

**PENGARUH JUMLAH PENDUDUK USIA PRODUKTIF, GDP
PERKAPITA DAN ENERGI TERBARUKAN TERHADAP EMISI CO²
(STUDI NEGARA JEPANG DAN INDONESIA TAHUN 1981-2024)**

(Tesis)

Oleh

**ERMAWATI
NPM 2221021011**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER ILMU EKONOMI
FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

ABSTRAK

PENGARUH JUMLAH PENDUDUK USIA PRODUKTIF, GDP PERKAPITA DAN ENERGI TERBARUKAN TERHADAP EMISI CO² (STUDI NEGARA JEPANG DAN INDONESIA TAHUN 1981-2024)

Oleh

ERMAWATI

Penelitian ini bertujuan untuk Pengaruh Jumlah Penduduk, GDP Perkapita dan Energi Terbarukan terhadap Emisi Co² Negara Indonesia dengan Studi *Benchmarking* Negara Jepang Tahun 1981-2024, data yang digunakan merupakan data sekunder dari berbagai sumber resmi, metode analisis yang diterapkan adalah metode *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah penduduk produktif berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi Co² di Jepang dan Indonesia, yang mengindikasikan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi dan konsumsi masyarakat usia produktif mendorong kenaikan emisi. Sementara itu, PDB per kapita berpengaruh positif namun tidak signifikan, sehingga pertumbuhan pendapatan belum menjadi faktor utama yang menentukan perubahan emisi di kedua negara. Di sisi lain, energi terbarukan memiliki pengaruh signifikan dengan arah yang berbeda, yaitu negatif di Jepang dan positif di Indonesia. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan energi terbarukan di Jepang telah efektif dalam menekan emisi karbon, sedangkan di Indonesia transisi energi masih belum optimal sehingga peningkatan energi terbarukan belum mampu mengurangi ketergantungan pada energi fosil dan emisi yang dihasilkan.

Kata kunci : Emisi Co², GDP perkapita, Energi Terbarukan, IPAT, Kaya Identity

ABSTRACT

THE EFFECT OF PRODUCTIVE AGE POPULATION, GDP PER CAPITA AND RENEWABLE ENERGY ON CO₂ EMISSIONS (A STUDY OF JAPAN AND INDONESIA, 1981-2024)

By

ERMAWATI

This study aims to examine the Effect of Population, GDP per capita, and Renewable Energy on CO₂ Emissions with a Benchmarking Study of Indonesia Against Japan 1981-2024. The data used are secondary data from various official sources. The analysis method applied is the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) method. The results of the study indicate that the number of productive population has a positive and significant effect on CO₂ emissions in Japan and Indonesia, which indicates that increased economic activity and consumption of productive-age people drive increased emissions. Meanwhile, GDP per capita has a positive but insignificant effect, so that income growth has not been the main factor determining changes in emissions in both countries. On the other hand, renewable energy has a significant effect in the opposite direction, namely negative in Japan and positive in Indonesia. These findings indicate that the use of renewable energy in Japan has been effective in reducing carbon emissions, while in Indonesia the energy transition is still not optimal so that the increase in renewable energy has not been able to reduce dependence on fossil energy and the resulting emissions

Keywords : CO₂ Emissions, GDP per capita, Renewable Energy, IPAT, Kaya Identity.

**PENGARUH JUMLAH PENDUDUK USIA PRODUKTIF, GDP
PERKAPITA DAN ENERGI TERBARUKAN TERHADAP EMISI CO²
(STUDI NEGARA JEPANG DAN INDONESIA TAHUN 1981-2024)**

Oleh

ERMAWATI

Tesis

**Sebagai Syarat untuk Mencapai Gelar
Master Ekonomi**

Pada

**Program Studi Magister Ilmu Ekonomi
Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER ILMU EKONOMI
FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2026**

Judul Tesis : **PENGARUH JUMLAH PENDUDUK USIA
PRODUKTIF, GDP PERKAPITA DAN ENERGI
TERBARUKAN TERHADAP EMISI CO² (STUDI
NEGARA JEPANG DAN INDONESIA TAHUN
1981-2024)**

Nama Mahasiswa : **Ermawati**

NPM : **2221021011**

Program Studi : **Magister Ilmu Ekonomi**

Fakultas : **Ekonomi dan Bisnis**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Prof. Marselina, S.E., M.P.M., PIA.
NIP 196707101990032001



Dr. Dedy Yuliawan, S.E., M.Si.
NIP 19770729 2005011001

2. Ketua Program Studi Magister Ilmu Ekonomi



Dr. Asih Murwiati, S.E., M.E.
NIP 197404102008122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji :

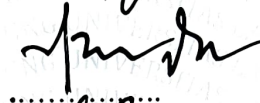
Ketua: **Prof. Marselina, S.E., M.P.M., PIA**

.....

Sekretaris: **Dr. Dedy Yuliawan, S.E., M.Si**

.....

Penguji I: **Dr. Neli Aida, S.E., M.Si**

.....

Penguji II: **Dr. Arivina Ratih Yulihar T, S.E., M.M**

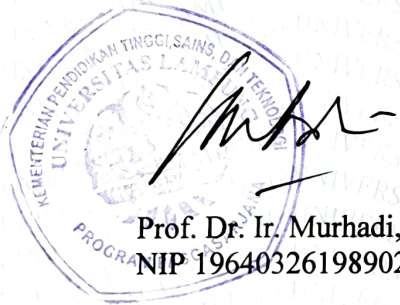
.....

2. Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis



Prof. Dr. Nairobi, S.E., M.Si.
NIP 196606211990031003

3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP 196403261989021001

4. Tanggal Lulus Ujian Tesis: 03 Juni 2026

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa tesis ini telah ditulis dengan sungguh-sungguh dan bukan merupakan penjiplakan hasil karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Bandar Lampung, 10 Juni 2026
Penulis,



ERMAWATI

RIWAYAT HIDUP



Nama : Ermawati
Tempat/Tanggal Lahir : Penengahan, 25 Agustus 1996
Alamat : Desa Penengahan RT/RW 001/002
Kecamatan Penengahan, Kabupaten
Lampung Selatan
No. Hp : 0812-7841-2669
Email : ermawati11379@gmail.com

Riwayat Pendidikan

SD : SDN 1 SUKABARU
SMP : SMPN 1 PENENGAHAN
SMA : SMAN 1 KALIANDA
S1 : UIN Raden Intan Lampung
(Jurusan Perbankan Syariah– FEBI)
S2 : Universitas Lampung
(Magister Ilmu Ekonomi - Fakultas Ekonomi dan Bisnis
Program Studi Ilmu Ekonomi)

Pengalaman Kerja

HRD : PT Bank Pembiayaan Rakyat Syariah Bandar Lampung
(2021 – 2025)

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, karya tesis ini saya persembahkan teruntuk bapakku tersayang Alm. Abdul Munir terima kasih atas segala cinta, pengorbanan dan nilai-nilai kehidupan yang telah bapak tanamkan, meskipun bapak telah berpulang di tengah perjalanan studi ini, doa, nasihat, dan kenangan tentang bapak senantiasa hidup dalam hati dan menjadi kekuatan dalam setiap langkah yang saya tempuh, semoga capain sederhana ini menjadi salah satu bentuk bakti dan kebanggaan yang dapat saya persembahkan untuk bapak, dan terkhusus untuk ibu ku tercinta Ibu Suntainah terima kasih atas kasih sayang yang tulus, doa yang tidak pernah putus serta perjuangan dan pengorbanan yang tak terhitung nilainya setiap pencapaian yang saya raih tidak lepas dari dukungan dan ketulusan doa Ibu.

MOTTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya."

(QS. Al-Baqarah: 286)

“Seekor burung yang duduk di atas pohon tidak pernah takut rantingnya patah,
karna kepercayaannya bukan pada cabang dahannya, tetapi pada kemampuannya
untuk terbang”

(Maulana Jalaluddin Rumi)

“Seberapa pun sulit dan mustahilnya, jangan pernah melupakan tujuanmu."

(Monkey D. Luffy)

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji Syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas berkat rahmat serta hidayah-Nya, penulis masih bisa merasakan segala nikmat dan anugerah yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Pengaruh Jumlah Penduduk Usia Produktif, GDP Perkapita dan Energi Terbarukan Terhadap Emisi Co² (Studi Negara Jepang Dan Indonesia Tahun 1981-2024)”.

Adapun maksud dalam penulisan tesis ini adalah guna melengkapi dan memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Master Ekonomi pada Program Studi Magister Ilmu Ekonomi di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung. Penulis telah banyak memperoleh bimbingan, bantuan serta motivasi dari semua pihak. Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Nairobi S.E., M.Si. selaku Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Asih Murwiati, S.E., M.E., selaku Ketua Program Studi Magister Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
5. Ibu Prof. Marselina, S.E., M.P.M., PIA., selaku Dosen Pembimbing I yang begitu sabar dan luar biasa dalam memberikan arahan, kritik, ilmu dan sumbangan pemikiran dalam proses penyelesaian tesis ini.
6. Bapak Dr. Dedy Yuliawan, S.E., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II yang begitu sabar dan selalu mendukung dalam memberikan kritik, ilmu dan sumbangan pemikiran dalam proses penyelesaian tesis ini.

7. Ibu Dr. Neli Aida, S.E., M.Si., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan saran dan nasehat yang bermanfaat bagi penulis.
8. Ibu Dr. Arivina Ratih Yulihar T, S.E., M.M., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran dan nasehat yang bermanfaat bagi penulis.
9. Bapak dan Ibu dosen Magister Ilmu Ekonomi Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan membantu selama penulis menyelesaikan masa pendidikan.
10. Mba Ita sebagai admin Magister Ilmu Ekonomi yang telah membantu penulis selama perkuliahan dan tesis, serta seluruh staf dan pegawai Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
11. Bapak tersayang Alm. Abdul Munir dan Ibu Suntainah yang begitu luar biasa dan selalu memberikan doa, serta dukungan demi kesuksesan penulis.
12. Adiku tercinta Majid Hermawan dan Khorionisa yang menjadi semangat dan motivasi untuk terus belajar tumbuh menjadi manusia lebih baik lagi.
13. Teman seperjuangan Magister Ilmu Ekonomi Angkatan 2022 dan teman-teman Magister Ilmu Ekonomi Angkatan 2023 yang selalu mendukung penulis untuk berjuang.
14. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini dari awal hingga akhir.

Semoga Allah SWT mempermudah segala urusan kita. Akhir kata, penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi penulis berharap semoga karya sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	17
1.3 Tujuan Penelitian	17
1.4 Manfaat Penelitian	18
II. TINJAUAN PUSTAKA	19
2.1 Landasan Teori.....	19
2.1.1 Teori I=PAT	19
2.1.2 Teori Identitas Kaya (Kaya Identity)	20
2.1.3 Environmental Kuznets Curve (EKC).....	21
2.2 Tinjauan Empiris.....	29
2.3 Kerangka Penelitian	34
2.4 Hipotesis Penelitian	36
III. METODE PENELITIAN	37
3.1 Jenis dan Sumber Data.....	37
3.2 Definisi Operasional Variabel.....	38
3.2.1 Emisi CO ²	38
3.2.2 penduduk Usia Produktif.....	39
3.2.3 GDP Per Kapita	39
3.2.4 Energi Terbarukan	40
3.3 Metode Analisis Data.....	41
3.3.1 Model Penelitian	41
3.3.2 Statistik Deskriptif.....	42
3.3.2.1 Uji Stasioneritas	43
3.3.2.2 Uji Kointegrasi <i>Bounds Test</i>	44

3.3.2.3 Penentuan Lag Optimal	45
3.3.2.4 Estimasi <i>Autoregressive Distributed Lag</i> (ARDL).....	46
3.3.2.5 Estimasi Model ARDL Jangka Panjang	48
3.3.2.6 Estimasi Model ARDL Jangka Pendek	49
3.3.2.7 Uji Stabilitas Model	49
3.3.2.8 Uji Asumsi Klasik.....	50
3.3.2.9 Uji Hipotesis/ Statistik.....	52
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN.....	54
4.1 Analisis Deskriptif	54
4.2 Hasil Uji Stasioneritas.....	58
4.3 Uji Asumsi Klasik.....	60
4.4 Hasil Uji Kointegrasi Bounds Test	63
4.5 Hasil Estimasi Model ARDL	64
4.5.1 Estimasi Model ARDL Jangka Panjang Jepang.....	72
4.5.2 Estimasi Model ARDL Jangka Panjang Indonesia	73
4.5.3 Estimasi Model ARDL Jangka Pendek Negara Jepang	75
4.5.4 Estimasi Model ARDL Jangka Pendek Negara Indonesia.....	77
4.6 Hasil Uji Stabilitas CUSUM <i>Test</i> dan CUSUM <i>of Squares Test</i>	79
4.8 Pembahasan Hasil Penelitian	81
4.8.1 Pengaruh Penduduk Usia Produktif terhadap Emisi CO ² di Jepang dan Indonesia	81
4.8.2 Pengaruh GDP per kapita terhadap Emisi CO ² di Jepang Dan Indonesia	88
4.8.3 Pengaruh Energi Terbarukan terhadap Emisi Karbon di Jepang dan Indonesia	103
4.8.4 Persamaan dan Perbedaan Pengaruh Penduduk Usia Produktif, GDP Perkapita, dan Energi Terbarukan dan Implikasi <i>Benchmarking</i> di Jepang dan Indonesia terhadap Pengendalian Emisi CO ²	117
V. KESIMPULAN DAN SARAN	131
5.1 Kesimpulan	131
5.2 Saran Penelitian	133
DAFTAR PUSTAKA	135

DAFTAR TABEL

1. Ringkasan Hasil Penelitian Terdahulu	30
2. Analisis Statistik Deskriptif Negara Jepang dan Indonesia	53
3. Uji Unit Root Tes–ADF Pada Tingkat Level Negara Jepang dan Indonesia.	57
4. Uji Unit Root Tes –ADF Pada 1 st Difference Negara Jepang dan Indonesia	59
5. Uji Heteroskedastisitas.....	60
6. Uji Autokorelasi	61
7. Uji Kointegrasi <i>Bounds Testing Approach</i> Jepang dan Indonesia	62
8. Estimasi Model ARDL Negara Jepang (1,4,2,1)	64
9. Estimasi Model ARDL Negara Indonesia (2,0,0,4).....	66
10. Model ARDL Jangka Panjang Jepang	70
11. Model ARDL Jangka Panjang Indonesia	71
12. Model ARDL Jangka Pendek Negara Jepang.....	73
13. Model ARDL Jangka Pendek Negara Indonesia	75
14. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Indonesia Berdasarkan Sektor Ekonomi Tahun 2023	85
15. Pangsa 10% Penduduk Berpendapatan Tertinggi	93
16. Pasokan Energi Terbarukan Jepang	101
17. Bauran Energi Terbarukan %.....	110

DAFTAR GAMBAR

1. Trend Emisi Co ² Global	2
2. Kenaikan dan Penurunan Konsumsi Energi Primer (%)	3
3. Tingkat Kemandirian Energi Primer Jepang (%)	5
4. Jumlah Penduduk dan Pertumbuhan Penduduk (%)	6
5. Perbandingan GDP per kapita dan Emisi Co ² per kapita negara Indonesia dan Jepang	9
6. Konsumsi Energi Indonesia Menurut Sumber Energi.....	10
7. Tingkat Ketergantungan Minyak Bumi dan Energi Fosil Negara Jepang.....	12
8. Pasokan dan Bauran Energi Primer Indonesia	13
9. Kurva Environmental Kuznets Curve (EKC).....	23
10. Kerangka Penelitian	34
11. Uji Normalitas Data Jepang dan Indonesia	59
12. Hasil CUSUM dan CUSUM of Square Jepang.....	76
13. Hasil CUSUM dan CUSUM of Square Indonesia	77
14. Tren Emisi Co ² dan Penduduk Usia produktif negara Jepang	80
15. Emisi Co ² Menurut Sektor di Jepang tahun 2015-2023	81
16. Tren Emisi Co ² dan Penduduk Usia produktif negara Indonesia.....	83
17. Pure Backward GVC Participation (GVCPB).....	86
18. Perbandingan GDP per kapita dan Emisi Co ² per kapita negara Indonesia dan Jepang	89
19. Intesitas Karbon dan Intensitas Energi Jepang.....	91
20. Konsumsi Akhir Energi Menurut Sektor Tahun 2020-2024 (Terajoule).....	96
21. Intensitas Energi dan Intensitas Karbon Indonesia	98
22. Konsumsi Energi Menurut Sumber Energi Tahun 2020-2024.....	99
23. Energi Terbarukan Negara Jepang tahun 1981-2024 (%).....	100

24. Intensitas Energi Primer dan Energi Primer per kapita	102
25. Produksi listrik berdasarkan sumber energi (A) dan Pangsa energi terbarukan dalam pembangkitan listrik Jepang (B) dan OECD 2010–2023	103
26. Tingkat Kemandirian Energi Jepang	105
27. Emisi Co ² Menurut Sektor di Jepang	106
28. Energi Terbarukan Negara Indonesia tahun 1981-2024 (%)	108
29. Pangsa Penyediaan Energi Primer Indonesia Tahun 2014–2024	109
30. Konsumsi Energi Akhir Indonesia	110
31. Pembangkitan listrik berbasis energi terbarukan yang terhubung ke jaringan utama (PLN) di Indonesia	111
32. Konsumsi Energi Menurut Sumber Energi Tahun 2020-2024 (Terajoule)	112

I. PENDAHULUAN

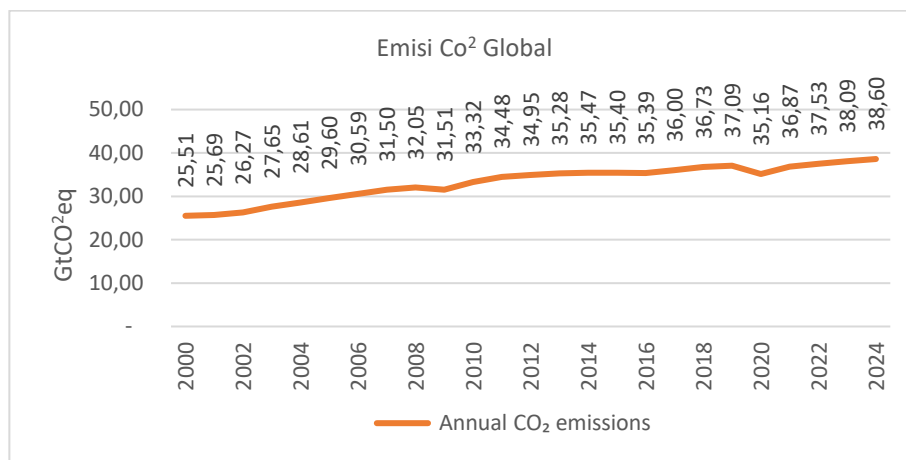
1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim yang ditandai dengan peningkatan suhu rata-rata global akibat pemanasan global telah menjadi pemicu utama kerusakan lingkungan di berbagai belahan dunia, kondisi ini memicu fenomena iklim ekstrem seperti gelombang panas, kebakaran hutan, badai tropis, dan kekeringan berkepanjangan yang merusak ekosistem alami maupun buatan manusia. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2022), suhu rata-rata global telah meningkat sekitar $1,1^{\circ}\text{C}$ dibandingkan era pra-industri, dan tren ini berpotensi mencapai $1,5^{\circ}\text{C}$ dalam dua dekade mendatang jika tidak ada langkah mitigasi signifikan, dampak dari kondisi ini tidak hanya terbatas pada aspek lingkungan, tetapi juga menimbulkan risiko besar terhadap kesehatan manusia, ketahanan pangan, serta stabilitas sosial dan ekonomi global (Agarwal & Tu, 2020).

