruh positif terhadap laju deforestasi. Investasi dapat mendorong degradasi hutan melalui peningkatan aktivitas ekonomi (Tarascina, 2018). Investasi pada sektor pertanian dan industri manufaktur yang terhubung kuat dengan pertanian dan kehutan menimbulkan deforestasi.

Korupsi (tata kelola)

Tata kelola memegang peran vital untuk mencegah perilaku – perilaku yang dapat mengakibatkan degradasi lingkungan. Artikel ini menggunakan indeks kontrol terhadap korupsi sebagai proksi tata kelola. Indeks ini dihitung oleh World Bank dan dapat diakses di *World Governance Indicators* (WGI). Indeks ini mengukur sejauh mana kekuasaan publik digunakan untuk kepentingan pribadi dan penangkapan berdasarkan kepentingan elit dan pribadi. Indeks kontrol korupsi diekspektasikan berdampak negatif terhadap laju deforestasi.

Tabel 1. Ringkasan Variabel Penelitian

Variabel (notasi)	Satuan	Definisi Operasional
Deforestasi (DEF)	%	Laju deforestasi neto (laju perubahan luas tutupan hutan)
PDB per kapita (PDB)	USD	Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita (harga konstan tahun 2015)
Keterbukaan perdagangan (TO)	%	Rasio total nilai perdagangan (jumlah ekspor dan impor) terhadap PDB
<i>Foreign Direct Investment</i> (FDI)	%	Rasio arus masuk bersih investasi asing langsung terhadap PDB
Korupsi (COR)	indeks	Indeks pengendalian korupsi. Skor indeks berkisar -2,5 – 2,5

Metode Estimasi

Artikel empiris ini memanfaatkan metode estimasi Pooled Mean Group (PMG) atau Panel ARDL untuk menyelidiki determinan deforestasi di Asia Tenggara dalam kerangka kerja EKC. Studi ini juga dilengkapi uji akar unit dan kointegrasi untuk memastikan bahwa hubungan jangka panjang tidak semu. Estimator Panel ARDL tidak cocok diaplikasikan jika terdapat variabel yang stasioner pada diferensiasi kedua (Ekananda, 2022). Oleh karena itu, artikel ini mengaplikasikan uji akar unit yang diusulkan oleh Levin et al. (2002) untuk menyelidiki integrasi variabel penelitian. LLC mengasumsikan homogenitas individu panel (slope dan intersep) pada regresi tahap pertama.

Untuk memberikan hasil yang komprehensif, dilakukan juga uji stasioner yang dapat mendeteksi heterogenitas panel. Uji akar unit Im-Pesaran-Shin (IPS) yang disarankan oleh Im et al. (2003) dan *Cross-sectional Augmented version of IPS* (CIPS) yang diusulkan oleh Pesaran (2007). Keunggulan lain metode CIPS adalah mengakomodasi isu ketergantungan penampang. Baik metode LLC, IPS, maupun CIPS mengusulkan hipotesis nol bahwa seri mengandung akar unit. Tolak hipotesis nol jika t-statistik lebih besar daripada nilai kritis pada signifikansi 10%.

Setelah deteksi akar unit, artikel ini mengaplikasikan uji kointegrasi yang diusulkan oleh Kao (1999). Kointegrasi mengindikasikan hubungan jangka panjang, yaitu kombinasi sejumlah seri yang tidak stasioner menjadi stasioner dan terintegrasi. Uji kointegrasi yang diusulkan oleh Kao (1999) mengasumsikan homogenitas intersep dan slope untuk individu panel pada regresi tahap pertama.

$$y_{it} = a_i + \delta x_{it} + e_{it} \quad (5)$$

dimana:

$$\begin{aligned} y_{it} &= y_{it-1} + u_{it} \\ x_{it} &= x_{it-1} + u_{it} \end{aligned} \quad (6)$$

dan

$$\hat{e}_{it} = \rho \hat{e}_{it} + v_{it} \quad (7)$$

\hat{e}_{it} adalah hitungan residual persamaan. y dan x terkointegrasi jika $\rho < 1$. Tolak H_0 jika t-statistik ditemukan lebih besar daripada t-tabel atau *p-value* < taraf kepercayaan 10%. Sebagai uji kesahihan, artikel ini dilengkapi uji kointegrasi Pedroni (2004) dan Westerlund (2005) yang mengakomodasi heterogenitas dan membolehkan *trend* pada persamaan.

Setelah deteksi kointegrasi, *Pooled Mean Group* (PMG) atau Panel-ARDL diaplikasikan guna menyelidiki hubungan dinamis antar variabel yang diteliti. Metode ini dikenalkan oleh Pesaran et al. (1999). Estimator ini mengakomodasi isu heterogenitas individu sehingga cocok digunakan untuk struktur panel panjang, yakni seri lebih besar daripada penampang ($T > N$). Intersep dan slope diperbolehkan heterogen dalam jangka pendek, tetapi mereka diasumsikan homogen dalam jangka panjang (Pesaran et al., 1999). Beberapa penelitian EKC terbaru juga memakai estimator PMG (lihat Espoir et al., 2023; Ahmad et al., 2022; Ansari, 2022). Model umum PMG (p,q) disusun sebagai berikut:

$$DEF_{it} = \sum_{j=1}^p \theta_{ij} DEF_{it-j} + \sum_{j=0}^q \vartheta_{ij} X_{i,t-j} + v_i + \mu_{it} \quad (8)$$

Dimana i, t, dan j menunjukkan negara, tahun, dan kelambanan. X merupakan vektor variabel independen yang terdiri dari PDB, TO, FDI, dan COR. v adalah efek tetap individu. u adalah galat. Modal PMG dengan *error correction term* dibentuk dengan memodifikasi persamaan 8 menjadi persamaan 9

$$\Delta DEF_{it} = \omega_i DEF_{it-1} - \lambda_i X_{it} + \sum_{i=1}^{p-1} \theta'_{ij} \Delta DEF_{it-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \vartheta'_{ij} \Delta X_{it-j} + v_i + \mu_{it} \quad (9)$$

Disusun ulang, maka diperoleh:

$$\Delta DEF_{it} = \phi_i [DEF_{it-1} - (\lambda_0 + \lambda_1 X_{it-1})] + \sum_{i=1}^{p-1} \theta'_{ij} \Delta DEF_{it-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \vartheta'_{ij} \Delta X_{it-j} + v_i + \mu_{it} \quad (10)$$

Dimana parameter θ_i dan ϑ_i , masing – masing menunjukkan koefisien jangka pendek dari kelambanan variabel independen dan dependen, sedangkan γ_i menunjukkan koefisien

jangka panjang dari variabel independen. ϕ_i adalah koefisien dari ECT yang menunjukkan kecepatan penyesuaian menuju keseimbangan jangka panjang. Untuk verifikasi, koefisien ECT harus bertanda negatif, berkisar 0 hingga 1, dan signifikan secara statistik

Terakhir, studi ini menambahkan uji kausalitas yang diusulkan oleh Dumitrescu & Hurlin (2012). Kelebihan uji kausalitas DH adalah membolehkan masalah ketergantungan penampang, heterogenitas individu, dan mampu diaplikasikan ke berbagai struktur panel, baik $T > N$ maupun $T < N$ (Lopez & Weber, 2017). Beberapa studi empiris terkini juga memanfaatkan uji kausalitas DH (lihat Islam, 2022; Shahbaz et al., 2022; dan Habiba et al., 2022). Mengikuti Dumitrescu & Hurlin (2012), persamaan umum uji kausalitas DH dapat disusun sebagai berikut:

$$y_{it} = \alpha_i + \sum_{k=1}^k \gamma_i^{(k)} y_{it-k} + \sum_{k=1}^k \beta_i^{(k)} x_{it-k} + \epsilon_{it} \tag{11}$$

Dimana x_i dan y_i adalah variabel yang terbukti terkointegrasi. k menunjukkan urutan kelambanan. H_0 adalah tidak terdapat hubungan kausal untuk setiap sub kelompok. Tolak H_0 jika terdapat hubungan kausal, minimal satu sub kelompok. Uji hipotesis menggunakan nilai rata – rata statistik Wald. Tolak H_0 jika nilai statistik z-bar atau z-bar tilda lebih besar dari nilai rata – rata statistik Walk atau $p\text{-value} < \text{taraf signifikansi } 10\%$. Nilai rata – rata statistik Wald diperoleh melalui persamaan 12 (Lopez & Weber, 2017).

$$W_{N,T}^{HNC} = N^{-1} \sum_{i=1}^N W_{i,T} \tag{12}$$

Hasil dan Pembahasan

Statistik Deskriptif Variabel

Tabel 2 menampilkan statistik deskriptif variabel. PDB per kapita ditransformasikan ke bentuk logaritma. Standar deviasi DEF dan COR lebih besar dibandingkan nilai rata – rata, menunjukkan bahwa tingkat penyimpangan tergolong tinggi. Sebaliknya, standar deviasi PDB, TO, dan FDI lebih rendah dari nilai rata – rata, menyiratkan bahwa tingkat variasi data yang rendah. Data deforestasi berkisar -6,82% hingga 0,51%, PDB per kapita berkisar $\exp(-13,13)$ hingga $\exp(13,70)$, TO berkisar 11,86% hingga 220,41%, FDI berkisar -2,76% hingga 14,15%, dan COR berkisar -0,62% hingga 0,45%. Berdasarkan nilai skewness, DEF dan PDB memiliki kecondongan negatif atau ekor distribusi di sebelah kiri, sedangkan TO, FDI, dan COR memiliki kemiringan positif. Mengacu pada nilai kurtosis, DEF, FDI, dan FDB mengikuti distribusi leptokurtik, sedangkan TO dan COR mengikuti distribusi mesokurtik. Semua variabel ditemukan tidak berdistribusi normal, kecuali COR.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Variabel

	DEF (Persen)	PDB Log(USD)	TO (Persen)	FDI (Persen)	COR (Indeks)
Rata – rata	0.2611	5.6915	100.4176	3.9334	-0.6679
Median	0.2134	6.1433	92.2022	3.2800	-0.6177
Max.	5.1298	13.6953	220.4068	14.1500	0.4497
Min.	-6.8219	-13.1267	11.8554	-2.7600	-1.6733
Std. Dev.	1.1176	3.7356	47.6944	3.0689	0.4981
Skewness	-0.5530	-1.6026	0.6186	1.2902	0.2208
Kurtosis	12.8963	8.6801	2.6748	4.9347	2.5915
P (J-B)	826.3264	354.4712	13.6351	86.6756	3.0151
P-value	0.0000	0.0000	0.0011	0.0000	0.2215