Sebagai respons atas krisis iklim global organisasi internasional telah menyusun serangkaian perjanjian mengikat untuk menekan emisi CO_2 yang diawali oleh Protokol Kyoto tahun 1997 sebagai tonggak hukum bagi negara maju, lalu dilanjutkan dengan *Copenhagen Accord* tahun 2009 yang menyepakati target pembatasan kenaikan suhu global di bawah 2°C serta komitmen regional seperti pengurangan emisi GRK Uni Eropa, upaya kolektif ini mencapai puncaknya pada *Paris Agreement* tahun 2015, perjanjian ini mengikat secara hukum dan diratifikasi oleh 195 negara meskipun *Paris Agreement* telah diberlakukan sebagai kerangka kerja global untuk mengendalikan perubahan iklim kenyataannya emisi GRK global terus mengalami kenaikan.

Berdasarkan laporan *Emissions Of All World Countries* (EDGAR, 2025) pada tahun 2024 emisi GRK global mencapai $53,2 \text{ GtCO}_2\text{eq}$ meningkat sebesar

1,3% dibandingkan tahun 2023, dari total emisi gas rumah kaca global yang dilepaskan ke atmosfer salah satu kontributor utama pemanasan global adalah Emisi CO_2 dimana menyumbang lebih dari 72,56% terutama berasal dari sektor energi seperti pembakaran batu bara, minyak, dan gas alam untuk pembangkit listrik, transportasi, serta industri manufaktur, sementara itu sektor non energi lainnya di mana Pertanian menyumbang sekitar 17.9% melalui pelepasan Metana (CH_4) dan Dinitrogen Oksida (NO_2) 4,8% serta F Gas 2,8% (IEA, 2024). Perkembangan Emisi CO_2 selengkapnya disajikan pada gambar berikut



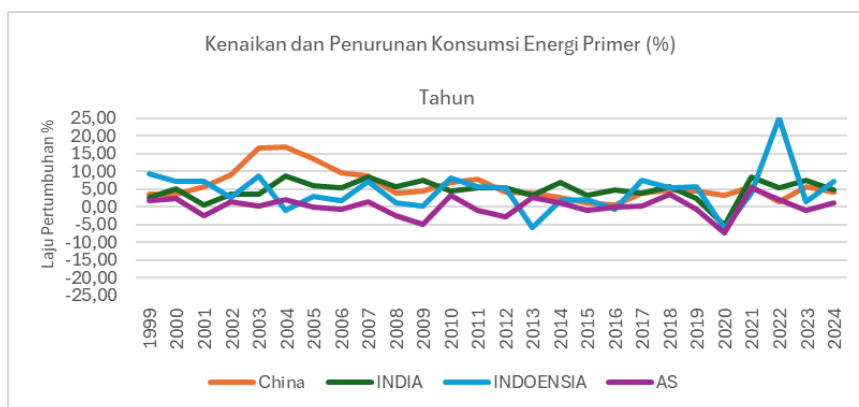
Sumber : *Global Carbon Budget* (2025)

Gambar 1. Trend Emisi CO_2 Global

Pada gambar 1. Pertumbuhan Emisi CO_2 berdasarkan *World Bank* (2021) memperkirakan tanpa adanya upaya pengendalian terhadap perubahan iklim dapat mendorong lebih dari 130 juta orang ke dalam kemiskinan pada tahun 2030, akibat dampak pemanasan global terhadap produktivitas, infrastruktur, dan mata pencaharian rakyat di dunia oleh karena itu isu perubahan iklim tidak hanya menjadi persoalan lingkungan semata tetapi juga menjadi tantangan serius bagi keberlanjutan pembangunan ekonomi, kondisi ini menjadikan pengendalian emisi CO_2 sebagai fokus utama dalam berbagai perjanjian internasional, seperti *Paris Agreement* yang menekankan pentingnya transisi energi bersih dan pembangunan berkelanjutan dan menuntut adanya kebijakan global maupun nasional yang mampu menyeimbangkan antara pertumbuhan ekonomi, impor energi dan pengendalian emisi CO_2 (Pata, 2021).

Meningkatnya fenomena Emisi CO² sebagai bentuk degradasi lingkungan menunjukkan bahwa aktivitas manusia memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap perubahan kondisi lingkungan global, untuk membedah faktor-faktor apa saja yang menyebabkan melonjaknya Emisi CO², ilmu ekonomi lingkungan menyediakan sebuah alat analisis mendasar yang dikenal sebagai Teori IPAT ($Impact = Population \times Affluence \times Technology$) yang dikemukakan oleh Ehrlich dan Holdren (1971). Teori IPAT menjelaskan bahwa dampak lingkungan (Impact) dipengaruhi oleh jumlah penduduk (P), tingkat kemakmuran ekonomi (A), dan teknologi (T) yang digunakan dalam kegiatan ekonomi baik proses produksi maupun konsumsi masyarakat.

Indikator pertama menyebabkan dampak lingkungan (*Impact*) dalam teori IPAT Adalah *Population* (P), berdasarkan Laporan *World Population Review* dan *World Bank* (2024) terdapat empat negara dengan jumlah penduduk terbanyak di dunia yaitu India, China, Amerika Serikat, dan Indonesia empat negara ini memiliki tingkat konsumsi energi yang tinggi dalam memenuhi kegiatan ekonomi.



Sumber : *Statistical Review of World Energy* (2025)

Gambar 2. Kenaikan dan Penurunan Konsumsi Energi Primer (%)

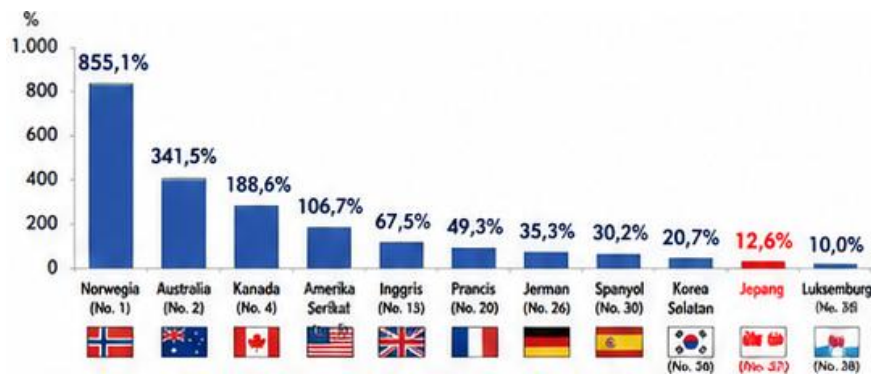
berdasarkan Gambar 2. Indonesia mengalami peningkatan konsumsi energi yang cukup tinggi dibandingkan negara lain, bahkan pada tahun 2022 mencapai sekitar 25% yang menjadi tingkat konsumsi tertinggi di antara

negara-negara lain, China menunjukkan pola pertumbuhan konsumsi energi yang lebih stabil karena didukung oleh sektor industri dan manufaktur besar yang secara konsisten membutuhkan energi dalam jumlah tinggi, pada negara China struktur ekonominya yang berpusat penuh pada satu sektor dominan yaitu pabrik manufaktur, India memiliki tren peningkatan konsumsi energi akibat pertumbuhan penduduk dan ekspansi ekonomi yang terus berkembang namun India fokus pemanfaatan energinya dialokasikan untuk menyediakan akses listrik harian bagi ratusan juta penduduk miskin dan Amerika Serikat cenderung memiliki pertumbuhan energi yang lebih rendah dan stabil karena efisiensi energi serta penggunaan teknologi yang lebih maju dan Amerika Serikat tidak lagi bertumpu pada pembangunan fisik atau industrialisasi berat melainkan sudah bergeser ke sektor jasa keuangan dan teknologi digital tingkat tinggi.

Bonus demografi, urbanisasi, dan industrialisasi menyebabkan kebutuhan energi nasional terus meningkat, sementara struktur energi Indonesia masih didominasi oleh energi fosil seperti batu bara dan minyak bumi sehingga peningkatan konsumsi energi tersebut berpotensi meningkatkan emisi CO² (Kementrian ESDM, 2024) terlihat bahwa Indonesia menunjukkan tingkat pertumbuhan konsumsi energi primer yang relatif lebih fluktuatif dibandingkan China, India, dan Amerika Serikat, karena Indonesia memiliki struktur ekonomi yang sangat beragam sesuai dengan pendekatan *Kaya Identity* dalam menentukan faktor-faktor Emisi CO² sehingga Indonesia dipilih sebagai salah satu objek utama dalam penelitian ini.

Berbeda dengan negara penghasil emisi CO² besar dunia lain yang memiliki cadangan energi melimpah, Jepang merupakan negara yang secara struktural sangat rapuh karena tidak memiliki sumber daya energi primer domestik, terlihat adanya kondisi yang menarik sekaligus kontradiktif dalam hubungan antara pembangunan ekonomi dan Emisi CO², Jepang sebagai negara maju menunjukkan kemampuan dalam menurunkan intensitas energi dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi namun di sisi lain berdasarkan data resmi *International Energy Agency* dan *Ministry of Economy Trade and*

Industry (METI, 2025) menyatakan tingkat kemandirian energi Jepang sangat rendah pada tahun 2022 sebesar 12,6% lebih rendah dari negara OECD lainnya, dengan mengimpor lebih dari 80.1% tahun 2024 untuk kebutuhan energi primer nasionalnya dari luar negeri, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Sumber : *Ministry of Economy Trade and Industry Japan* (METI 2025)

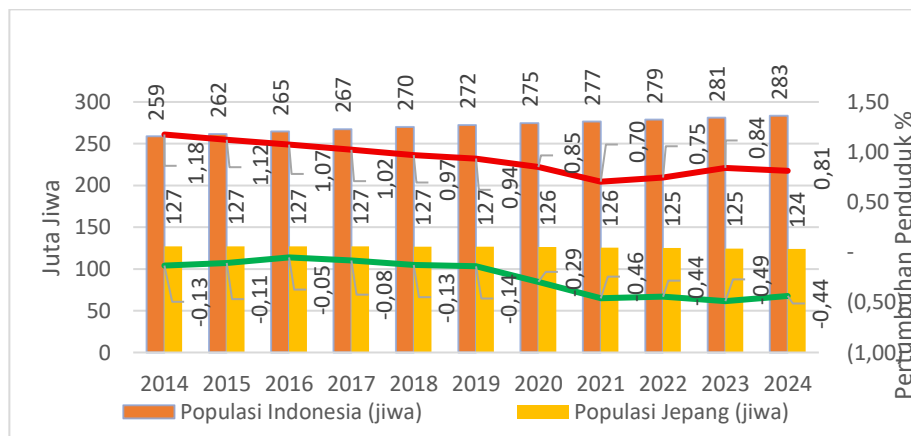
Gambar 3. Tingkat Kemandirian Energi Primer Jepang (%).

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa meskipun Jepang telah berhasil meningkatkan efisiensi energi dan teknologi rendah karbon, aktivitas ekonomi dan kebutuhan energi nasional masih sangat dipengaruhi oleh penggunaan energi fosil (OECD, 2024) fenomena ini menjadi menarik untuk dianalisis karena secara teoritis peningkatan PDB per kapita dan aktivitas ekonomi seharusnya meningkatkan konsumsi energi dan emisi CO², tetapi Jepang justru menunjukkan tren terjadinya penurunan Emisi CO². Berdasarkan kondisi tersebut Jepang dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki karakteristik struktural yang unik dibandingkan negara emisi CO² besar lainnya, kondisi tersebut menjadikan Jepang relevan sebagai negara pembanding bagi Indonesia yang memiliki sumber daya energi fosil domestik berlimpah, sehingga perbedaan struktur energi kedua negara dapat dijelaskan dalam dinamika emisi CO².

Ehrlich dan Holdren (1971) melalui teori IPAT menjelaskan bahwa perlambatan maupun penurunan jumlah penduduk secara teoritis dapat

mengurangi tekanan lingkungan karena menurunnya kebutuhan energi, konsumsi sumber daya, dan aktivitas produksi masyarakat, setiap pertambahan satu jiwa di suatu wilayah secara otomatis akan menghasilkan emisi CO² dalam memenuhi kebutuhan dasar hidup manusia, mulai dari sandang, pangan, papan hingga mobilitas harian, proses pemenuhan hajat hidup ratusan juta orang inilah yang pada hulu akhirnya memaksa negara untuk terus menggunakan energi primer dalam volume yang masif.

Dalam pendekatan Kaya Identity peningkatan jumlah penduduk akan memperbesar skala aktivitas ekonomi dan konsumsi masyarakat yang pada akhirnya berpotensi meningkatkan emisi CO², bertambahnya jumlah penduduk khususnya penduduk usia produktif, akan mendorong peningkatan permintaan terhadap barang dan jasa, aktivitas produksi, urbanisasi, mobilitas, serta konsumsi rumah tangga yang menjadi sumber tekanan terhadap lingkungan, hasil penelitian Khusna & Kusumawardani (2021) pada negara-negara ASEAN menunjukkan bahwa peningkatan jumlah penduduk berpengaruh positif terhadap emisi CO² melalui peningkatan konsumsi energi domestik dan aktivitas ekonomi regional. Negara Jepang dan Indonesia memiliki tren pertumbuhan jumlah penduduk yang berbeda sebagaimana disajikan pada Gambar 4.



Sumber : *World Bank* (2025)

Gambar 4. Jumlah Penduduk dan Pertumbuhan Penduduk (%).

Berdasarkan Gambar 4. Perkembangan jumlah penduduk negara Jepang dan Indonesia menunjukkan karakteristik demografi yang berbeda-beda sehingga menghasilkan tekanan lingkungan dan emisi CO² yang berbeda pula, Jepang mengalami fenomena penuaan populasi yang ditandai dengan penurunan jumlah penduduk dari sekitar 127 juta jiwa pada tahun 2014 menjadi 124 juta jiwa pada tahun 2024 akibat rendahnya tingkat kelahiran dan meningkatnya usia harapan hidup, penurunan jumlah usia produktif penduduk menyebabkan pertumbuhan konsumsi energi, mobilitas masyarakat, dan aktivitas produksi domestik cenderung lebih rendah, penelitian terdahulu menunjukkan bahwa perubahan jumlah penduduk memiliki pengaruh signifikan terhadap Emisi CO² O'Neill *et al* (2012) menemukan bahwa perlambatan dan penurunan pertumbuhan penduduk dapat menurunkan laju peningkatan emisi CO² global melalui penurunan konsumsi energi dan aktivitas ekonomi.

pada Gambar 4. Indonesia mengalami fenomena bonus demografi yang ditandai dengan meningkatnya jumlah penduduk usia produktif dan pertumbuhan populasi yang terus positif, dari 259 juta jiwa pada tahun 2014 menjadi 283 juta jiwa pada tahun 2024, kondisi tersebut mendorong peningkatan aktivitas ekonomi, urbanisasi, industrialisasi, konsumsi rumah tangga, transportasi, dan kebutuhan energi nasional. Penelitian Pickson *et al* (2024) menunjukkan bahwa urbanisasi memiliki pengaruh positif pada emisi CO² di seluruh kelompok pendapatan, sedangkan tingkat pengangguran cenderung menurunkan emisi CO² dalam sebagian besar kelompok kecuali di negara berpenghasilan rendah, diperkuat hasil penelitian Gonzalez *et al* (2021) menemukan bahwa penduduk menjadi salah satu komponen penting dalam peningkatan emisi CO² karena bertambahnya aktivitas ekonomi dan konsumsi energi masyarakat.