Tabel 3. Hasil Uji Akar Unit

	LLC		IPS		CIPS	
	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)	I(0)	I(1)
DEF	4.224	-2.828***	-0.299	-4.057***	-4.674***	-3.593***
PDB	6.930	-4.028***	2.227	-6.712***	-2.269*	-4.535***
TO	-0.424	-4.288***	-1.228	-5.447***	-1.099	-3.469***
FDI	-3.149***	-10.168***	-3.746***	-8.532***	-3.158***	-5.619***
COR	-0.341	-5.957***	-1.040	-5.773***	-1.826	-4.495***

Keterangan: I(0) dan I(1) menunjukkan level dan diferensiasi pertama

*, dan *** signifikan pada 10%, dan 1%

Hasil Uji Akar Unit

Hasil deteksi akar unit ditampilkan pada Tabel 3. Hasil deteksi akar unit dengan LLC dan IPS menunjukkan bahwa seluruh variabel tidak stasioner pada data level, kecuali FDI. Meski demikian, seluruh variabel ditemukan stasioner pada diferensiasi pertama, masing – masing pada taraf signifikansi 1%. Hal senada juga ditemukan menggunakan teknik CIPS bahwa seluruh variabel stasioner pada diferensiasi pertama. Dengan demikian, DEF, PDB, TO, FDI, dan COR terintegrasi pada ordo pertama, I(1). Dikarenakan sejumlah variabel tidak stasioner pada data level, analisis kointegrasi penting untuk melihat eksistensi hubungan jangka panjang.

Hasil Uji Kointegrasi

Tabel 4 menampilkan hasil uji kointegrasi. Nilai statistik uji kointegrasi Kao (ADF) ditemukan tolak hipotesis nol pada taraf 5%, mengindikasikan bahwa adanya kointegrasi. Hasil senada juga dilaporkan oleh metode yang mengakomodasi isu heterogenitas panel, Pedroni dan Westerlund. Nilai statistik dari Group rho, Group PP, group ADF, dan *variance ratio* menunjukkan tolak hipotesis nol. Hubungan jangka panjang terkonfirmasi ada. Dapat dikatakan bahwa DEF, PDB, TO, FDI, dan COR bergerak bersama menuju keseimbangan jangka panjang. Eksistensi kointegrasi juga menunjukkan bahwa metode PMG cocok untuk diaplikasikan.

Tabel 4 Hasil Uji Kointegrasi

Metode	Statistik	p-value
Kao	ADF-statistik	-2.1417**
Pedroni	Group rho-statistik	3.1694***
	Group PP-statistik	-4.3349***
	Group ADF-statistik	-1.5937*
Westerlund	Variance ratio (all panels)	2.6380***

*, **, dan *** signifikan pada 10%, 5%, dan 1%

Hasil Estimasi PMG

Tabel 5 menampilkan hasil estimasi PMG jangka pendek dan panjang. Model (2,2,2,2,2) dibentuk secara otomatis setelah melakukan uji penentuan kelambanan maksimal melalui *Vector Autoregression* (VAR) dan teknik *Akaike Information Criterion* (AIC) (lihat Tabel 7 dan 8 pada lampiran). Hasil estimasi jangka panjang menemukan bahwa nilai koefisien PDB dan PDB³ adalah positif ($\beta_1 = 2.8606$ dan $\beta_3 = 0.0682$) sedangkan nilai koefisien PDB² ditemukan negatif ($\beta_2 = -1.0962$) masing – masing signifikan pada taraf 1%. Hasil ini mengandung makna bahwa hubungan antara PDB per kapita dan laju deforestasi di delapan negara Asia Tenggara, yakni Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam, Filipina, Kamboja, Laos, Myanmar, tidak linier, tetapi mengikuti kurva N. Hasil ini mendukung hipotesis EKC modern, yakni kurva N, modifikasi dari kurva U-terbalik. Selain itu, temuan ini sejalan dengan penelitian EKC oleh Lorente & Alvarez-Herranz (2016) dan

Zeraibi et al. (2022) untuk emisi karbon dioksida dan Ari & Şentürk (2020) untuk emisi gas metana.

Mengacu pada hasil estimasi, titik balik pertama terjadi pada pendapatan 1,669 USD per kapita dan titik balik kedua terjadi pada pendapatan 3,074 USD per kapita. Temuan empiris ini mengindikasikan bahwa penurunan tutupan hutan di Asia Tenggara ditengarai akan terus terjadi sejalan dengan pertumbuhan ekonomi karena rata – rata pendapatan sudah melampaui titik balik kedua. Dengan bahasa lain, PDB per kapita Asia Tenggara berada pada daerah *upward sloping* fase kedua dari kurva N atau mengalami efek keusangan teknis. Temuan ini unik karena pada umumnya titik balik kedua dialami oleh negara – negara maju. Meski demikian, hal ini relevan sejalan dengan publikasi World Bank (2020) bahwa luas tutupan hutan di sebagian besar Asia Tenggara menyusut setiap tahun. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa pembangunan ekonomi di Asia Tenggara masih jauh dari indikator keberlanjutan untuk konteks kehutanan.

Dihitung sejak tahun 2000, Kamboja merupakan negara dengan laju deforestasi tertinggi, diikuti Myanmar dan Indonesia, masing – masing mengalami kehilangan tutupan hutan sebesar 15,37%, 9,63%, dan 6,84%. Hubungan positif antara pendapatan dan deforestasi menunjukkan bahwa integrasi antara kebijakan pembangunan dan tata kelola hutan masih lemah. Rashid Gill et al. (2018) mengemukakan bahwa pertumbuhan berkelanjutan yang tidak merusak lingkungan perlu ditingkatkan untuk mengurangi degradasi lingkungan. Oleh karena itu, penting bagi Asia Tenggara untuk memperbarui program pembangunan berkelanjutan.

Untuk variabel penjelas lainnya, koefisien TO ditemukan positif dan signifikan pada taraf 1%. Dapat dikatakan bahwa keterbukaan perdagangan merupakan pendorong deforestasi di Asia Tenggara. Temuan ini sejalan dengan studi empiris Faria & Almeida (2016) di Brazil. Dalam praktiknya, keterbukaan perdagangan menyebabkan deforestasi melalui dua jalur utama, yakni ekspansi pertanian dan kehutanan (Pendrill, Persson, Godar, Kastner, et al., 2019). Keterbukaan perdagangan merupakan peluang bagi negara berkembang untuk memenuhi permintaan komoditas pertanian dari negara – negara maju. Ironisnya, di Asia Tenggara ekspansi pertanian masih banyak dilakukan dengan cara praktis, yaitu konversi hutan menjadi lahan dan praktik – praktik eksploitasi sumber daya hutan seperti penebangan liar masih berjalan. Konversi hutan menjadi perkebunan kelapa sawit, perkebunan karat adalah bentuk nyata kegiatan ekonomi yang terdeteksi mendorong penurunan luas tutupan hutan di Asia Tenggara (Samejima, 2020; Turner & Snaddon, 2023).

Tabel 5. Hasil Estimasi PMG

	Koefisien	Standard error	t-statistik	p-value
Model Jangka Panjang				
PDB	2.86067***	0.77310	3.70027	0.001
PDB ²	-1.09619***	0.23810	-4.60397	0.000
PDB ³	0.06825***	0.01415	4.82187	0.000
TO	1.46933***	0.38972	3.77019	0.001
FDI	0.32323***	0.04616	7.00281	0.000
COR	-3.90132***	1.41079	-2.76535	0.008
Model Jangka pendek				
ECT	-0.13250**	0.06058	-2.18705	0.034
D(DEF(-1))	-0.07953	0.19190	-0.41444	0.681
D(PDB)	-0.02878	0.28395	-0.10135	0.920
D(PDB(-1))	26.64104	27.02370	0.98584	0.330
D(PDB2)	-0.02963	0.11618	-0.25501	0.800
D(PDB2(-1))	-4.24130	4.24812	-0.99840	0.324

D(PDB3)	0.00576	0.00942	0.61141	0.544
D(PDB3(-1))	0.22592	0.22034	1.02529	0.311
D(TO)	2.50078**	0.94741	2.63960	0.012
D(TO(-1))	0.64275	0.59514	1.07999	0.286
D(FDI)	-0.03811	0.08509	-0.44790	0.657
D(FDI(-1))	-0.04114	0.03902	-1.05426	0.298
D(COR)	0.13722	0.64402	0.21306	0.832
D(COR(-1))	-1.18798**	0.54828	-2.16676	0.036
C	0.39944*	0.22479	1.77692	0.083

*, **, dan *** menunjukkan signifikan pada taraf 10%, 5%, dan 1%.

FDI juga ditemukan berpengaruh positif terhadap laju deforestasi pada taraf 1%. Temuan ini sejalan dengan Puspitaningrum et al. (2018). Dapat dikatakan bahwa masuknya aliran modal asing akan diikuti dengan penurunan tutupan hutan. Dalam praktiknya, FDI dapat mendorong deforestasi melalui peningkatan aktivitas ekonomi, baik aktivitas ekonomi langsung, misalnya ekspansi perkebunan dan pembukaan padang rumput, maupun aktivitas ekonomi tidak langsung seperti aktivitas industri manufaktur yang memanfaatkan bahan baku dari sektor pertanian dan kehutanan sebagai bahan baku (Tarascina, 2018). Namun, koefisien FDI (0.3232) lebih rendah dari keterbukaan perdagangan (1.4693). Artinya keterbukaan berkontribusi lebih besar terhadap laju deforestasi dibandingkan FDI.

Berbeda dengan variabel perdagangan dan investasi, variabel indek pengendalian korupsi berpengaruh negatif terhadap laju deforestasi pada taraf 1%. Sebagai salah satu indikator *good governance*, hasil ini menunjukkan bahwa perbaikan tata kelola memiliki peran penting untuk mengurangi laju deforestasi di Asia Tenggara. Temuan ini sejalan dengan Avnimelech & Zelekha (2014). Dalam praktiknya, pengendalian terhadap korupsi akan membantu tercapainya tata kelola sumber daya hutan yang lebih baik, yakni memenuhi prinsip – prinsip berkelanjutan. Pachmann (2018) mengemukakan bahwa perilaku korupsi menjembatani kegiatan pengelolaan sumber daya hutan dan pertanian yang tidak sesuai dengan prinsip – prinsip berkelanjutan, yang pada gilirannya menyebabkan degradasi hutan.