Pada penelitian ini variabel Penduduk tidak diukur menggunakan jumlah penduduk total, melainkan menggunakan persentase penduduk usia produktif (15–64 tahun) terhadap total penduduk, pendekatan ini dipilih karena kelompok usia produktif merepresentasikan bagian populasi yang memiliki kapasitas terbesar dalam melakukan aktivitas ekonomi, variabel ini tidak hanya

mencerminkan aspek demografis tetapi juga menggambarkan potensi tenaga kerja dan tingkat partisipasi ekonomi dalam suatu negara,

Meskipun berbagai penelitian telah menemukan bahwa jumlah penduduk berpengaruh terhadap emisi CO², hasil empiris menunjukkan bahwa arah dan besarnya pengaruh tersebut dapat berbeda antar negara, Jepang menghadapi penurunan populasi dan penuaan penduduk yang berpotensi mengurangi tekanan lingkungan, sedangkan Indonesia mengalami bonus demografi yang berpotensi meningkatkan aktivitas ekonomi dan emisi CO², perbedaan karakteristik demografi tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara struktur penduduk dan emisi CO² masih memerlukan pengujian lebih lanjut, khususnya dengan menggunakan indikator penduduk usia produktif yang merepresentasikan kapasitas ekonomi populasi dibandingkan hanya jumlah penduduk total.

Indikator kedua dalam teori IPAT yang menjelaskan penyebab tekanan lingkungan berupa Emisi CO² adalah tingkat kemakmuran (*Affluence*). Dalam teori IPAT yang dikemukakan oleh Ehrlich dan Holdren (1971) tingkat kemakmuran umumnya direpresentasikan oleh pendapatan atau GDP per kapita. Semakin tinggi tingkat kemakmuran suatu masyarakat, semakin besar pula aktivitas produksi, konsumsi, mobilitas, dan penggunaan energi yang diperlukan untuk mendukung kegiatan ekonomi, sehingga peningkatan kemakmuran berpotensi meningkatkan tekanan terhadap lingkungan apabila pertumbuhan ekonomi tersebut masih ditopang oleh penggunaan sumber daya dan energi yang intensif karbon.

penelitian Robalino *et al*, (2024) menyatakan pertumbuhan ekonomi pada tahap yang lebih maju justru dapat berjalan bersamaan dengan penurunan tekanan lingkungan temuan tersebut sejalan dengan hipotesis EKC yang menyatakan bahwa negara dengan tingkat pendapatan yang relatif tinggi cenderung memiliki kemampuan lebih besar dalam meningkatkan efisiensi ekonomi, mengembangkan teknologi yang lebih bersih, serta menerapkan kebijakan lingkungan yang lebih efektif (Grossman & Krueger, 1991).

Hubungan tersebut kemudian dijelaskan secara lebih rinci melalui Kaya Identity yang dikembangkan oleh Kaya (1990) menunjukkan bahwa peningkatan GDP per kapita dapat meningkatkan emisi CO² melalui kenaikan permintaan barang dan jasa, ekspansi kegiatan industri, serta peningkatan konsumsi energi. Dengan kata lain semakin tinggi pendapatan masyarakat maka semakin besar kebutuhan energi yang digunakan untuk menopang aktivitas ekonomi, oleh karena itu pertumbuhan GDP per kapita berpotensi meningkatkan emisi CO² apabila tidak diimbangi dengan peningkatan efisiensi energi dan penggunaan teknologi rendah karbon.

Meskipun demikian, hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan Emisi CO² tidak selalu bersifat linier, hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menjelaskan bahwa hubungan antara pendapatan dan degradasi lingkungan membentuk pola kurva U terbalik pada tahap awal pembangunan ekonomi, peningkatan GDP per kapita cenderung meningkatkan emisi CO² karena aktivitas industri, urbanisasi, dan konsumsi energi yang semakin tinggi, namun setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu (*turning point*) peningkatan kesejahteraan masyarakat akan mendorong penggunaan teknologi yang lebih efisien dan peningkatan kesadaran lingkungan, penerapan kebijakan yang lebih ketat terhadap pencemaran dengan tujuan merancang jalur pembangunan yang berkelanjutan, tangguh, dan adil, sehingga tujuan ekonomi dan lingkungan dapat dicapai secara bersamaan (Destiartono, 2025)

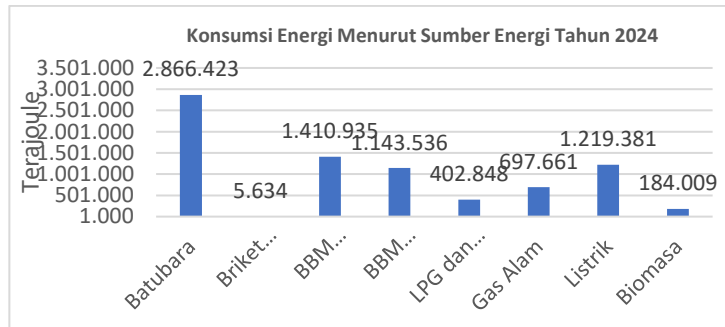


Sumber : *World Bank* (2025)

Gambar 5. Perbandingan GDP per kapita dan Emisi CO² per kapita negara Jepang dan Indonesia

Berdasarkan Gambar 5, terdapat perbedaan pola hubungan antara GDP per kapita dan emisi CO² per kapita di Jepang dan Indonesia, Jepang sering dijadikan contoh keberhasilan *decoupling* karena mampu meningkatkan GDP per kapita dari 32.942US\$ pada tahun 2010 menjadi 37.153US\$ pada tahun 2024 sementara emisi CO² per kapita menurun dari 9,50 ton menjadi 7,84 ton, meskipun emisi CO² menunjukkan tren penurunan namun tingkat Emisi CO² Jepang masih relatif tinggi, kondisi tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan *decoupling* belum sepenuhnya menghilangkan tekanan lingkungan, peningkatan GDP per kapita tidak selalu menghasilkan dampak lingkungan yang sama pada setiap negara (Satici & Cakir, 2021) sehingga penelitian ini penting untuk mengidentifikasi faktor-faktor Emisi CO² Jepang masih tinggi dengan menggunakan pendekatan Teori IPAT dan di jelaskan lebih rinci dengan Pendekatan Kaya Identity.

Sebaliknya, negara Indonesia menunjukkan pola yang berbeda GDP per kapita meningkat dari 2.671US\$ pada tahun 2010 menjadi 4.368 US\$ pada tahun 2024, namun peningkatan tersebut diikuti oleh kenaikan emisi CO² per kapita dari 1,80 ton menjadi 2,87 ton, kondisi ini menunjukan bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia masih berjalan searah dengan peningkatan tekanan lingkungan, menyebabkan kebutuhan produksi dan penggunaan sumber daya terus meningkat. Selain itu Intensitas karbon Indonesia tahun 2019 sebesar 0.61 Kg CO²e/cap sempat mengalami penurunan saat COVID-19 tahun 2020 sebesar 0.58 Kg CO²e/cap kemudian mengalami kenaikan lagi sampai tahun 2024 sebesar 0.66 Kg CO²e/cap menunjukan aktivitas perekonomian masih menghasilkan emisi CO² yang relatif tinggi, penelitian oleh Zhang (2021) yang menemukan bahwa GDP per kapita memiliki pengaruh signifikan terhadap emisi CO² di negara-negara Asia di perkuat hasil penelitian Adebayo *et al* (2021) peningkatan PDB per kapita berkontribusi terhadap kenaikan emisi CO² dalam jangka panjang melalui peningkatan produksi, konsumsi, dan kebutuhan energi, konsumsi energi paling tinggi Indonesia menurut sumber energi adalah batu bara seperti yang di tampilkan pada Gambar 6.



Sumber : Kementrian ESDM (2024)

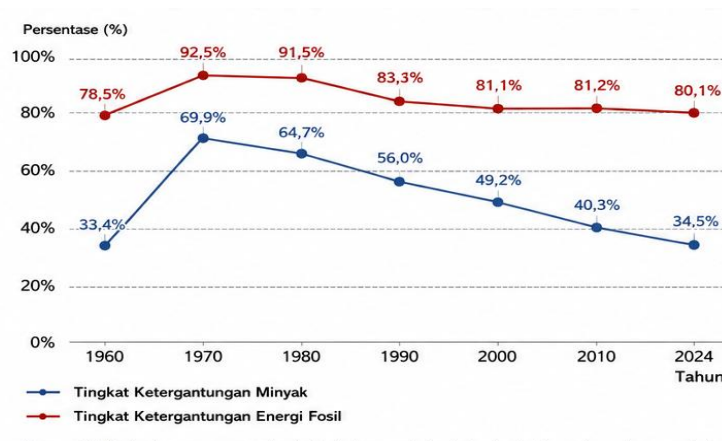
Gambar 6. Konsumsi Energi Indonesia Menurut Sumber Energi

Berdasarkan fenomena tersebut masih terdapat perdebatan empiris mengenai pengaruh GDP per kapita terhadap Emisi CO², sejumlah penelitian menemukan bahwa pertumbuhan ekonomi berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO² terutama pada negara berkembang yang masih berada pada tahap industrialisasi (Khan *et al*, 2020) namun penelitian lain menunjukkan bahwa pada negara dengan tingkat pendapatan yang lebih tinggi, pertumbuhan ekonomi justru dapat berjalan bersamaan dengan penurunan CO² akibat peningkatan efisiensi teknologi dan transformasi struktur ekonomi (Adebayo *et al*, 2021). Perbedaan temuan tersebut menunjukkan bahwa hubungan antara GDP per kapita dan Emisi CO² masih menjadi isu yang relevan untuk diteliti, khususnya dalam membandingkan negara berkembang dan negara maju. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa hubungan antara GDP per kapita dan CO² tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya aktivitas ekonomi, tetapi juga oleh tingkat efisiensi ekonomi dalam menghasilkan output dengan emisi CO² yang lebih rendah (Rahman *et al*, 2022).

Selanjutnya Indikator ketiga dalam teori IPAT yang menjelaskan penyebab tekanan lingkungan berupa Emisi CO² adalah Teknologi, dalam menghadapi perubahan iklim dan peningkatan Emisi CO² telah mendorong berbagai negara untuk melakukan transformasi sistem energi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan (Energy Institute, 2024) energi terbarukan menjadi salah satu instrumen utama dalam strategi pengurangan emisi CO² global karena mampu menggantikan penggunaan energi fosil yang selama ini menjadi

sumber utama emisi gas rumah kaca (*International Energy Agency, 2025*). Dalam teori IPAT energi terbarukan merupakan representasi dari komponen Teknologi (T) yang menjelaskan bahwa kemajuan teknologi dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas ekonomi dan pertumbuhan penduduk. Semakin efisien dan ramah lingkungan teknologi yang digunakan dalam proses produksi dan konsumsi energi, maka semakin kecil pula tekanan lingkungan yang ditimbulkan (Ehrlich & Holdren, 1971).

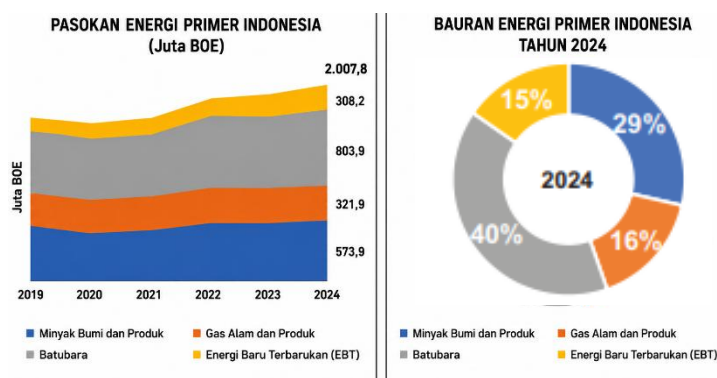
Secara global, tren penggunaan energi terbarukan terus mengalami peningkatan sebagai respons terhadap meningkatnya kesadaran akan berdampak pada perubahan iklim, namun demikian perkembangan energi terbarukan menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan antara negara Jepang sebagai salah satu negara maju telah mempercepat pengembangan energi terbarukan sejak peristiwa Fukushima tahun 2011 untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi nuklir dan bahan bakar fosil (METI, 2024), bahan bakar fosil adalah sumber daya tak terbarukan (*non-renewable*) yang kian menipis seiring dengan tingginya tingkat konsumsi, inovasi pada Energi Baru dan Terbarukan (EBT) menjadi kebutuhan mutlak untuk menjamin ketersediaan energi di masa depan (Judijanto *et al*, 2024).



Sumber : *International Energy Agency* dan *Ministry of Economy Trade and Industry* (METI, 2025)

Gambar 7. Tingkat Ketergantungan Minyak Bumi dan Energi Fosil Negara Jepang

Berdasarkan Gambar 7. menunjukkan bahwa ketergantungan Jepang terhadap energi fosil masih berada pada tingkat yang sangat tinggi, meskipun tingkat ketergantungan minyak mengalami penurunan dari 56,0% pada tahun 1990 menjadi 34,5% pada tahun 2024 ketergantungan terhadap energi fosil secara keseluruhan masih mencapai 80,1% pada tahun 2024, angka tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar kebutuhan energi masih dipenuhi oleh sumber energi berbasis fosil. Menurut teori *Kaya Identity* $\frac{F}{E}$ tingginya proporsi energi fosil tersebut mengindikasikan bahwa aktivitas industri, transportasi, rumah tangga, dan sektor ekonomi lainnya masih sangat bergantung pada sumber energi yang memiliki intensitas karbon tinggi sehingga berpotensi menjadi penyumbang utama emisi CO² (Kaya, 1990).



Sumber : Kementrian ESDM (2024)

Gambar 8. Pasokan dan Bauran Energi Primer Indonesia

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat pada Gambar 8. kebutuhan energi nasional juga menunjukkan tren peningkatan yang signifikan, pada tahun 2024 pasokan energi primer Indonesia mencapai 2.007 juta (BOE) sumber energi fosil masih mendominasi terutama minyak bumi dan produknya sebesar 573,9 juta BOE, gas alam sebesar 321,9 juta BOE, dan batubara sebesar 803,9 juta BOE, kontribusi energi baru terbarukan (EBT) mencapai 308,2 juta BOE meskipun jumlahnya masih relatif lebih kecil dibandingkan energi fosil. Struktur energi Indonesia masih didominasi oleh energi fosil, pada bauran energi batubara menjadi sumber energi terbesar dengan kontribusi sebesar 40 % minyak bumi sebesar 29% dan gas alam sebesar 16%, lebih dari

85% pasokan energi primer masih berasal dari sumber energi berbasis fosil yang memiliki intensitas karbon tinggi, kondisi ini menunjukkan bahwa aktivitas ekonomi dan kebutuhan energi Indonesia masih sangat bergantung pada sumber energi yang berpotensi menghasilkan emisi CO² dalam jumlah besar.

Jepang dan Indonesia menunjukkan karakteristik yang berbeda dalam struktur energinya, namun keduanya masih menghadapi tantangan yang sama yaitu tingginya ketergantungan terhadap energi fosil, kondisi tersebut menunjukkan bahwa upaya transisi energi menjadi isu penting baik bagi negara maju maupun negara berkembang, dalam hipotesis *Environmental Kuznets Curve* tahap awal pembangunan ekonomi peningkatan aktivitas ekonomi cenderung meningkatkan degradasi lingkungan dan emisi CO², namun setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu negara-negara mulai berinvestasi pada teknologi yang lebih bersih untuk meningkatkan efisiensi energi dan memperkuat regulasi lingkungan sehingga emisi CO² dapat ditekan dalam rangka menurunkan emisi CO² dan mencapai pembangunan berkelanjutan (Stern, 2004).

Dalam menghadapi permasalahan tersebut menurut *Environmental Performance Reviews Japan* (OECD, 2025) pemanfaatan energi yang berasal dari sumber terbarukan seperti tenaga surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi diharapkan mampu menggantikan sebagian konsumsi energi fosil sehingga dapat menurunkan emisi CO² yang dihasilkan dari aktivitas ekonomi, energi terbarukan dipandang sebagai salah satu solusi utama untuk mengurangi emisi CO² karena memiliki intensitas karbon yang lebih rendah dibandingkan energi fosil, berkontribusi terhadap pembangunan rendah karbon dan peningkatan keberlanjutan lingkungan (Wang *et al*, 2022).

Meskipun secara teoritis energi terbarukan dipandang sebagai solusi untuk menurunkan emisi CO², efektivitasnya dalam praktik mengalami berbagai hambatan ekonomi, finansial, dan kelembagaan, perbedaan kondisi tersebut menimbulkan pertanyaan mengenai sejauh mana energi terbarukan benar-benar mampu berkontribusi dalam pengurangan emisi CO², penelitian mengenai

pengaruh energi terbarukan terhadap emisi CO² menjadi penting untuk dilakukan guna memperoleh bukti empiris yang dapat mendukung perumusan kebijakan transisi energi yang lebih efektif (Ali *et al*, 2021).

Dalam melakukan penelitian ini penulis menyusun argumen pembahasan menggunakan pendekatan dekomposisi *Logarithmic Mean Divisia Index* (LMDI) metode analisis dekomposisi yang digunakan untuk menguraikan perubahan total suatu variabel ke dalam faktor-faktor pendorong spesifiknya, yang banyak digunakan oleh *International Energy Agency* (IEA). Penelitian ini menggunakan pendekatan *Benchmarking* antarnegara dengan membandingkan Indonesia sebagai negara berkembang dan Jepang sebagai negara maju dalam menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi emisi CO². *Benchmarking* merupakan pendekatan yang tidak hanya digunakan untuk membandingkan capaian kinerja antarnegara, tetapi juga sebagai proses pembelajaran untuk mengidentifikasi praktik, strategi, dan kebijakan yang terbukti efektif sehingga dapat dijadikan referensi dalam perumusan kebijakan pada negara lain yang memiliki karakteristik berbeda.

Dalam konteks perubahan iklim, *Benchmarking* menjadi penting karena setiap negara menghadapi tantangan pembangunan ekonomi dan lingkungan yang berbeda sesuai dengan tingkat kemajuan ekonominya. Menurut OECD (2025) negara-negara maju yang berhasil menurunkan emisi CO² umumnya didukung oleh efisiensi energi yang tinggi, inovasi teknologi, dan kebijakan lingkungan yang kuat, sedangkan negara berkembang masih menghadapi tantangan berupa pertumbuhan ekonomi, peningkatan kebutuhan energi, dan keterbatasan teknologi dalam mengurangi emisi CO². Oleh karena itu, penggunaan pendekatan benchmarking memungkinkan penelitian ini tidak hanya mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi emisi CO², tetapi juga mengevaluasi bagaimana perbedaan tingkat pembangunan ekonomi memengaruhi hubungan antara penduduk, kemakmuran, teknologi, dan lingkungan.

Pemilihan Jepang dan Indonesia didasarkan pada perbedaan karakteristik pembangunan yang mewakili dua kelompok negara yang berbeda. Jepang

merupakan negara maju yang telah mencapai tingkat pendapatan tinggi, memiliki struktur ekonomi berbasis teknologi dan inovasi, serta berhasil menurunkan emisi CO² meskipun aktivitas ekonominya tetap tumbuh. Penelitian Zhang *et al.* (2023) menunjukkan bahwa hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO² pada negara berkembang cenderung lebih kuat dibandingkan negara maju karena aktivitas ekonomi masih bergantung pada energi fosil dan sektor industri yang intensif karbon. Sementara itu, penelitian Wang dan Dong (2024) menemukan bahwa negara maju memiliki kemampuan lebih besar dalam melakukan *decoupling*, yaitu memisahkan pertumbuhan ekonomi dari peningkatan emisi CO² melalui kemajuan teknologi, efisiensi energi, dan transformasi struktur ekonomi. Perbedaan karakteristik tersebut menjadikan Jepang dan Indonesia relevan untuk dianalisis dalam satu kerangka penelitian guna memahami bagaimana faktor-faktor dalam teori IPAT dan Kaya Identity bekerja pada tingkat pembangunan yang berbeda.

Melalui pendekatan *Benchmarking*, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan pembelajaran kebijakan bagi Indonesia dalam upaya menekan emisi CO² tanpa menghambat pertumbuhan ekonomi. Pengalaman Jepang menunjukkan bahwa peningkatan kesejahteraan masyarakat tidak selalu harus diikuti oleh peningkatan tekanan lingkungan apabila didukung oleh kebijakan energi yang tepat, investasi teknologi rendah karbon, dan efisiensi penggunaan energi. Menurut OECD (2025), Jepang berhasil menurunkan intensitas karbon ekonominya melalui peningkatan efisiensi energi dan pengembangan energi terbarukan secara bertahap. Sementara itu, *International Energy Agency* (2024) menekankan bahwa negara berkembang memerlukan strategi transisi energi yang mempertimbangkan kondisi demografi, struktur ekonomi, dan kebutuhan pembangunan nasional agar target pengurangan emisi CO² dapat dicapai secara berkelanjutan.

Penelitian ini tidak hanya bertujuan menguji pengaruh penduduk usia produktif, GDP per kapita, dan energi terbarukan terhadap emisi CO², tetapi juga mengidentifikasi pelajaran yang dapat diadopsi Indonesia dari pengalaman

Jepang dalam mencapai pembangunan rendah karbon, dengan demikian, penelitian ini memiliki kontribusi teoritis dalam pengembangan teori IPAT, Kaya Identity, dan *Environmental Kuznets Curve* (EKC), sekaligus memberikan kontribusi praktis bagi perumusan kebijakan pembangunan berkelanjutan di Indonesia

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian Latar Belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Apakah Penduduk Usia Produktif mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia ?
2. Apakah GDP per kapita mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia ?
3. Apakah Energi Terbarukan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia ?
4. Bagaimana persamaan dan perbedaan pengaruh Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita, dan Energi Terbarukan terhadap Emisi CO² antara Jepang sebagai negara maju dan Indonesia sebagai negara berkembang?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini antara lain:

1. Menganalisis pengaruh Penduduk Usia Produktif terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia.
2. Menganalisis pengaruh GDP per kapita terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia.
3. Menganalisis pengaruh Energi Terbarukan terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia.
5. Menganalisis persamaan dan perbedaan pengaruh Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita, dan Energi Terbarukan terhadap Emisi CO²

antara Jepang sebagai negara maju dan Indonesia sebagai negara berkembang?

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan dan rumusan masalah di atas, maka manfaat penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu ekonomi lingkungan dan energi, khususnya dalam memahami hubungan antara Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita, dan Energi Terbarukan dan tingkat Emisi CO² di dua negara dengan karakteristik ekonomi berbeda.
2. Bagi pembuat kebijakan, penelitian ini dapat menjadi dasar untuk merumuskan strategi pembangunan ekonomi yang berkelanjutan dengan mempertimbangkan dampak lingkungan. Temuan mengenai perbedaan pola hubungan di Indonesia dan Jepang dapat membantu pemerintah dalam menentukan arah kebijakan energi, terutama dalam mengurangi Emisi CO² tanpa menghambat pertumbuhan ekonomi.
3. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran publik dan pemangku kepentingan terhadap pentingnya transisi energi bersih serta efisiensi penggunaan energi. Pemahaman Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita, dan Energi Terbarukan terhadap emisi CO², masyarakat dan sektor industri dapat berperan aktif dalam mendukung kebijakan pengurangan emisi CO² menuju pembangunan rendah karbon.
4. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi bagi Indonesia melalui pendekatan *Benchmarking* terhadap Jepang sebagai negara maju dalam mengembangkan strategi pembangunan rendah karbon, khususnya dalam pengelolaan penduduk usia produktif, peningkatan kesejahteraan ekonomi, dan pemanfaatan energi terbarukan untuk menekan emisi CO²

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Teori I=PAT

Teori I = PAT (*Impact = Population × Affluence × Technology*) merupakan suatu identitas konseptual yang digunakan untuk menjelaskan keterkaitan antara aktivitas manusia dan dampaknya terhadap lingkungan, terutama dalam konteks tekanan terhadap sumber daya alam dan peningkatan emisi CO², teori ini pertama kali diperkenalkan oleh Ehrlich dan Holdren pada awal 1970-an dan hingga kini menjadi salah satu kerangka dasar dalam kajian lingkungan dan perubahan iklim. Dalam kerangka ini, dampak lingkungan (I) seperti emisi CO², pencemaran, dan degradasi ekosistem dipengaruhi oleh tiga komponen utama, yaitu jumlah populasi (P), afluensi atau tingkat konsumsi per kapita (A), dan teknologi (T) yang digunakan dalam proses produksi dan konsumsi. Secara matematis, formulasi $I = P \times A \times T$ menunjukkan bahwa peningkatan salah satu komponen, apabila tidak diimbangi dengan penurunan komponen lainnya, akan memperbesar dampak lingkungan secara keseluruhan (Krishnendu & Patra, 2025).

Perkembangan penelitian empiris selanjutnya mendorong perluasan teori ini ke dalam model STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology*) yang memungkinkan pengujian hubungan kuantitatif antara faktor-faktor P, A, dan T terhadap berbagai indikator dampak lingkungan, termasuk emisi CO². Model STIRPAT memformulasikan hubungan tersebut dalam bentuk regresi log-linier, sehingga elastisitas masing-masing variabel dapat diestimasi secara statistik, pendekatan ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai besarnya kontribusi relatif populasi, tingkat kemakmuran ekonomi dan teknologi terhadap perubahan emisi CO² berdasarkan data empiris, berbagai studi menunjukkan bahwa pertumbuhan populasi dan peningkatan afluensi secara konsisten berhubungan

positif dengan emisi CO², sementara peran teknologi bersifat lebih dinamis dan sangat bergantung pada tingkat efisiensi energi serta adopsi teknologi rendah CO² (Alcott, 2010).

Secara konseptual, teori I = PAT menawarkan kerangka analisis yang komprehensif untuk memahami interaksi kompleks antara faktor demografis, ekonomi, teknologi, dan lingkungan, implikasi teoritis dari model ini menegaskan bahwa upaya pengendalian emisi CO² tidak dapat dilakukan dengan berfokus pada satu faktor saja melainkan memerlukan pendekatan kebijakan yang terintegrasi, pendekatan tersebut mencakup pengelolaan dinamika populasi, pengendalian pola konsumsi yang berlebihan, serta pengembangan dan penerapan teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, teori I = PAT tetap relevan dalam perumusan kebijakan iklim dan pembangunan berkelanjutan karena mampu mengidentifikasi sumber utama tekanan lingkungan sekaligus menjadi dasar dalam merancang strategi mitigasi emisi CO² yang lebih efektif dan berjangka panjang.

2.1.2 Teori Identitas Kaya (Kaya Identity)

Teori Kaya Identity merupakan suatu formulasi matematika makro yang dikembangkan oleh ekonom energi asal Jepang Yoichi Kaya pada tahun 1989 dalam sebuah seminar untuk *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Formulasi ini ditujukan untuk menguraikan faktor-faktor utama yang mendorong emisi gas rumah kaca, khususnya Emisi CO² dari aktivitas manusia dan sektor antropogenik sebagai bentuk dekomposisi struktural dari Teori IPAT ($Impact = Population \times Affluence \times Technology$) yang dicetuskan oleh Ehrlich dan Holdren (1971), Kaya Identity membagi determinan emisi CO² lingkungan ke dalam empat indikator utama secara lebih terukur, yaitu: ukuran populasi, kesejahteraan ekonomi per kapita, intensitas energi dari ekonomi, serta intensitas karbon dari energi yang digunakan (Kaya & Yokobori, 1997).

Secara matematis, persamaan umum Kaya Identity dinyatakan sebagai berikut:

$$F = P \times \left(\frac{G}{P}\right) \times \left(\frac{E}{G}\right) \times \left(\frac{F}{E}\right)$$

Di mana:

F : Total Emisi CO² global atau nasional dari sektor energi (Impact).

P : Jumlah populasi penduduk

$\frac{G}{P}$: Produk Domestik Bruto (PDB/GDP) per kapita (Affluence atau tingkat kesejahteraan ekonomi masyarakat).

$\frac{E}{G}$: Intensitas energi (*Energy Intensity* atau efisiensi pemanfaatan konsumsi akhir energi terhadap output ekonomi).

$\frac{F}{E}$: Intensitas karbon (Carbon Intensity atau tingkat ketergantungan energi terhadap bahan bakar fosil).

Berdasarkan formulasi tersebut, dinamika perubahan total emisi CO² (F) ditentukan oleh interaksi seluruh komponen struktural di atas, peningkatan kuantitas atau laju pertumbuhan pada salah satu variable jika tidak dibarengi dengan penurunan drastis pada variabel efisiensi lainnya secara otomatis akan melipatgandakan tekanan emisi CO² pada lingkungan (Raupach *et al*, 2007).

2.1.3 Environmental Kuznets Curve (EKC)

Penelitian yang dilakukan oleh Delgado (2025), EKC menggambarkan hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan kualitas lingkungan yang berbentuk *inverted U-shape*, pada tahap awal pembangunan, pertumbuhan ekonomi biasanya disertai peningkatan penggunaan energi fosil, industrialisasi, dan eksploitasi sumber daya alam, ini menyebabkan emisi CO² dan polusi meningkat seiring dengan naiknya GDP per kapita, hipotesis EKC menyatakan bahwa peningkatan polusi tidak berlangsung selamanya. Setelah pendapatan mencapai titik tertentu (*turning point*), tren dapat berbalik pertumbuhan ekonomi justru diiringi dengan penurunan polusi. Penjelasan teori ini didasarkan pada tiga efek utama Pertama, *scale effect* di mana pertumbuhan

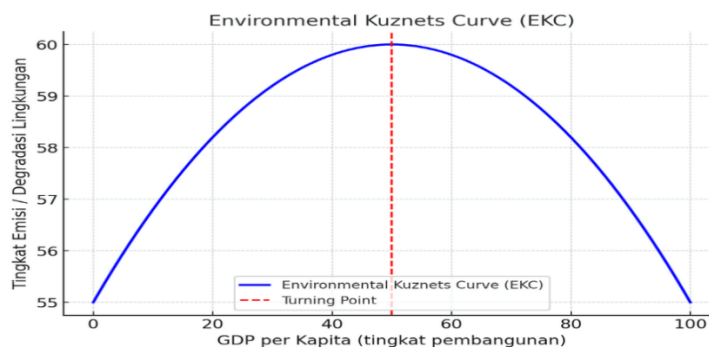
ekonomi memperbesar skala produksi dan konsumsi sehingga pada tahap awal pembangunan polusi cenderung meningkat, Kedua *composition effect* ketika struktur ekonomi mulai berubah dari dominasi sektor industri berat yang padat polusi menuju sektor jasa dan teknologi yang lebih ramah lingkungan, pergeseran komposisi ini mengurangi tekanan terhadap lingkungan. Ketiga *technique effect* yaitu ketika pendapatan yang lebih tinggi memungkinkan masyarakat dan pemerintah berinvestasi dalam teknologi bersih, inovasi energi terbarukan serta regulasi lingkungan yang lebih ketat sehingga menekan tingkat emisi CO² (Stern, 2017).

Aplikasi hipotesis EKC dalam konteks emisi CO² masih menjadi perdebatan, secara umum EKC lebih banyak terbukti pada polutan lokal seperti sulfur dioksida (SO₂) atau partikulat yang cenderung menurun setelah suatu negara mencapai tingkat pendapatan tertentu, untuk polutan global seperti karbon CO², bukti empirisnya masih lemah dan tidak konsisten, beberapa studi menunjukkan bahwa meskipun negara maju berhasil menekan emisi CO² domestiknya, secara global tren emisi CO² tetap meningkat, ini menunjukkan bahwa hubungan *inverted U-shape* EKC tidak otomatis berlaku untuk semua jenis polusi terutama yang berdampak lintas batas (Afesorgbor & Demena, 2022).

Salah satu penjelasan utama adalah adanya efek eksternalitas perdagangan, pengukuran emisi CO² biasanya berbasis produksi domestik sehingga penurunan emisi CO² di negara maju dapat terlihat signifikan, jika dilihat dari sisi konsumsi ternyata sebagian besar penurunan tersebut hanya merupakan hasil pengalihan industri intensif karbon ke negara berkembang, negara maju mengimpor barang dari negara lain sementara jejak karbon produksinya terjadi di luar negeri. Hal ini membuat penurunan emisi CO² di negara maju bukan sepenuhnya akibat perubahan teknologi atau regulasi domestik, melainkan karena globalisasi dan keterbukaan perdagangan yang memindahkan polusi lintas negara dalam konteks negara maju seperti Jepang, ketiga efek ini sangat relevan, pada masa industrialisasi Jepang mengalami lonjakan polusi udara dan emisi CO², tetapi seiring berjalannya waktu reformasi kebijakan energi,

peningkatan kesadaran lingkungan dan investasi dalam teknologi ramah lingkungan membantu menurunkan tingkat polusi.

Oleh karena itu EKC menjadi kerangka yang penting untuk menganalisis apakah pertumbuhan ekonomi dan keterbukaan perdagangan Jepang saat ini telah berada pada fase setelah *turning point*, di mana pertumbuhan tidak lagi mengorbankan lingkungan melainkan berjalan seiring dengan upaya keberlanjutan.