Hasil estimasi model PMG jangka panjang harus divalidasi dengan koefisien ECT pada jangka pendek untuk memastikan bahwa hubungan tidak semu. Hasil menunjukkan bahwa ECT memiliki arah koefisien negatif (-0.13250) dan signifikan pada taraf 5%. Keseimbangan jangka panjang terkonfirmasi ada sehingga hubungan antara deforestasi, PDB per kapita, keterbukaan perdagangan, investasi, dan indek pengendalian korupsi tidak semu. Hasil ini mengkonfirmasi bahwa guncangan dalam jangka pendek yang mengakibatkan *disequilibrium* akan disesuaikan menuju keseimbangan jangka panjang dengan kecepatan penyesuaian lebih kurang 13,25% per tahun.

Tabel 6. Hasil Uji Kausalitas DH

Hipotesis nol:	W-Statistik	Zbar-Statistik	Prob.
PDB → DEF	7.35563***	5.14525	0.000
DEF → PDB	1.11953	-1.24352	0.214
TO → DEF	5.44497***	3.18781	0.001
DEF → TO	4.79397**	2.52088	0.012
FDI → DEF	2.23051	-0.10534	0.916
DEF → FDI	1.81912	-0.52680	0.598
COR → DEF	5.71250***	3.46189	0.001
DEF → COR	5.62600***	3.37328	0.001
TO → PDB	0.94594	-1.42136	0.155

PDB → TO	4.02279*	1.73082	0.084
FDI → PDB	2.05218	-0.28804	0.773
PDB → FDI	2.37103	0.03862	0.969
COR → PDB	2.19631	-0.14037	0.888
PDB → COR	3.26958	0.95916	0.338
FDI → TO	2.37885	0.04663	0.963
TO → FDI	2.85496	0.53439	0.593
COR → TO	6.97059***	4.75078	0.000
TO → COR	5.16571***	2.90172	0.004
COR → FDI	3.01189	0.69517	0.487
FDI → COR	1.64667	-0.70347	0.482

Keterangan: Panjang lag untuk uji kausalitas DH adalah 2. Penentuan lag menggunakan metode AIC. → menunjukkan arah kausalitas; *, **, dan *** menunjukkan signifikan pada taraf 10%, 5%, dan 1%.

Hasil Uji Kausalitas

Tabel 6 menampilkan hasil uji kausalitas panel menggunakan pendekatan yang diusulkan oleh Dumitrescu & Hurlin (2012). Uji kausalitas penting untuk melihat hubungan kausal antar variabel dan merumuskan arah rekomendasi kebijakan (Ahmed et al., 2015). Terkait deforestasi, terdapat hubungan kausal satu dari PDB menuju DEF. Hasil ini sejalan dengan studi di Pakistan oleh Ahmed et al. (2015) dan Burkina Faso oleh Yameogo (2021). Selain itu, terdapat hubungan kausal dua arah antara TO dan DEF dan kausalitas dua arah antara COR dan DEF. Artinya keterbukaan terkonfirmasi kuat menyebabkan deforestasi dan ada *feedback effect* antara korupsi dan deforestasi. Temuan ini menunjukkan tata kelola yang lemah (praktik – praktik korupsi) akan mendorong laju deforestasi positif dan deforestasi juga insentif untuk korupsi. Di luar konteks deforestasi, terdapat hubungan kausalitas satu arah dari PDB menuju TO dan kausalitas dua arah antara COR dan TO.

Kausalitas satu arah dari PDB per kapita menuju laju deforestasi mengindikasikan bahwa penurunan luas tutupan hutan tidak bersifat sebagai pendorong pertumbuhan PDB di Asia Tenggara. Sebaliknya, kenaikan PDB per kapita terdeteksi sebagai akar perubahan luas hutan. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa faktor ekonomi adalah *underlying causes* perubahan tutupan hutan di wilayah tropis. Dikarenakan tidak ada *feedback effect*, maka sangat mungkin bagi negara – negara di Asia Tenggara untuk mengurangi laju deforestasi tanpa menghambat program – program pembangunan ekonomi. Dengan kata lain, sangat mungkin untuk mencapai kondisi *net zero deforestation* sekaligus mendorong pertumbuhan ekonomi. Meski demikian, mengacu pada hasil Panel-ARDL, maka beberapa aspek yang perlu dikaji secara kontinu adalah aktivitas perdagangan internasional, yakni ekspor dan impor, dan aliran investasi bersih dari luar negeri. Dua kegiatan ekonomi tersebut terkonfirmasi sebagai akan penyebab penurunan tutupan hutan. Beberapa kebijakan strategis yang dapat diaplikasikan untuk mengurangi laju deforestasi sekaligus mencapai target pertumbuhan dan pembangunan adalah merumuskan investasi ramah lingkungan, perdagangan hijau, dan penguatan kontrol terhadap korupsi.

Kesimpulan

Pembangunan dan degradasi lingkungan di negara – negara berkembang umumnya terjadi secara simultan dan mengikuti kerangka kerja *Environmental Kuznet Curve* (EKC). Artikel ini bermaksud menyelidiki hubungan antara PDB per kapita dan deforestasi dalam kerangka kerja EKC dengan mengintegrasikan beberapa variabel penting berdasarkan konsep *underlying causes* perubahan tutupan hutan, yakni faktor perdagangan, investasi asing, dan tata kelola. Data yang digunakan adalah delapan negara berkembang di Asia Tenggara untuk periode 2000 – 2020. Seluruh data yang digunakan meliputi deforestasi, PDB per kapita, keterbukaan perdagangan, investasi asing langsung, dan indeks kontrol

terhadap korupsi diakses dari publikasi tahunan *World Development Indicators* (WDI). Untuk mengestimasi hubungan dinamis, estimasi PMG diaplikasikan, serta dilengkapi dengan uji akar unit (LLC, IPS, dan CIPS), kointegrasi (Pesaran, Westerlund, dan Kao), dan kausalitas panel (DH).