Sumber : Grossman dan Krueger (1991)

Gambar 9. Kurva Environmental Kuznets Curve (EKC)

Gambar di atas menunjukkan *Environmental Kuznets Curve* (EKC) yaitu hubungan berbentuk *inverted U-shape* antara pertumbuhan ekonomi (GDP per kapita) dan tingkat degradasi lingkungan atau emisi CO², pada tahap awal pembangunan peningkatan GDP per kapita mendorong kenaikan polusi karena aktivitas produksi dan konsumsi yang semakin besar, namun ketika ekonomi mencapai titik tertentu yang disebut *turning point* tren ini mulai berbalik pertumbuhan ekonomi selanjutnya justru diiringi dengan penurunan polusi. Fenomena ini terjadi karena adanya perubahan struktur ekonomi (dari industri berat ke sektor jasa/teknologi) adopsi inovasi ramah lingkungan serta penerapan regulasi yang lebih ketat terhadap pencemaran, EKC menggambarkan kemungkinan tercapainya keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan dalam jangka panjang (Stern, 2017).

Keterkaitan antara penelitian ini dengan konsep EKC terletak pada asumsi bahwa hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO² mengikuti pola kurva terbalik berbentuk “U” (*inverted U-shape*) pada tahap awal pembangunan ekonomi, peningkatan pendapatan per kapita cenderung diikuti oleh kenaikan emisi CO² akibat tingginya aktivitas industri dan konsumsi energi fosil, setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu negara akan mulai beralih ke teknologi yang lebih efisien dan ramah lingkungan sehingga emisi CO² menurun seiring pertumbuhan ekonomi yang berlanjut, dalam konteks penelitian ini perbandingan antara Indonesia dan Jepang menjadi relevan karena keduanya berada pada tahap pembangunan ekonomi yang berbeda Indonesia masih berada pada fase pertumbuhan industri dengan ketergantungan tinggi terhadap energi fosil, sementara Jepang telah berada pada fase ekonomi maju dengan tingkat efisiensi energi dan penggunaan energi terbarukan yang lebih tinggi, penelitian ini dapat menguji validitas hipotesis EKC dalam konteks perbedaan struktur ekonomi dan kebijakan energi kedua negara.

2.1.3 Emisi CO²

Emisi CO² merujuk pada pelepasan gas karbon dioksida (CO₂) ke atmosfer, yang sebagian besar berasal dari aktivitas manusia seperti pembakaran bahan bakar fosil (minyak, gas, dan batu bara), deforestasi, dan berbagai proses industri. Gas ini merupakan salah satu penyebab utama pemanasan global dan perubahan iklim karena kemampuannya menjebak panas di atmosfer bumi, sehingga meningkatkan suhu rata-rata global. Emisi CO² juga termasuk gas rumah kaca lain seperti metana (CH₄) dan nitrous oxide (N₂O), tetapi CO₂ adalah yang paling dominan dan banyak dikaitkan dengan aktivitas industri dan transportasi (Xing dan Sun, 2024). Sumber emisi CO² yang utama berasal dari sektor energi, khususnya pembangkit listrik berbasis batu bara dan kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar fosil. Selain itu, sektor industri seperti manufaktur, pertambangan, dan produksi semen juga menyumbang emisi CO² signifikan. Aktivitas pertanian dan perubahan penggunaan lahan, termasuk penggundulan hutan, juga berkontribusi pada peningkatan emisi CO².

karena hilangnya fungsi penyerap karbon alami dan pelepasan karbon dari bahan organik yang terdegradasi (Damak dan GÜngör, 2023).

Pengelolaan dan pengurangan emisi CO² menjadi fokus utama kebijakan lingkungan global untuk mengatasi perubahan iklim. Berbagai upaya dilakukan melalui inovasi teknologi, seperti pengembangan energi terbarukan (matahari, angin, hidro), penerapan efisiensi energi, serta mekanisme pasar karbon seperti perdagangan karbon (*carbon trading*) dan pajak karbon (*carbon tax*). Kesadaran dan tindakan kolektif dari pemerintah, industri, dan masyarakat sangat penting agar emisi CO² dapat dikendalikan dan dampak negatifnya terhadap bumi dapat diminimalisasi (Tabata et al, 2017).

Emisi CO² sangat erat kaitannya dengan aktivitas ekonomi global karena sebagian besar emisi CO² berasal dari pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan untuk produksi energi, transportasi, dan kegiatan industri. Pertumbuhan ekonomi yang cepat, terutama di negara-negara berkembang dan berkembang pesat, seringkali diikuti oleh peningkatan konsumsi energi fosil sehingga menimbulkan peningkatan emisi CO² (Zhang *et al* 2021). Namun, adanya tekanan internasional dan kesadaran global terkait perubahan iklim mendorong negara-negara untuk mengadopsi kebijakan ramah lingkungan dan teknologi bersih guna menekan laju emisi CO² tanpa mengorbankan pertumbuhan ekonomi. Dengan demikian, emisi CO² menjadi indikator penting dalam mengevaluasi keberlanjutan ekonomi sekaligus tantangan besar yang harus diatasi oleh perekonomian dunia (Sims et al., 2014).

Isu emisi CO² juga memengaruhi perekonomian dunia melalui risiko perubahan iklim yang berdampak pada sektor-sektor produktif seperti pertanian, perikanan, dan manufaktur. Kerusakan lingkungan dan bencana alam yang semakin sering terjadi akibat perubahan iklim menimbulkan kerugian ekonomi besar serta mengganggu stabilitas pasar global (Stern, 2007). Oleh karena itu, berbagai mekanisme seperti perdagangan karbon (*carbon trading*), pajak karbon, dan investasi dalam energi terbarukan menjadi strategi utama yang dijalankan oleh banyak negara untuk mengintegrasikan aspek

lingkungan ke dalam pembangunan ekonomi. Hal ini menunjukkan bahwa penanganan emisi CO² tidak hanya masalah lingkungan, tetapi juga merupakan faktor kunci dalam kebijakan ekonomi global yang berkelanjutan (IPCC, 2022).

2.1.4 *Gross Domestic Product (GDP)*

Gross Domestic Product atau Produk Domestik Bruto merupakan indikator ekonomi makro yang digunakan untuk mengukur total nilai pasar dari seluruh barang dan jasa akhir yang diproduksi di dalam suatu negara dalam periode waktu tertentu, umumnya satu tahun. Indikator ini mencakup seluruh aktivitas ekonomi yang dilakukan oleh rumah tangga, pemerintah, dan sektor swasta, sehingga dapat mencerminkan kondisi kesehatan perekonomian nasional, baik ketika mengalami pertumbuhan maupun kontraksi. GDP menjadi ukuran utama kinerja ekonomi yang banyak dimanfaatkan oleh pembuat kebijakan, bank sentral, investor, dan peneliti untuk menilai tingkat produktivitas, merumuskan kebijakan fiskal dan moneter, serta mengevaluasi perkembangan ekonomi dari waktu ke waktu. Perhitungan GDP dapat dilakukan melalui pendekatan produksi, pengeluaran, atau pendapatan, yang pada dasarnya bertujuan untuk menggambarkan besarnya output ekonomi yang dihasilkan suatu negara dalam periode tertentu (Wang & Zhang, 2021).

GDP per kapita merupakan ukuran turunan yang diperoleh dengan membagi total GDP dengan jumlah penduduk, sehingga menunjukkan rata rata output ekonomi yang dihasilkan oleh setiap individu dalam suatu negara. Indikator ini memungkinkan perbandingan tingkat kesejahteraan dan standar hidup antarnegara atau antarwilayah dengan jumlah penduduk yang berbeda, karena perbedaan skala populasi telah diperhitungkan. Meskipun GDP per kapita tidak sepenuhnya mencerminkan kesejahteraan masyarakat karena tidak mempertimbangkan distribusi pendapatan, perbedaan biaya hidup, maupun kualitas layanan sosial, indikator ini tetap banyak digunakan dalam kajian ekonomi untuk menilai kemampuan ekonomi rata rata penduduk suatu negara (Rafindadi & Ozturk, 2016).

Dalam literatur akademik internasional, GDP dan GDP per kapita tidak hanya dipandang sebagai indikator pertumbuhan ekonomi, tetapi juga sering digunakan sebagai variabel penjelas dalam analisis hubungan antara aktivitas ekonomi dan isu sosial maupun lingkungan, seperti emisi CO², kualitas lingkungan, dan pembangunan berkelanjutan. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa peningkatan GDP per kapita berpotensi mendorong konsumsi energi yang lebih tinggi dan meningkatkan tekanan terhadap lingkungan, terutama dalam bentuk emisi CO², apabila pertumbuhan ekonomi tidak diimbangi dengan peningkatan efisiensi energi dan penerapan teknologi ramah lingkungan. Kondisi ini menegaskan pentingnya peran GDP per kapita dalam memahami keterkaitan antara dinamika ekonomi dan lingkungan, sekaligus perlunya kebijakan pembangunan yang menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dengan prinsip keberlanjutan (Kukla-Gryz, 2009).

2.1.5 Jumlah Populasi/Penduduk

Jumlah populasi atau penduduk adalah ukuran total jumlah orang yang tinggal dalam suatu wilayah geografis tertentu pada periode waktu tertentu. Dalam konteks penelitian lingkungan dan ekonomi, jumlah populasi mencerminkan skala aktivitas manusia yang secara langsung berkaitan dengan konsumsi sumber daya, kebutuhan energi, kebutuhan transportasi, dan permintaan terhadap barang serta jasa. Karena aktivitas-aktivitas tersebut pada umumnya bergantung pada penggunaan energi, terutama energi fosil seperti batubara dan minyak bumi, pertumbuhan populasi biasanya diasosiasikan dengan peningkatan konsumsi energi dan Emisi CO². Populasi yang lebih besar berarti lebih banyak rumah tangga, kendaraan, dan kegiatan industri yang menggunakan energi, sehingga berpotensi menambah jumlah emisi CO² yang dilepaskan ke atmosfer (Hong *et al*, 2022).

Penelitian empiris yang menggunakan model STIRPAT atau model serupa dalam literatur lingkungan sering menemukan bahwa pertumbuhan populasi merupakan salah satu pendorong utama kenaikan emisi CO₂ bersama dengan faktor afluensi dan teknologi. Misalnya, studi lintas negara yang melihat

hubungan antara faktor-faktor terkait populasi dan emisi CO² menemukan bahwa ukuran populasi kota atau wilayah menunjukkan korelasi positif dengan jumlah total emisi CO₂ karena kontribusi dari konsumsi energi dan aktivitas ekonomi yang meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Dari perspektif global, peningkatan populasi cenderung memperkuat tekanan terhadap lingkungan karena skala konsumsi energi yang lebih besar akan meningkatkan emisi CO², kecuali jika efisiensi energi dan teknologi rendah karbon sudah diimplementasikan secara luas (Zhong et al., 2025).

Dalam kajian yang lebih komprehensif, efek populasi terhadap emisi CO² tidak hanya dilihat dari jumlah absolut penduduk, tetapi juga bagaimana struktur demografi memengaruhi pola konsumsi energi dan intensitas emisi CO². Populasi yang besar dapat mendorong penggunaan energi secara agregat, tetapi jika struktur ekonomi dan teknologi lebih efisien serta ada transisi ke energi bersih, maka dampak peningkatan populasi terhadap emisi CO₂ bisa dikurangi. Studi-studi di bidang ini umumnya mendukung bahwa ukuran populasi adalah indikator penting dalam model dampak lingkungan, seperti yang tercermin dalam identitas $I = P \times A \times T$, di mana populasi adalah salah satu faktor utama yang menentukan besarnya emisi CO² ketika dikombinasikan dengan tingkat konsumsi dan teknologi yang digunakan.

2.1.6 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari proses alam yang dapat diperbarui secara berkelanjutan, seperti energi matahari, angin, air (hidro), biomassa, dan panas bumi. Berbeda dengan energi fosil yang bersifat terbatas dan menghasilkan emisi CO² tinggi, energi terbarukan memiliki karakteristik ramah lingkungan karena menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah. Oleh karena itu, pemanfaatan energi terbarukan menjadi salah satu strategi utama dalam mendukung pembangunan berkelanjutan serta mengurangi dampak perubahan iklim global (Perone, 2024). Dalam perspektif ekonomi pembangunan, energi terbarukan memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Ketersediaan energi

yang bersih dan berkelanjutan dapat meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi ketergantungan terhadap impor energi fosil, serta memperkuat ketahanan energi nasional. Selain itu, pengembangan energi terbarukan juga membuka peluang investasi baru, menciptakan lapangan kerja, serta mendorong inovasi teknologi. Dengan demikian, transisi menuju energi terbarukan tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan sosial (Tao et al., 2024).

Energi terbarukan sering dikaitkan dengan upaya menurunkan emisi CO², khususnya CO₂. Peningkatan penggunaan energi terbarukan dalam bauran energi nasional diharapkan dapat menggantikan peran energi fosil yang menjadi penyumbang utama emisi CO². Oleh karena itu, semakin tinggi kontribusi energi terbarukan, maka semakin rendah tingkat emisi CO² yang dihasilkan. Hal ini menjadikan energi terbarukan sebagai salah satu variabel penting dalam berbagai penelitian yang mengkaji hubungan antara aktivitas ekonomi dan kualitas lingkungan. Namun demikian, pengembangan energi terbarukan juga menghadapi berbagai tantangan, seperti biaya investasi awal yang tinggi, keterbatasan infrastruktur, serta ketergantungan pada kondisi geografis dan cuaca. Di negara berkembang seperti Indonesia, tantangan tersebut menjadi lebih kompleks karena keterbatasan teknologi dan pendanaan. Sebaliknya, negara maju seperti Jepang cenderung lebih siap dalam mengadopsi energi terbarukan karena didukung oleh teknologi yang lebih maju dan kebijakan yang lebih terintegrasi. Oleh karena itu, keberhasilan transisi energi sangat bergantung pada komitmen pemerintah, dukungan kebijakan, serta kesiapan teknologi di masing-masing negara.

2.2 Tinjauan Empiris

Penelitian terdahulu membantu peneliti untuk memperkuat teori konsep, dan hasil yang sudah ada terkait topik yang diteliti, penelitian ini menyajikan tinjauan empiris dari berbagai studi terlebih dahulu baik di tingkat nasional dan Internasional, masing - masing disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Ringkasan Hasil Penelitian Terdahulu

No	Judul dan Nama Peneliti	Variabel dan Alat Analisis	Kesimpulan
1	<i>The Effects of Renewable Energy, Economic Growth, and Trade on CO² Emissions in the EU-15</i> Penulis: Lojanica et al., (2025)	Variabel energi terbarukan, pertumbuhan ekonomi, dan keterbukaan perdagangan Alat Analisis: ARDL	Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi cenderung meningkatkan emisi CO ² di sebagian besar negara EU-15, dengan koefisien antara 0,43 hingga 5,70, yang menegaskan tantangan dalam menyelaraskan ekspansi ekonomi dengan tujuan lingkungan. Sebaliknya, energi terbarukan secara signifikan menurunkan emisi CO ² , dengan koefisien berkisar antara -0,13 hingga -0,96, menegaskan perannya yang penting dalam mencapai keberlanjutan. Sementara itu, keterbukaan perdagangan secara umum memiliki dampak netral terhadap emisi di sebagian besar negara.
2	<i>The effects of trade openness on decoupling carbon emissions from economic growth – Evidence from 182 countries</i> Penulis: Wang dan Zhang (2021)	Keterbukaan perdagangan (<i>trade openness</i>), emisi karbon, pertumbuhan ekonomi, tingkat pendapatan per kapita (tingkat pendapatan individu), populasi, energi terbarukan, dan harga minyak. Alat Analisis: Data Panel	Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan memiliki dampak berbeda terhadap emisi karbon berdasarkan tingkat pendapatan negara. Keterbukaan perdagangan mampu menurunkan emisi karbon di negara berpenghasilan tinggi dan menengah atas, tetapi tidak berpengaruh signifikan di negara berpenghasilan menengah bawah, dan bahkan meningkatkan emisi karbon di negara berpenghasilan rendah.

No	Judul dan Nama Peneliti	Variabel dan Alat Analisis	Kesimpulan
3	<i>Trade Openness and Environmental Emissions: Evidence from a Meta-Analysis</i> Penulis: Afesorgbor dan Demena (2022)	Variabel keterbukaan perdagangan (trade) dan emisi lingkungan Alat Analisis: Meta Analisis	Hasil meta-analisis menunjukkan bahwa perdagangan secara umum berkontribusi terhadap peningkatan emisi lingkungan setelah memperhitungkan bias publikasi dan heterogenitas antar studi.
4	<i>The long-run and causal analysis of energy, growth, openness and financial development on carbon emissions in Turkey.</i> Penulis: Ozturk dan Acaravci (2013)	1. Emisi karbon per kapita (<i>carbon emissions</i>) 2. Konsumsi energi per kapita (<i>energy consumption</i>) 3. Pendapatan riil per kapita (<i>real income</i>) 4. Kuadrat dari pendapatan riil per kapita (<i>real income squared</i>) 5. Keterbukaan perdagangan (<i>trade openness</i>), yang diukur dengan rasio perdagangan terhadap GDP 6. Pengembangan keuangan (<i>financial development</i>) Alat Analisis: Kausalitas Granger berbasis <i>Error Correction</i>	Penelitian ini menemukan adanya hubungan jangka panjang antara emisi karbon per kapita dengan konsumsi energi, pendapatan, keterbukaan perdagangan, dan pengembangan keuangan. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan rasio perdagangan terhadap GDP menyebabkan peningkatan emisi karbon per kapita di Turki.
5	<i>Environment Kuznets curve for CO² emissions: A cointegration analysis for China</i>	1. Emisi karbon (CO ₂ emissions) 2. Konsumsi energi (<i>energy consumption</i>) 3. Pendapatan riil	Penelitian ini menemukan bahwa terdapat hubungan jangka panjang antara emisi karbon dengan pendapatan dan konsumsi energi di Tiongkok

No	Judul dan Nama Peneliti	Variabel dan Alat Analisis	Kesimpulan
	Penulis: Jalil dan Mahmud (2009)	per kapita (<i>real GDP per capita</i>) 4. Kuadrat dari pendapatan riil per kapita (<i>real GDP per capita squared</i>) 5. Perdagangan luar negeri (<i>foreign trade</i>) Alat Analisis: ARDL	selama periode 1975–2005. Hubungan berbentuk kuadratik antara pendapatan per kapita dan emisi CO ₂ mendukung hipotesis <i>Environmental Kuznets Curve</i> (EKC), yaitu emisi meningkat pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, tetapi menurun setelah pendapatan mencapai tingkat tertentu. Selain itu, uji kausalitas Granger menunjukkan adanya hubungan kausal satu arah dari pertumbuhan ekonomi menuju emisi karbon.
6	<i>Coal energy consumption beat renewable energy consumption in South Africa: Developing policy framework for sustainable development</i> Penulis: Adebayo et al., (2021)	1. Konsumsi energi Batubara 2. Pertumbuhan ekonomi 3. Konsumsi energi terbarukan 4. Emisi CO ₂ 5. Perkembangan keuangan Alat Analisis: ARDL <i>bounds test to cointegration</i>	Pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi batubara di Afrika Selatan terbukti meningkatkan emisi CO ₂ , sementara perkembangan keuangan dan transisi menuju energi terbarukan diperlukan untuk memperbaiki kualitas lingkungan.
7	<i>The effect of energy prices, energy losses, and renewable energy use on CO₂ emissions in energy-importing developing economies in the presence of an Environmental Kuznets Curve</i> Penulis: Mustafa Naigmolu (2023)	- Harga energi (<i>energy prices</i>) - Kehilangan energi (<i>energy losses</i>) - Penggunaan energi terbarukan (<i>renewable energy use</i>) - Pertumbuhan ekonomi (GDP per capita) - Emisi karbon (CO ₂ emissions) Alat Analisis: ARDL	Hasil empiris menunjukkan bahwa hipotesis <i>Environmental Kuznets Curve</i> (EKC) terbukti valid di negara-negara berkembang pengimpor energi. Artinya, pada tahap awal pertumbuhan ekonomi, peningkatan GDP per kapita mendorong kenaikan emisi karbon, namun setelah mencapai ambang tertentu, emisi menurun seiring

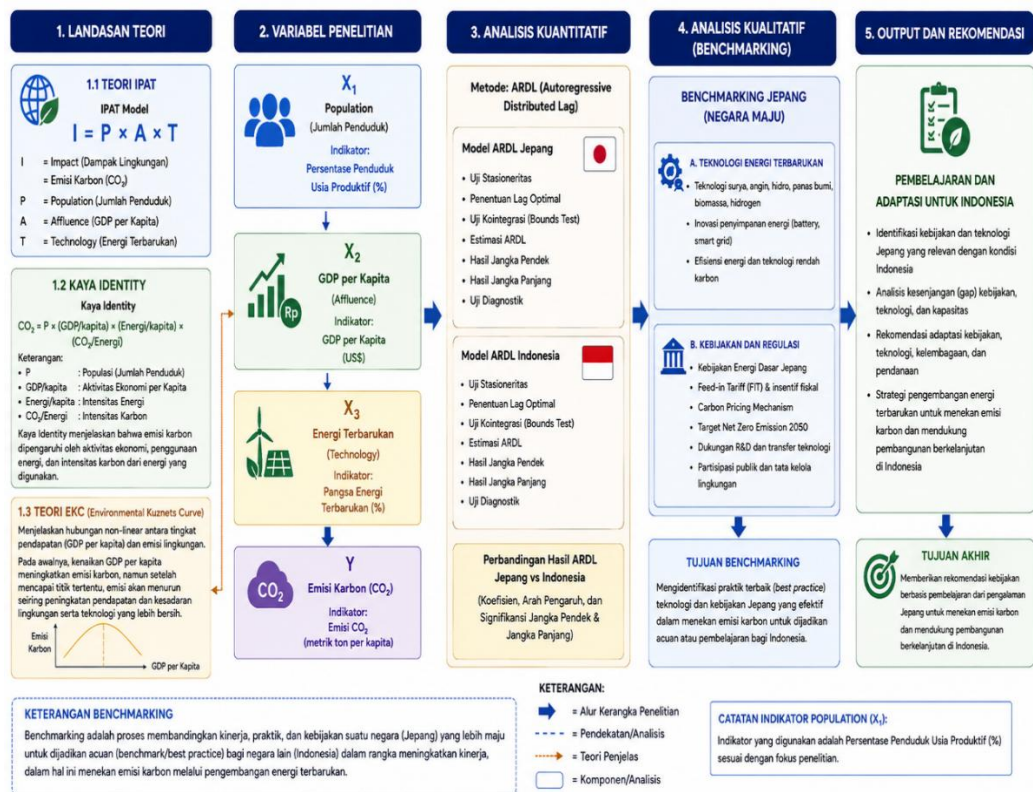
No	Judul dan Nama Peneliti	Variabel dan Alat Analisis	Kesimpulan
			meningkatnya pendapatan dan penggunaan teknologi ramah lingkungan.
8	<i>Examining the dynamic impact of carbon emissions, renewable energy and economic growth on healthcare expenditure in Asian countries</i> Penulis: Preeti Slathia, Ashutosh Vashishtha, Pabitra Kumar Jena, dan Pritish Kumar Sahu (2024)	Variabel dependen: Healthcare expenditure (pengeluaran kesehatan) Variabel independen: - Carbon emissions (emisi karbon/CO₂) - Renewable energy consumption (konsumsi energi terbarukan) - Economic growth (pertumbuhan ekonomi/GDP)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi karbon (CO₂) dan pertumbuhan ekonomi (GDP) berpengaruh positif terhadap pengeluaran kesehatan, artinya peningkatan aktivitas ekonomi yang intensif energi menyebabkan peningkatan emisi karbon dan pada akhirnya meningkatkan biaya kesehatan. Sebaliknya, penggunaan energi terbarukan terbukti menurunkan pengeluaran kesehatan, karena berkontribusi terhadap lingkungan yang lebih bersih dan sehat.
9	<i>The Complex Relationship Between Carbon Dioxide Emissions, Foreign Direct Investment, and Economic Growth in Asian Countries</i> Penulis: Quang Khai Nguyen, Dinh Long Tran, Xuan Hang Tran, Nguyen Thanh Nhan Pham, dan Ngoc Phong Lan Nguyen (2025)	- Carbon dioxide (CO₂) emissions (emisi karbon) - Foreign Direct Investment (FDI) inflows (investasi asing langsung) - Economic growth (pertumbuhan ekonomi) Alat Analisis: Panel Data	Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan dua arah antara emisi CO₂ dan pertumbuhan ekonomi, di mana pertumbuhan ekonomi meningkatkan emisi karbon, sementara emisi karbon yang tinggi justru menurunkan pertumbuhan ekonomi. Selain itu, FDI secara langsung meningkatkan pertumbuhan ekonomi, terutama di negara dengan tingkat pembangunan rendah. Namun, FDI juga dapat menurunkan pertumbuhan ekonomi secara tidak langsung

No	Judul dan Nama Peneliti	Variabel dan Alat Analisis	Kesimpulan
			melalui peningkatan emisi karbon. Menariknya, FDI juga berperan sebagai variabel moderasi yang dapat mengurangi dampak negatif emisi CO ₂ terhadap pertumbuhan ekonomi, terutama di negara berkembang.
10	<i>Relationships between carbon emissions and urban population size and density, based on geo-urban scaling analysis: A multi-carbon source empirical study</i> Penulis: Hong, Shunfa (2025)	Variabel dependen adalah emisi karbon perkotaan, yang dibedakan menjadi beberapa sumber, yaitu emisi karbon total, emisi karbon sektor industri, emisi karbon sektor transportasi, dan emisi karbon sektor residensial (rumah tangga). Sementara itu, variabel independennya meliputi ukuran populasi perkotaan (urban population size) dan kepadatan penduduk perkotaan (urban population density). Alat Analisis: <i>Geographically Weighted Regression (GWR)</i>	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa hubungan antara populasi perkotaan dan emisi karbon bersifat kompleks dan bervariasi antar sektor. Secara umum, terdapat pola sub-linear antara ukuran kota dan emisi karbon total, industri, serta residensial, yang menunjukkan adanya potensi efisiensi skala pada kota yang lebih besar. Sebaliknya, emisi karbon transportasi menunjukkan pola super-linear, yang mengindikasikan bahwa pertumbuhan kota justru meningkatkan emisi transportasi secara tidak proporsional.

2.3 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian berperan penting dalam membantu peneliti menyusun alur berpikir yang sistematis dan logis dalam menjawab rumusan masalah, peneliti dapat menunjukkan hubungan antar variabel baik secara teoritis

maupun empiris sehingga mempermudah dalam merumuskan hipotesis dan memilih metode analisis yang sesuai, kerangka ini juga berfungsi sebagai pedoman dalam menyusun bab-bab penelitian secara terstruktur dan fokus terhadap tujuan utama studi. Berikut merupakan gambar kerangka penelitian pada penelitian ini.



Gambar 10. Kerangka Penelitian

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini didasarkan pada teori I=PAT (*Impact = Population × Affluence × Technology*) yang menjelaskan bahwa dampak lingkungan termasuk emisi CO₂ dipengaruhi oleh tiga faktor utama yaitu populasi, tingkat kemakmuran dan teknologi, dalam konteks penelitian ini variabel populasi direpresentasikan oleh proporsi penduduk usia produktif yang mencerminkan potensi aktivitas ekonomi dan konsumsi energi, semakin besar jumlah penduduk usia produktif maka semakin tinggi aktivitas produksi, transportasi dan konsumsi yang berpotensi meningkatkan emisi karbon, sementara itu *affluence* diukur melalui GDP per kapita yang menggambarkan

tingkat kesejahteraan masyarakat, peningkatan pendapatan per kapita umumnya diikuti dengan peningkatan konsumsi energi dan barang sehingga berpotensi meningkatkan emisi terutama jika masih bergantung pada energi fosil.

Selanjutnya komponen *technology* dalam teori I=PAT direpresentasikan oleh penggunaan energi terbarukan yang mencerminkan tingkat adopsi teknologi ramah lingkungan dalam suatu negara, semakin tinggi proporsi energi terbarukan dalam bauran energi maka diharapkan dapat menekan emisi karbon karena mengurangi ketergantungan pada energi fosil, dalam studi komparatif antara Indonesia dan Jepang, kerangka ini digunakan untuk melihat bagaimana perbedaan struktur demografi, tingkat kemakmuran dan kemajuan teknologi energi memengaruhi emisi CO² di kedua negara. Indonesia sebagai negara berkembang cenderung menghadapi tantangan dalam transisi energi, sementara Jepang sebagai negara maju memiliki kapasitas teknologi yang lebih tinggi dalam mengelola emisi, dengan demikian penelitian ini bertujuan untuk menguji sejauh mana ketiga variabel dalam kerangka I=PAT memengaruhi emisi karbon serta membandingkan dinamika tersebut di dua negara dengan karakteristik ekonomi yang berbeda.

2.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, maka hipotesis penelitian ini antara lain:

H₁ = Penduduk Usia Produktif memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia.

H₂ = GDP per kapita memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia.

H₃ = Energi Terbarukan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap Emisi CO² di Jepang dan Indonesia.

H₄ = Terdapat perbedaan dan persamaan pengaruh Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita, dan Energi Terbarukan terhadap Emisi CO² antara Jepang sebagai negara maju dan Indonesia sebagai negara berkembang .

III. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan *Branchmarking* yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh populasi usia produktif, GDP per kapita, dan energi terbarukan terhadap emisi CO² dan antara Jepang sebagai negara maju dan Indonesia sebagai negara berkembang, pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini mengandalkan data numerik yang diolah dengan metode ekonometrika khususnya model *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL), untuk melihat hubungan jangka pendek dan jangka panjang antar variabel, pendekatan *Branchmarking* diharapkan mampu menghasilkan pembelajaran kebijakan bagi Indonesia dalam upaya menekan emisi CO² tanpa menghambat pertumbuhan negara berkembang (Indonesia), sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif terkait perbedaan pengaruh faktor-faktor tersebut terhadap emisi CO².

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dalam bentuk *time series* tahunan yang diperoleh dari lembaga internasional terpercaya, seperti World Bank dan IEA, data yang digunakan meliputi Emisi CO² per kapita GDP per kapita (harga konstan 2015 US\$), persentase penduduk usia produktif (15–64 tahun), serta persentase energi terbarukan dalam total konsumsi energi primer. Data dikumpulkan untuk periode waktu tertentu yang sama antara Jepang dan Indonesia agar hasil analisis dapat dibandingkan secara konsisten, penggunaan data sekunder ini memungkinkan peneliti untuk memperoleh data yang valid, reliabel dan dapat dipertanggungjawabkan dalam analisis empiris, penelitian estimasi ARDL dilakukan secara terpisah untuk Jepang dan Indonesia, hasil estimasi masing-masing negara kemudian dibandingkan untuk melihat perbedaan

sensitivitas emisi CO² terhadap populasi produktif, pertumbuhan ekonomi dan energi terbarukan.

3.2 Definisi Operasional Variabel

Definisi operasional variabel adalah penjelasan mengenai bagaimana suatu konsep atau variabel dalam penelitian didefinisikan diukur dan diobservasi secara empiris sehingga dapat dianalisis secara kuantitatif, definisi ini mencakup penjabaran variabel penelitian, satuan pengukuran, sumber data serta bentuk pengolahan data yang digunakan sehingga setiap variabel memiliki batasan yang jelas dan tidak menimbulkan perbedaan interpretasi, adanya definisi operasional variabel proses pengukuran menjadi lebih sistematis, objektif, dan konsisten serta memudahkan peneliti dalam melakukan analisis statistik dan penarikan kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian. Dalam kerangka teori I = PAT dan model empiris turunannya (STIRPAT), hubungan antara emisi karbon dan variabel populasi, afluensi, serta teknologi umumnya diasumsikan bersifat nonlinier dan proporsional sehingga diturunkan ke dalam bentuk log-linier (Krishnendu & Patra, 2025) seluruh variabel kuantitatif utama seperti Emisi CO² Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita dan energi terbarukan (ET).

3.2.1 Emisi CO²

Emisi CO² dalam penelitian ini merujuk pada jumlah Emisi CO² yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan proses produksi semen, termasuk emisi yang berasal dari pembakaran bahan bakar padat, cair, gas, sebagaimana didefinisikan oleh *World Bank* indikator ini umumnya diukur dalam satuan MtCO₂ per tahun dan digunakan sebagai ukuran utama tekanan aktivitas ekonomi terhadap lingkungan. Emisi CO² menjadi variabel kunci dalam penelitian ini karena memiliki keterkaitan yang erat dengan proses produksi, konsumsi energi dan perdagangan internasional di mana peningkatan aktivitas ekonomi berpotensi mendorong kenaikan emisi CO² data tersebut ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma natural (Ln) sebelum dianalisis, transformasi logaritma dilakukan untuk

mengurangi potensi *heteroskedastisitas* serta menstabilkan varians data emisi CO² Indonesia dan Jepang yang digunakan, dalam penelitian ini bersumber dari *World Bank* dalam bentuk data tahunan dengan periode pengamatan yang panjang yaitu dari tahun 1981 hingga 2024 .

3.2.2 penduduk Usia Produktif

Variabel populasi dalam penelitian ini didefinisikan sebagai persentase penduduk usia produktif (15–64 tahun) terhadap total populasi (Population ages 15–64 (% of total population)). Variabel ini digunakan untuk merepresentasikan struktur demografi yang memiliki peran langsung dalam aktivitas ekonomi suatu negara. Kelompok usia produktif dianggap sebagai bagian populasi yang paling aktif dalam kegiatan produksi, konsumsi, dan mobilitas, sehingga memiliki kontribusi besar terhadap penggunaan energi dan potensi peningkatan emisi karbon (CO₂). Dengan demikian, variabel ini tidak hanya mencerminkan jumlah penduduk, tetapi juga menggambarkan kapasitas ekonomi dan tekanan terhadap lingkungan.

Secara operasional, variabel populasi diukur dalam satuan persentase (%) yang menunjukkan proporsi penduduk usia 15–64 tahun dibandingkan dengan total populasi dalam suatu negara pada periode tertentu. Data variabel ini diperoleh dari sumber sekunder seperti World Bank dan digunakan dalam bentuk time series tahunan. Penggunaan indikator ini bertujuan untuk menangkap dinamika perubahan struktur usia penduduk yang dapat memengaruhi tingkat aktivitas ekonomi dan konsumsi energi. Semakin tinggi nilai variabel ini, maka semakin besar potensi peningkatan aktivitas ekonomi yang pada akhirnya dapat berdampak pada peningkatan emisi karbon apabila tidak diimbangi dengan efisiensi energi dan teknologi ramah lingkungan.