Variabel yang digunakan dalam studi ini terintegrasi pada orde pertama dan mereka terbukti terkointegrasi. Hasil estimasi mendukung hipotesis EKC bahwa hubungan antara PDB per kapita dan laju deforestasi tidak linier, tapi mengikuti Kurva N, sejalan dengan hipotesis EKC modern. Titik balik pertama terjadi pada level pendapatan 1.6693 USD per kapita dan titik balik kedua pada level pendapatan 3,073.55 USD per kapita. Hasil empiris ini menunjukkan bahwa penurunan tutupan hutan (deforestasi) akan terus berlangsung sejalan dengan kenaikan PDB per kapita dikarenakan seluruh negara di Asia Tenggara sudah melampaui titik balik kedua dari model EKC-N. Asia Tenggara saat ini menikmati efek keusangan teknis. Temuan lainnya, keterbukaan dan investasi terdeteksi sebagai akar pendorong deforestasi dimana efek marginal dari keterbukaan perdagangan lebih besar dibandingkan investasi asing. Sebaliknya, tata kelola (indeks kontrol terhadap korupsi) memiliki peran strategis untuk mengurangi laju deforestasi. Terakhir, uji kausalitas DH menemukan hubungan kausal satu arah dari PDB per kapita menuju laju deforestasi, menunjukkan bahwa penurunan tutupan hutan bukan pendorong pertumbuhan ekonomi. Artinya, sangat mungkin bagi negara – negara di Asia Tenggara untuk mengurangi laju deforestasi sekaligus melakukan pembangunan ekonomi dan mencapai target pertumbuhan. Mempromosikan perdagangan berkelanjutan, meningkatkan investasi ramah lingkungan, dan memperbaiki tata kelola melalui penguatan pengendalian terhadap korupsi adalah kebijakan strategis yang potensial dijalankan untuk mencapai kondisi pembangunan tanpa menyebabkan deforestasi.

Daftar Pustaka

- Acheampong, A. O., & Opoku, E. E. O. (2023). Energy justice, democracy and deforestation. *Journal of Environmental Management*, 341(December 2022), 118012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118012>
- Adams, C., Rodrigues, S. T., Calmon, M., & Kumar, C. (2016). Impacts of large-scale forest restoration on socioeconomic status and local livelihoods: what we know and do not know. *Biotropica*, 48(6), 731–744. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/btp.12385>
- Adila, D., Nuryartono, N., & Oak, M. (2021). The environmental kuznets curve for deforestation in Indonesia. *Economics and Finance in Indonesia*, 67(2), 195. <https://doi.org/10.47291/efi.v67i2.671>
- Ahmad, S., Khan, D., & Magda, R. (2022). Assessing the influence of financial inclusion on environmental degradation in the ASEAN region through the panel PMG-ARDL approach. *Sustainability (Switzerland)*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/su14127058>
- Ahmed, K., Shahbaz, M., Qasim, A., & Long, W. (2015). The linkages between deforestation, energy and growth for environmental degradation in Pakistan. *Ecological Indicators*, 49(2014), 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.040>
- Ajanaku, B. A., & Collins, A. R. (2021). Economic growth and deforestation in African countries: Is the environmental kuznets curve hypothesis applicable? *Forest Policy and Economics*, 129, 102488. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102488>
- Ansari, M. A. (2022). Re-visiting the environmental kuznets curve for ASEAN: A comparison between ecological footprint and carbon dioxide emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112867. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112867>
- Ari, I., & Şentürk, H. (2020). The relationship between GDP and methane emissions from solid waste: A panel data analysis for the G7. *Sustainable Production and Consumption*, 23, 282–290. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.06.004>
- Avnimelech, G., & Zelekha, Y. (2014). The impact of corruption on entrepreneurship. *International Business Ethics and Growth Opportunities*, 42(2), 282–294. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-7419-6.ch013>
- Caravaggio, N. (2020). A global empirical re-assessment of the environmental kuznets curve for deforestation.