3.2.3 GDP Per Kapita

GDP per kapita dipilih sebagai indikator utama karena mampu mencerminkan tingkat kemakmuran ekonomi rata-rata penduduk yang berkaitan erat dengan pola konsumsi, kebutuhan energi, serta aktivitas produksi. Indikator ini dinilai lebih

representatif dibandingkan GDP total karena telah memperhitungkan perbedaan jumlah penduduk antarnegara, sehingga memungkinkan perbandingan yang lebih adil antara Jepang dan Indonesia. GDP per kapita yang digunakan dalam penelitian ini merupakan GDP per kapita atas dasar harga konstan, sehingga perubahan nilai yang diamati mencerminkan pertumbuhan riil daya beli dan aktivitas ekonomi masyarakat tanpa dipengaruhi oleh fluktuasi harga. Data GDP per kapita Jepang dan Indonesia diperoleh dari World Bank dalam bentuk data tahunan dengan periode pengamatan yang panjang, yaitu dari tahun 1981 hingga 2024, sehingga mampu menangkap dinamika struktural perekonomian dalam jangka panjang.

Selanjutnya, data GDP per kapita tersebut ditransformasikan ke dalam bentuk logaritma natural (Ln) sebelum dianalisis. Transformasi logaritma dilakukan untuk mengurangi potensi heteroskedastisitas serta menstabilkan varians data, mengingat nilai GDP per kapita cenderung meningkat seiring waktu dan memiliki rentang yang cukup besar antarnegara. Selain itu, penggunaan Ln memungkinkan interpretasi koefisien estimasi sebagai elastisitas, sehingga memudahkan analisis hubungan persentase perubahan GDP per kapita terhadap perubahan emisi karbon. Pendekatan ini juga membantu memperhalus fluktuasi data tahunan dan meningkatkan keandalan hasil estimasi dalam analisis komparatif antara Jepang dan Indonesia.

$$\text{GDP Per Kapita} = \frac{\text{PDB}}{\text{Jumlah Penduduk}}$$

3.2.4 Energi Terbarukan

Variabel energi terbarukan dalam penelitian ini didefinisikan sebagai persentase kontribusi energi terbarukan terhadap total konsumsi energi primer (Renewables (% equivalent primary energy)). Variabel ini digunakan untuk menggambarkan tingkat pemanfaatan sumber energi yang bersifat berkelanjutan dan ramah lingkungan, seperti energi surya, angin, air (hidro), biomassa, dan panas bumi.

Dalam konteks penelitian ini, energi terbarukan merepresentasikan aspek teknologi dalam kerangka I=PAT, yang berperan dalam menekan dampak lingkungan dari aktivitas ekonomi, khususnya emisi karbon (CO₂). Semakin besar proporsi energi terbarukan yang digunakan, maka diharapkan semakin rendah ketergantungan pada energi fosil yang menjadi sumber utama emisi karbon.

Secara operasional, variabel energi terbarukan diukur dalam satuan persentase (%) yang menunjukkan perbandingan antara konsumsi energi terbarukan dengan total konsumsi energi primer dalam suatu negara pada periode tertentu. Data variabel ini diperoleh dari sumber sekunder seperti World Bank dan digunakan dalam bentuk data time series tahunan. Penggunaan indikator ini bertujuan untuk mengukur tingkat transisi energi menuju sistem energi yang lebih bersih dan berkelanjutan. Nilai yang lebih tinggi pada variabel ini mengindikasikan bahwa suatu negara telah lebih maju dalam mengadopsi teknologi energi bersih, sehingga berpotensi menurunkan emisi karbon dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

3.3 Metode Analisis Data

3.3.1 Model Penelitian

Model penelitian adalah bentuk representasi hubungan antar variabel penelitian dalam persamaan kuantitatif yang menggambarkan arah dan besarnya pengaruh suatu variabel terhadap variabel lainnya. Model ini digunakan untuk menguji hipotesis secara empiris melalui analisis statistik atau ekonometrika (Widarjono, 2018). Penelitian ini membandingkan dua negara (Indonesia dan Jepang), maka terdapat dua model matematis yaitu:

1. Model untuk Indonesia:

$$\text{LNCO}^2_{\text{IDNt}} = \beta_0 + \beta_1 \text{PUP}_{\text{IDNt}} + \beta_2 \text{LNGDPPK}_{\text{IDNt}} + \beta_3 \text{ET}_{\text{IDNt}} + e_t$$

2. Model untuk Jepang:

$$\text{LNCO}^2_{\text{JPNt}} = \beta_0 + \beta_1 \text{PUP}_{\text{JPNt}} + \beta_2 \text{LNGDPPK}_{\text{JPNt}} + \beta_3 \text{ET}_{\text{JPNt}} + e_t$$

Keterangan:

CO²: Emisi Karbon (Log)

PUP: Penduduk Usia Produktif

GDPPK: GDP Per Kapita (Log)

ET : Energi Terbarukan

β_0 : Konstanta

$\beta_1 \beta_2$: Koefisien

ϵ_t : *Error term*

Di mana Koefisien β_1 , β_2 , β_3 , menggambarkan koefisien hubungan jangka panjang.

3.3.2 Statistik Deskriptif

Analisis deskriptif merupakan tahap awal yang penting dalam penelitian kuantitatif karena memberikan gambaran umum mengenai karakteristik data yang digunakan. Melalui analisis ini, peneliti dapat mengetahui nilai rata-rata (*mean*), standar deviasi, nilai minimum, maksimum, serta sebaran data pada masing-masing variabel. Informasi tersebut membantu dalam memahami kondisi awal data sebelum dilakukan analisis ekonometrika yang lebih kompleks, sehingga peneliti dapat mengidentifikasi adanya kecenderungan tertentu dalam data (Gujarati, 2018). Selain itu, analisis deskriptif juga bermanfaat untuk mendeteksi adanya data ekstrem atau outlier yang berpotensi memengaruhi hasil estimasi.

Selain penyajian dalam bentuk angka, analisis deskriptif juga dilengkapi dengan visualisasi data dalam grafik runtut waktu (*time series plot*), grafik ini digunakan untuk melihat pola tren, fluktuasi, dan perubahan musiman yang terjadi pada variabel penelitian, visualisasi memungkinkan peneliti untuk secara lebih intuitif mengamati hubungan antarvariabel dan mendeteksi adanya perubahan struktural sepanjang periode pengamatan.

3.3.2.1 Uji Stasioneritas

Uji stasioneritas merupakan tahap penting dalam analisis data runtut waktu untuk memastikan bahwa data yang digunakan tidak mengandung *unit root*. Dalam penelitian ini, uji stasioneritas dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) dan *Phillips-Perron* (PP) *Test*. Kedua uji ini digunakan untuk mendeteksi apakah suatu variabel bersifat stasioner pada level atau masih mengandung unit root. Data runtut waktu yang tidak stasioner dapat menimbulkan regresi palsu *spurious regression* sehingga hasil estimasi menjadi bias. Menurut Brooks (2019), uji ADF dan PP saling melengkapi karena ADF lebih sensitif terhadap pemilihan lag, sedangkan PP lebih *robust* terhadap autokorelasi dan heteroskedastisitas pada *error term*.

Pengambilan keputusan dalam uji stasioneritas dilakukan dengan membandingkan nilai probabilitas (*p-value*) dengan tingkat signifikansi ($\alpha = 0,05$). Apabila nilai probabilitas $< 0,05$ maka data dinyatakan stasioner, atau dengan kata lain tidak mengandung unit root. Sebaliknya, apabila nilai probabilitas $> 0,05$, maka data tidak stasioner pada level dan perlu ditransformasi ke dalam bentuk *first difference* hingga mencapai stasioneritas. Dengan demikian, hanya variabel yang stasioner yang dapat digunakan dalam analisis lebih lanjut, seperti uji kointegrasi maupun model VAR/VECM, sehingga hasil penelitian dapat dipercaya dan valid (Wooldridge, 2020).

Dalam analisis data runtun waktu (*time series*), uji stasioneritas dilakukan untuk memastikan bahwa data memiliki mean, varians, dan kovarians yang konstan sepanjang waktu. Jika hasil uji menunjukkan bahwa seluruh variabel stasioner pada tingkat level atau $I(0)$, artinya data sudah stabil tanpa perlu dilakukan pembedaan (*differencing*). Dalam kondisi ini, analisis dapat langsung menggunakan metode *Ordinary Least Squares* (OLS) karena hubungan antar variabel dapat

diestimasi secara valid tanpa menghasilkan regresi semu (*spurious regression*). Dengan kata lain, ketika semua variabel sudah stasioner pada $I(0)$, maka model linier konvensional seperti OLS dapat memberikan estimasi parameter yang tidak bias dan efisien (Gujarati, 2020).

Sebaliknya, jika hasil uji menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh variabel tidak stasioner pada level tetapi stasioner setelah diferensiasi pertama ($I(1)$), maka hubungan antar variabel perlu diuji lebih lanjut menggunakan uji kointegrasi untuk mengetahui apakah terdapat keseimbangan jangka panjang antar variabel tersebut. Jika terbukti terdapat kointegrasi, maka model yang sesuai untuk digunakan adalah *Error Correction Model* (ECM). Model ECM memungkinkan peneliti untuk menganalisis hubungan jangka pendek dan jangka panjang secara simultan, di mana komponen *error correction* menggambarkan penyesuaian terhadap deviasi dari keseimbangan jangka panjang. Dengan demikian, penggunaan ECM memastikan bahwa meskipun data bersifat non-stasioner, estimasi tetap valid karena mempertimbangkan dinamika jangka pendek dan proses menuju keseimbangan jangka panjang antar variabel (Gujarati, 2020).

3.3.2.2 Uji Kointegrasi *Bounds Test*

Uji kointegrasi *Bounds Test* merupakan salah satu tahapan utama dalam metode *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) yang digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan keseimbangan jangka panjang (*long run relationship*) antara variabel dependen dan variabel independen. Pengujian ini pertama kali diperkenalkan oleh M. Hashem Pesaran, Yongcheol Shin, dan Richard J. Smith melalui pendekatan yang memungkinkan variabel memiliki orde integrasi campuran, yaitu $I(0)$ dan $I(1)$, selama tidak terdapat variabel yang terintegrasi pada orde dua atau $I(2)$. Keunggulan metode

ini menjadikan *Bounds Test* banyak digunakan dalam penelitian ekonomi, keuangan, dan bisnis karena lebih fleksibel dibandingkan metode kointegrasi konvensional (Pesaran *et al*, 2001).

Dalam model ARDL uji Bounds Test dilakukan dengan membandingkan nilai F-statistic hasil estimasi dengan dua nilai kritis, yaitu *lower bound* $I(0)$ dan *upper bound* $I(1)$. Jika nilai F-statistic lebih besar dari *upper bound*, maka hipotesis nol yang menyatakan tidak terdapat kointegrasi ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan jangka panjang antarvariabel. Sebaliknya, apabila nilai F-statistic lebih kecil dari *lower bound*, maka hipotesis nol diterima dan tidak terdapat hubungan jangka panjang. Namun jika nilai F-statistic berada di antara kedua batas tersebut, maka hasil pengujian bersifat *inconclusive* atau tidak pasti sehingga diperlukan pengujian tambahan (Kripfganz & Schneider, 2023).

3.3.2.3 Penentuan Lag Optimal

Penentuan lag optimal merupakan tahapan penting dalam estimasi model *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) karena bertujuan menentukan jumlah keterlambatan (lag) terbaik pada variabel dependen maupun independen agar model mampu menangkap dinamika hubungan antarvariabel secara tepat. Pemilihan lag yang terlalu pendek berisiko menghilangkan informasi penting dari periode sebelumnya, sedangkan lag yang terlalu panjang dapat menyebabkan model menjadi tidak efisien, kehilangan derajat kebebasan, serta berpotensi menimbulkan multikolinearitas. Oleh karena itu, penentuan lag optimal dilakukan sebelum estimasi model utama ARDL (Kripfganz & Schneider, 2023).

Peneliti mengestimasi beberapa kombinasi lag berdasarkan batas maksimum lag yang ditentukan sesuai jumlah observasi dan frekuensi

data. Selanjutnya, perangkat lunak statistik seperti EViews, Stata, atau R akan menampilkan nilai AIC, SIC, dan HQ untuk setiap kombinasi model. Model yang memiliki nilai kriteria informasi terendah dipilih sebagai lag optimal dan digunakan pada tahap uji *Bounds Test* serta estimasi hubungan jangka pendek dan jangka panjang ARDL

3.3.2.4 Estimasi *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL)

Estimasi *model Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) digunakan untuk menganalisis pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen dalam jangka pendek maupun jangka panjang secara simultan. Model ini sangat sesuai digunakan dalam penelitian time series karena mampu mengakomodasi variabel yang memiliki tingkat integrasi campuran, yaitu $I(0)$ dan $I(1)$, selama tidak terdapat variabel yang terintegrasi pada orde dua atau $I(2)$. Selain itu, model ARDL juga efektif digunakan pada jumlah observasi yang relatif terbatas serta mampu memberikan estimasi yang efisien dibandingkan metode kointegrasi lainnya (Pesaran *et al*, 2001).

Dalam penelitian ini, model ARDL digunakan untuk menganalisis pengaruh jumlah populasi usia produktif, GDP per kapita, dan energi terbarukan terhadap emisi karbon (CO_2) pada studi komparatif antara Indonesia dan Jepang. Variabel dependen penelitian adalah Emisi CO_2 , sedangkan variabel independennya terdiri atas: populasi usia produktif, GDP per kapita, dan energi terbarukan. Pemilihan variabel tersebut didasarkan pada teori ekonomi lingkungan yang menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi, struktur demografi, dan konsumsi energi memiliki hubungan erat terhadap tingkat emisi karbon (Sadorsky, 2023). Secara umum bentuk persamaan model ARDL dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

Model ARDL-ECM :

$$\Delta Y_t = a_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=0}^{q1} \gamma_i \Delta X_{1,t-i} + \sum_{i=0}^{q2} \theta_i \Delta X_{2,t-i} + \sum_{i=0}^{q3} \phi_i \Delta X_{3,t-i} + \lambda_1 Y_{t-1} + \lambda_2 X_{1,t-1} + \lambda_3 X_{2,t-1} + \lambda_4 Y_{3,t-1} + \varepsilon_t$$

Model output ARDL-ECM menjadi :

$$\Delta LNC O_{2t} = a_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i \Delta LNC O_{2t-i} + \sum_{i=0}^{q1} \gamma_i \Delta PUP_{t-i} + \sum_{i=0}^{q2} \theta_i \Delta L NGDP_{t-i} + \sum_{i=0}^{q3} \phi_i \Delta ET_{t-i} + \lambda_1 LNC O_{2t-1} + \lambda_2 PUP_{t-1} + \lambda_3 L NGDP_{t-1} + \lambda_4 ET_{t-1} + \varepsilon_t$$

Simbol	Keterangan
--------	------------

Δ	<i>First Difference</i>
Y_t	Variabel Dependen
X_t	Variabel Independen
p, q	Panjang Lag
Λ	Hubungan Jangka Panjang
Γ	Hubungan Jangka Pendek
Et	Error Term

Model tersebut menunjukkan bahwa emisi karbon pada periode sekarang dipengaruhi oleh emisi karbon periode sebelumnya, serta perubahan jumlah penduduk usia produktif, GDP dan energi terbarukan pada periode berjalan maupun periode sebelumnya. Dengan demikian, model ARDL mampu menangkap efek dinamis antarvariabel dari waktu ke waktu (Kripfganz & Schneider, 2023). Apabila hasil *Bounds Test*

menunjukkan adanya kointegrasi, maka estimasi dilanjutkan ke persamaan jangka panjang dan model koreksi kesalahan (*Error Correction Model* / ECM), persamaan ECM digunakan untuk melihat seberapa cepat ketidakseimbangan jangka pendek akan kembali menuju keseimbangan jangka panjang, Koefisien *Error Correction Term* (ECT) yang bernilai negatif dan signifikan menunjukkan adanya mekanisme penyesuaian menuju equilibrium (Nkoro & Uko, 2016).

3.3.2.5 Estimasi Model ARDL Jangka Panjang

Setelah melakukan tahap kedua dan terbukti bahwa terdapat hubungan terintegrasi dalam jangka panjang, maka tahap selanjutnya adalah melakukan estimasi koefisien jangka panjang untuk model ARDL (p,q) yang dapat diestimasi berdasarkan persamaan berikut:

$$Y_t = a + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \beta_3 X_{3t} + \varepsilon_t$$

Simbol	Keterangan
--------	------------

Yt	Variabel Dependen
X1,X2,X3	Variabel Independen
β1,β2,β3	Koefisien Jangka Panjang
Et	Error Term

Jika telah terbukti bahwa

terdapat hubungan kointegrasi, selanjutnya adalah kita ingin mendapatkan *Error Correction Representation* dari model ARDL yang telah dipilih setelah kita mengestimasi koefisien jangka panjang. *Error Correction Model* adalah model ARDL yang telah diperluas dengan *Error correction Term*.