- Forest Policy and Economics*, 119, 102282. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102282>
- Caravaggio, N. (2022). Economic growth and forest transition in Latin America. *Forest Policy and Economics*, 135, 102667. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102667>
- Carodenuto, S., Merger, E., Essomba, E., Panev, M., Pistorius, T., & Amougou, J. (2015). A methodological framework for assessing agents, proximate drivers and underlying causes of deforestation: Field test results from Southern Cameroon. *Forests*, 6(1), 203–224. <https://doi.org/10.3390/f6010203>
- Defries, R. S., Rudel, T., Uriarte, M., & Hansen, M. (2010). Deforestation driven by urban population growth and agricultural trade in the twenty-first century. *Nature Geoscience*, 3(3), 178–181. <https://doi.org/10.1038/ngeo756>
- Dumitrescu, E. I., & Hurlin, C. (2012). Testing for Granger non-causality in heterogeneous panels. *Economic Modelling*, 29(4), 1450–1460. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.02.014>
- Ekananda, M. (2022). Role of macroeconomic determinants on the natural resource commodity prices: Indonesia futures volatility. *Resources Policy*, 78, 102815. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102815>
- Espoir, D. K., Sunge, R., & Bannor, F. (2023). Exploring the dynamic effect of economic growth on carbon dioxide emissions in Africa: evidence from panel PMG estimator. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(52), 112959–112976. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30108-4>
- FAO. (2007). Manual on deforestation, degradation, and fragmentation using remote sensing and GIS. In strengthening monitoring, assessment and reporting on sustainable forest management in Asia (GCP/INT/988/JPN) MAR-SFM) (MAR-SFM Working Paper 5 / 2007). <http://www.fao.org/3/a-ap163e.pdf>
- FAO. (2020). *Global forest resources assessment 2020: Main report*. <https://doi.org/10.4060/ca9825en>
- Faria, W. R., & Almeida, A. N. (2016). Relationship between openness to trade and deforestation: Empirical evidence from the Brazilian Amazon. *Ecological Economics*, 121, 85–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.11.014>
- Gandhi, S., & Jones, T. G. (2019). Identifying mangrove deforestation hotspots in South Asia, Southeast Asia and Asia-Pacific. *Remote Sensing*, 11(6), 1–27. <https://doi.org/10.3390/RS11060728>
- Habiba, U., Xinbang, C., & Anwar, A. (2022). Do green technology innovations, financial development, and renewable energy use help to curb carbon emissions? *Renewable Energy*, 193, 1082–1093. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.084>
- Hosonuma, N., Herold, M., De Sy, V., De Fries, R. S., Brockhaus, M., Verchot, L., Angelsen, A., & Romijn, E. (2012). An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. *Environmental Research Letters*, 7(4), 1–12. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044009>
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*, 115(1), 53–74. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)
- Islam, M. S. (2022). Do personal remittances cause environmental pollution? Evidence from the top eight remittance-receiving countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(24), 35768–35779. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18175-x>
- IUCN. (2021). *Issues brief: Deforestation and forest degradation*. <https://www.iucn.org/resources/issues-brief/deforestation-and-forest-degradation>
- Kao, C. (1999). Spurious regression and residual-based tests for cointegration in panel data. *Journal of Econometrics*, 90(1), 1–44. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(98\)00023-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(98)00023-2)
- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1–24. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)
- Lim, C. L., Prescott, G. W., De Alban, J. D. T., Ziegler, A. D., & Webb, E. L. (2017). Untangling the proximate causes and underlying drivers of deforestation and forest degradation in Myanmar. *Conservation Biology*, 31(6), 1362–1372. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/cobi.12984>
- Lopez, L., & Weber, S. (2017). Testing for granger causality in panel data. *Stata Journal*, 17(4), 972–984. <https://doi.org/10.1177/1536867X1801700412>
- Lorente, D. B., & Alvarez-Herranz, A. (2016). An approach to the effect of energy innovation on environmental kuznets curve: An introduction to inflection point. *Bulletin of Energy Economics*, September, 225–233.

https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Lorente-2/publication/311172976_An_Approach_to_the_Effect_of_Energy_Innovation_on_Environmental_Kuznets_Curve_An_Introduction_to_Inflexion_Point/links/584ae1b908aecb6bd8bef8fb/An-Approach-to-the-Effect-of-Energ

- Margono, B. A., Potapov, P. V., Turubanova, S., Stolle, F., & Hansen, M. C. (2014). Primary forest cover loss in Indonesia over 2000–2012. *Nature Climate Change*, 4(8), 730–735. <https://doi.org/10.1038/nclimate2277>
- Miyamoto, M., Mohd Parid, M., Noor Aini, Z., & Michinaka, T. (2014). Proximate and underlying causes of forest cover change in Peninsular Malaysia. *Forest Policy and Economics*, 44, 18–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forpol.2014.05.007>
- Nathaniel, S. P., & Bekun, F. V. (2020). Environmental management amidst energy use, urbanization, trade openness, and deforestation: The Nigerian experience. *Journal of Public Affairs*, 20(2). <https://doi.org/10.1002/pa.2037>
- Pablo-Romero, M. P., Sánchez-Braza, A., & Gil-Pérez, J. (2023). Is deforestation needed for growth? Testing the EKC hypothesis for Latin America. *Forest Policy and Economics*, 148, 102915. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.102915>
- Pachmann, A. (2018). Corruption and deforestation in Indonesia. *Regional Formation and Development Studies*, 25(2), 55–62. <https://doi.org/10.15181/rfds.v25i2.1745>
- Pedroni, P. (2004). Panel cointegration: Asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the PPP hypothesis. *Econometric Theory*, 20(3), 597–625. <https://doi.org/10.1017/S0266466604203073>
- Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., & Kastner, T. (2019). Deforestation displaced: Trade in forest-risk commodities and the prospects for a global forest transition. *Environmental Research Letters*, 14(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0d41>
- Pendrill, F., Persson, U. M., Godar, J., Kastner, T., Moran, D., Schmidt, S., & Wood, R. (2019). Agricultural and forestry trade drives large share of tropical deforestation emissions. *Global Environmental Change*, 56, 1–10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.002>
- Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(2), 265–312. <https://doi.org/https://www.jstor.org/stable/25146517>
- Pesaran, M. H., Shin, Y., Smith, R. P., & Hashem, M. (1999). Pooled mean group estimation of dynamic heterogeneous panels. *Source: Journal of the American Statistical Association*, 94(446), 621–634. <https://doi.org/10.2307/2670182>
- Pichler, M., Bhan, M., & Gingrich, S. (2021). The social and ecological costs of reforestation. territorialization and industrialization of land use accompany forest transitions in Southeast Asia. *Land Use Policy*, 101, 105180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105180>
- Puspitaningrum, R., Sukmana, R., & Mawardi, I. (2018). The linkage between economic growth and deforestation in OIC (The Organization of Islamic Cooperation) Countries. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research (ASSEHR)*, 98(Icpsuas 2017), 320–325. <https://doi.org/10.2991/icpsuas-17.2018.68>
- Rahman, D.-S., Chen, S., Saud, S., Saleem, N., & Bari, M. W. (2019). Nexus between financial development, energy consumption, income level, and ecological footprint in CEE countries: do human capital and biocapacity matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 26. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06343-z>
- Rashid Gill, A., Viswanathan, K. K., & Hassan, S. (2018). The environmental kuznets curve (EKC) and the environmental problem of the day. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1636–1642. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.247>
- Richards, D. R., & Friess, D. A. (2016). Rates and drivers of mangrove deforestation in Southeast Asia, 2000–2012. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(2), 344–349. <https://doi.org/10.1073/pnas.1510272113>
- Samejima, H. (2020). *Tropical Timber Trading from Southeast Asia to Japan BT - Anthropogenic Tropical Forests: Human–Nature Interfaces on the Plantation Frontier* (N. Ishikawa & R. Soda (eds.); pp. 517–541). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7513-2_25
- Shahbaz, M., Nwani, C., Bekun, F. V., Gyamfi, B. A., & Agozie, D. Q. (2022). Discerning the role of renewable

- energy and energy efficiency in finding the path to cleaner consumption and production patterns: New insights from developing economies. *Energy*, 260, 124951. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124951>
- Tarascina, A. (2018). How does foreign direct investment impact deforestation in Indonesia? *Journal of International Economics*, 79(1), 42–53.
- Taubert, F., Fischer, R., Groeneveld, J., Lehmann, S., Müller, M. S., Rödig, E., Wiegand, T., & Huth, A. (2018). Global patterns of tropical forest fragmentation. *Nature*, 554(7693), 519–522. <https://doi.org/10.1038/nature25508>
- Turner, E. C., & Snaddon, J. L. (2023). Chapter 16 - Deforestation in Southeast Asia. In R. Sivanpillai & J. F. B. T.-B. and E. H. Shroder risks, and disasters (Second Edition) (Eds.), *Hazards and Disasters Series* (pp. 319–334). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820509-9.00004-6>
- Turubanova, S., Potapov, P. V., Tyukavina, A., & Hansen, M. C. (2018). Ongoing primary forest loss in Brazil, Democratic Republic of the Congo, and Indonesia. *Environmental Research Letters*, 13(7), 74028. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aacd1c>
- Usman, O., Iorember, P. T., & Olanipekun, I. O. (2019). Revisiting the environmental kuznets curve (EKC) hypothesis in india: The effects of energy consumption and democracy. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(13), 13390–13400. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04696-z>
- Waluyo, E. A., & Terawaki, T. (2016). Environmental kuznets curve for deforestation in Indonesia: An ARDL bounds testing approach. *Journal of Economic Cooperation and Development*, 37(3), 87–108. <https://jecd.sesric.org/pdf.php?file=ART15031901-2.pdf>
- Wehkamp, J., Koch, N., Lübbers, S., & Fuss, S. (2018). Governance and deforestation — a meta-analysis in economics. *Ecological Economics*, 144, 214–227. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.030>
- Westerlund, J. (2005). New simple tests for panel cointegration. *Econometric Reviews*, 24(3), 297–316. <https://doi.org/10.1080/07474930500243019>
- World Bank, W. D. I. (2020). *Forest Cover (% of Land Area)*. <https://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.FRST.ZS?locations=ID>
- Yameogo, C. E. W. (2021). Globalization, urbanization, and deforestation linkage in Burkina Faso. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(17), 22011–22021. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-12071-6>
- Zeraibi, A., Ahmed, Z., Shehzad, K., Murshed, M., Nathaniel, S. P., & Mahmood, H. (2022). Revisiting the EKC hypothesis by assessing the complementarities between fiscal, monetary, and environmental development policies in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(16), 23545–23560. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17288-7>

Lampiran

Tabel 7. Penentuan Kelambanan Optimal

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-3108.192	NA	30113370	37.08562	37.21578	37.13845
1	-2314.319	1512.138	4244.818	28.21809	29.25941*	28.64071*
2	-2253.679	110.4531*	3705.987*	28.07951*	30.03198	28.87192
3	-2225.189	49.51816	4765.34	28.32367	31.18731	29.48588
4	-2199.294	42.84948	6361.636	28.59874	32.37353	30.13073

*menunjukkan lag optimal

Tabel 8. Pemilihan Modal Terbaik: Pendekatan AIC

Model	LogL	AIC*	BIC	HQ	Spesifikasi model
4	163.21205	-0.44300	1.9000	0.50789	PMG (2, 2, 2, 2, 2, 2)
2	142.97836	-0.29736	1.8969	0.59316	PMG (1, 2, 2, 2, 2, 2)
3	59.25544	0.22315	1.6736	0.81180	PMG (2, 1, 1, 1, 1, 1)

1	45.10826	0.29633	1.5980	0.82460	PMG (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
---	----------	---------	--------	---------	---------------------------