3.3.2.6 Estimasi Model ARDL Jangka Pendek

Tahap terakhir adalah melakukan estimasi koefisien jangka pendek dengan menggunakan model *Error Correction Model (ECM)*. *Error Correction Term (ECT)* diperoleh dari uji koefisien jangka panjang, yang dilakukan pada tahap sebelumnya. Estimasi akan dilakukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\Delta Y_t = a_0 + \sum_{i=1}^p \delta_{1i} \Delta Y_{t-i} + \sum_{i=0}^{q1} \delta_{2i} \Delta X_{1,t-i} + \sum_{i=0}^{q2} \delta_{3i} \Delta X_{2,t-i} + \sum_{i=0}^{q3} \delta_{3i} + \lambda ECT_{t-1} + \varepsilon_t$$

Simbol	Keterangan
Δ	<i>First Difference</i>
ECT_{t-1}	<i>Error Correction Term</i>
λ	Koefisien Penyesuaian
δ	Koefisien Jangka Pendek

3.3.2.7 Uji Stabilitas Model

1. Uji CUSUM (*Cumulative Sum Test*)

Pengujian stabilitas parameter dilakukan melalui pendekatan CUSUM yang dikembangkan oleh Brown, Durbin, dan Evans (1975). Uji ini memanfaatkan nilai residual rekursif dari model ARDL untuk menilai apakah parameter estimasi tetap konsisten sepanjang periode penelitian. Pada dasarnya, CUSUM menghitung akumulasi perubahan residual dan memplotnya dalam kurva yang dibandingkan dengan batas kritis pada tingkat signifikansi 5%. Model dinyatakan stabil apabila garis CUSUM berada sepenuhnya di dalam batas kritis (*confidence bounds*), yang

menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan struktural (*structural break*) yang signifikan dalam parameter regresi selama periode observasi. Uji ini penting karena kestabilan parameter merupakan syarat utama agar interpretasi jangka panjang dan jangka pendek model ARDL dapat dinilai valid dan reliabel dalam konteks dinamika hubungan ekonomi antarvariabel (Brown et al., 1975).

2. Uji CUSUMQ (*Cumulative Sum of Squares Test*)

Selain CUSUM, penelitian ini juga menerapkan CUSUMQ yang juga diperkenalkan oleh Brown et al. (1975) untuk menguji kestabilan varian parameter model secara lebih sensitif. CUSUMQ didasarkan pada penjumlahan kuadrat residual rekursif sehingga lebih peka dalam mendeteksi ketidakstabilan varians dan perubahan struktural non-linear yang mungkin tidak terdeteksi oleh CUSUM biasa. Dalam interpretasinya, model dinyatakan stabil apabila grafik CUSUMQ sepenuhnya berada di dalam batas kritis pada tingkat signifikansi 5%. Apabila kurva melampaui batas tersebut, hal itu mengindikasikan adanya ketidakstabilan parameter atau kejadian perubahan struktural selama periode estimasi. Penggunaan CUSUMQ melengkapi hasil CUSUM sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif terhadap konsistensi parameter model ARDL dalam penelitian.

3.3.2.8 Uji Asumsi Klasik

1. Uji Normalitas

Uji normalitas diperlukan untuk mengetahui kenormalan *error term* dan variabel-variabel (independen dan dependen variabel), apakah data sudah tersebar secara normal ataukah belum. Regresi linear normal klasik mengasumsikan bahwa distribusi probabilitas dari gangguan residual memiliki rata-rata yang diharapkan sama dengan nol, tidak berkorelasi dan mempunyai varian yang konstan. Metode yang

digunakan untuk mengetahui normal atau tidaknya distribusi residual antara lain Jarque-Bera *Test* (JB-*Test*) dan metode grafik. Dalam tersebut, yang dilakukan adalah menghitung nilai *skewness* dan *kurtosis* (Gujarati, 2020).

Hipotesis:

Ho: data tersebar normal

Ha: data tidak tersebar normal

Kriteria Pengujian:

Ho ditolak dan Ha diterima, jika $J-B > \text{Chi-Square}$

Ho diterima dan Ha ditolak, jika $J-B < \text{Chi-Square}$.

2. Uji Autokorelasi

Uji autokorelasi berkaitan dengan pengaruh observer atau data dalam satu variabel yang saling berhubungan satu sama lain. Besaran nilai sebuah data dapat saja dipengaruhi atau berhubungan dengan data lainnya (atau data sebelumnya). Contohnya untuk kasus jenis data *time series* data saham tahun ini sangat tergantung dari data saham tahun sebelumnya. Kondisi inilah yang disebut dengan autokorelasi. Regresi secara klasik mensyaratkan bahwa variabel tidak boleh tergejala autokorelasi. Jika tergejala autokorelasi, maka model regresi menjadi buruk karena akan menghasilkan parameter yang tidak logis dan di luar akal sehat. Pada penelitian ini untuk mendeteksi gejala autokorelasi menggunakan uji *Durbin Watson* (DW Test) (Gujarati, 2020).

3. Uji Heteroskedastisitas

Heteroskedastisitas merupakan salah satu penyimpangan terhadap asumsi kesamaan varians (*homoskedastisitas*) yang tidak konstan, yaitu varians error bernilai sama untuk setiap kombinasi tetap dari $X_1, X_2, \dots, X_p$. Jika asumsi ini tidak dipenuhi maka dugaan OLS tidak lagi bersifat

BLUE (*Best Linear Unbiased Estimator*). Adanya heterokedastisitas ini dapat dinyatakan sebagai berikut (Gujarati, 2020):

$$E(e_i) = \sigma^2 \quad i = 1, 2, \dots, n$$

Untuk uji heteroskedastisitas dalam penelitian ini menggunakan Metode White dengan hipotesis pengambilan keputusan sebagai berikut:

H_0 : Nilai Prob $< \alpha$ (0,05) = Terjadi gejala Heteroskedastisitas

H_a : Nilai Prob $> \alpha$ (0,05) = Tidak terjadi gejala Heteroskedastisitas

3.3.2.9 Uji Hipotesis/ Statistik

1. Uji F (Uji Simultan)

Uji F bertujuan untuk mengetahui apakah adanya pengaruh dari semua variabel independen Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita dan Energi Terbarukan secara simultan (Bersama-sama) terhadap variabel dependen yaitu Emisi CO². Dengan hipotesis sebagai berikut:

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$, artinya variabel independen tidak memiliki pengaruh secara simultan terhadap variabel dependen.

$H_a : \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq 0$, artinya variabel independen memiliki pengaruh secara simultan terhadap variabel dependen.

Untuk mengetahui H_0 diterima atau ditolak maka perlu membandingkan antara nilai t-tabel dan t-hitung, atau probabilitas t-statistik dari masing-masing variabel independen dengan alpha (α). Dengan hipotesis sebagai berikut (Basuki & Yuliadi, 2014):

Jika nilai t-tabel lebih besar $>$ dari nilai t-hitung maka H_0 diterima, dan H_a ditolak.

Jika nilai t-tabel lebih kecil $<$ dari nilai t-hitung maka H_0 ditolak, dan H_a diterima.

2. Uji t (Uji Parsial)

Uji t bertujuan untuk mengetahui adanya pengaruh secara parsial (individu) pada variabel-variabel independen Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita dan Energi Terbarukan terhadap variabel dependen yaitu Emisi CO^2 . Dengan hipotesis sebagai berikut:

$H_0 : \beta_1 = 0$ maka variabel independen tidak ada pengaruh terhadap variabel dependen.

$H_0 : \beta_1 \neq 0$ maka variabel independen ada pengaruhnya terhadap variabel dependen.

Untuk mengetahui H_0 diterima atau ditolak maka perlu membandingkan antara nilai t-tabel dan t-hitung atau probabilitas t-statistik dari masing-masing variabel independen dengan $\alpha(\alpha)$. Dengan hipotesis sebagai berikut (Basuki & Yuliadi, 2014):

Jika nilai t-tabel lebih besar $>$ dari nilai t-hitung maka H_0 diterima, dan H_a ditolak.

Jika nilai t-tabel lebih kecil $<$ dari nilai t-hitung maka H_0 ditolak, dan H_a diterima.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab permasalahan dan tujuan sebagai berikut:

1. Pada negara Jepang Penduduk Usia Produktif berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon, fenomena penuaan populasi menyebabkan penurunan proporsi penduduk usia kerja turut menekan aktivitas ekonomi dan mobilitas masyarakat sehingga berkontribusi terhadap tren penurunan emisi karbon dalam jangka Panjang dan Penduduk Usia Produktif berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO² di Indonesia, temuan ini menunjukkan bahwa bonus demografi yang ditandai dengan meningkatnya jumlah tenaga kerja, urbanisasi, konsumsi rumah tangga, dan aktivitas ekonomi telah mendorong peningkatan emisi karbon melalui bertambahnya aktivitas produksi dan mobilitas Masyarakat, dan
2. GDP per kapita berpengaruh positif namun tidak signifikan terhadap Emisi CO² di Jepang Temuan ini menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi tidak lagi menjadi faktor dominan peningkatan emisi karena telah diimbangi oleh efisiensi energi, kemajuan teknologi, dan transformasi ekonomi menuju sektor yang lebih rendah karbon sehingga terjadi proses *decoupling* antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon dan pada negara Indonesia GDP per kapita berpengaruh positif namun tidak signifikan terhadap Emisi CO², ini menunjukkan bahwa peningkatan pendapatan masyarakat belum menjadi faktor utama yang menentukan perubahan emisi karbon, karena emisi masih lebih dipengaruhi oleh struktur energi nasional yang didominasi bahan bakar fosil dan tingginya konsumsi energi sektor industri serta transportasi.

3. Energi terbarukan berpengaruh negatif terhadap Emisi CO² di Jepang, temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan energi terbarukan telah berjalan efektif dalam mendukung transisi energi dan menurunkan emisi karbon melalui dukungan teknologi, efisiensi energi, serta kebijakan lingkungan yang lebih kuat sedangkan pada negara Indonesia Energi terbarukan berpengaruh positif dan signifikan terhadap Emisi CO² hasil ini menunjukkan bahwa pengembangan energi terbarukan belum mampu menggantikan dominasi energi fosil sehingga peningkatan energi terbarukan masih berlangsung bersamaan dengan peningkatan konsumsi energi fosil dan emisi karbon nasional.
4. Berdasarkan hasil penelitian, terdapat persamaan dan perbedaan pengaruh Penduduk Usia Produktif, GDP per kapita, dan Energi Terbarukan terhadap Emisi CO² antara Jepang dan Indonesia. Persamaannya, Penduduk Usia Produktif di kedua negara sama-sama berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon, sedangkan GDP per kapita sama-sama menunjukkan pengaruh positif namun tidak signifikan terhadap emisi karbon. Perbedaannya terletak pada karakteristik demografi, struktur ekonomi, dan efektivitas transisi energi di masing-masing negara. Di Jepang, fenomena aging population menyebabkan penurunan jumlah penduduk usia produktif yang turut mendukung penurunan emisi karbon dalam jangka panjang. Sebaliknya, di Indonesia bonus demografi dan tingginya ketergantungan terhadap energi fosil menyebabkan peningkatan penduduk usia produktif berkontribusi terhadap kenaikan emisi karbon. Pada variabel energi terbarukan, Jepang menunjukkan pengaruh negatif terhadap emisi karbon karena energi terbarukan telah berfungsi sebagai instrumen transisi energi yang efektif dalam menurunkan emisi.

Sementara itu, Indonesia menunjukkan pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon karena energi terbarukan masih bersifat sebagai tambahan energi dan belum mampu menggantikan dominasi energi fosil.

Dengan demikian, meskipun teori IPAT terbukti berlaku pada kedua negara, besarnya pengaruh setiap variabel terhadap emisi karbon sangat dipengaruhi oleh kondisi demografi, struktur energi, tingkat kemajuan teknologi, dan tahap pembangunan ekonomi masing-masing negara. Hasil perbandingan ini sekaligus memberikan nilai benchmarking bagi Indonesia, di mana pengalaman Jepang dalam meningkatkan efisiensi energi, mengembangkan teknologi rendah karbon, serta mengoptimalkan pemanfaatan energi terbarukan dapat menjadi referensi dalam merumuskan kebijakan pembangunan rendah karbon, melalui pendekatan *Benchmarking* tersebut Indonesia dapat memperoleh pembelajaran mengenai strategi pengendalian emisi karbon yang tetap mampu mendukung pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan pembangunan di masa depan.

5.2 Saran Penelitian

Saran penelitian adalah bagian akhir dari karya ilmiah yang berisi rekomendasi atau masukan yang bersifat aplikatif dan akademik berdasarkan hasil dan kesimpulan penelitian, baik kepada pembuat kebijakan, praktisi, maupun peneliti selanjutnya. Saran penelitian bertujuan untuk memberikan arah perbaikan, pengembangan kebijakan, serta peluang penelitian lanjutan agar temuan penelitian dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan. Saran dari penelitian ini antara lain:

1. Berdasarkan hasil penelitian, pemerintah Indonesia perlu mempercepat transisi energi melalui pengurangan ketergantungan terhadap energi fosil, khususnya batu bara, serta meningkatkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan secara lebih optimal dalam sistem energi nasional. Selain itu, peningkatan efisiensi energi pada sektor industri dan transportasi perlu diperkuat karena kedua sektor tersebut merupakan penyumbang utama konsumsi energi dan emisi karbon di Indonesia. Pemerintah juga perlu

mendorong transformasi ekonomi menuju sektor-sektor yang lebih rendah emisi seperti ekonomi digital, teknologi informasi, dan industri berbasis teknologi ramah lingkungan agar pertumbuhan ekonomi dan bonus demografi tidak diikuti oleh peningkatan emisi karbon yang tinggi. Dengan demikian, peningkatan jumlah penduduk usia produktif dan pertumbuhan ekonomi dapat diarahkan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan dan green economy.

2. Pemerintah Jepang perlu mempertahankan dan memperkuat kebijakan efisiensi energi, pengembangan energi terbarukan, serta inovasi teknologi rendah karbon yang selama ini telah berhasil mendukung penurunan emisi karbon nasional. Selain itu, Jepang perlu terus memperkuat kebijakan pembangunan rendah karbon, transportasi ramah lingkungan, dan pengembangan teknologi hijau agar proses decoupling antara pertumbuhan ekonomi dan emisi karbon dapat berlangsung secara berkelanjutan. Pengalaman Jepang dalam efisiensi energi, pengembangan energi terbarukan, dan transformasi ekonomi berbasis teknologi juga dapat menjadi referensi penting bagi Indonesia dalam mempercepat proses transisi energi dan pembangunan ekonomi rendah karbon.
3. Secara umum, kedua negara perlu memperkuat komitmen terhadap pencapaian target *Net Zero Emission* melalui pengembangan teknologi ramah lingkungan, peningkatan efisiensi energi, dan pengurangan penggunaan energi fosil secara bertahap. Selain itu, kerja sama internasional dalam bidang teknologi energi bersih, investasi hijau, dan inovasi lingkungan juga perlu ditingkatkan untuk mendukung pembangunan berkelanjutan dan pengendalian perubahan iklim global.

DAFTAR PUSTAKA

- Afesorgbor, S. K., & Demena, B. A. (2022). Trade Openness and Environmental Emissions: Evidence from a Meta-Analysis. *Environmental and Resource Economics*, 81(2), 287–321. <https://doi.org/10.1007/s10640-021-00627-0>
- Agarwal, R., & Tu, W. (2018). Minimally sufficient numbers of measurements for validation of 24-hour blood pressure monitoring in chronic kidney disease. *Kidney International*, 94(6), 1199–1204. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2018.08.021>
- Alcott, B. (2010). Impact caps: why population, affluence and technology strategies should be abandoned. *Journal of Cleaner Production*, 18(6), 552–560. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2009.08.001>
- Alhassan, A., Ozturk, I., AL-Zyoud, M. F., & Bekun, F. V. (2024). Coal consumption-environmental sustainability nexus in developed and developing major coal-consuming economies. *Heliyon*, 10(4), e25619. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2024.E25619>
- Ali, Muhammad Uzair, Gong, Z., Ali, Muhammad Ubaid, Wu, X., & Yao, C. (2021). Fossil energy consumption, economic development, inward FDI impact on CO₂ emissions in Pakistan: Testing EKC hypothesis through ARDL model. *International Journal of Finance and Economics*, 26(3), 3210–3221. <https://doi.org/10.1002/ijfe.1958>
- Ali, A., Wang, H., Ahmad, M., Khan, I. dan Khan, Z., 2021. Assessing and overcoming the renewable energy barriers for sustainable development in Pakistan. *Renewable Energy*, 175, pp.209–222. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.04.10>
- Ang, J. B. (2008). Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modeling*, 30(2), 271–278. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2007.04.010>
- Aurellia Amanda, A. (2023). 261-271, and Technological on Carbon Emissions in ASEAN. *Efficient: Indonesian Journal of Development Economics*, 6(3), 261–271. <https://doi.org/10.15294/3vypmm71>
- Aruga, K. (2024). Assessing the CO₂ emissions and energy source dynamics in Japan. *Sustainability*, 16(13), 5742. <https://doi.org/10.3390/su16135742> Profil Penduduk Indonesia 2022 – BPS

- Bekun, F. V., Emir, F., & Sarkodie, S. A. (2019). *Another look at the relationship between energy consumption, carbon dioxide emissions, and economic growth in South Africa*. *Science of The Total Environment*, 655, 759–765.
- Bilgili, F., Koçak, E., Bulut, Ü., & Kuşkaya, S. (2017). *Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development?* *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 830–845
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Analisis Profil Penduduk Indonesia 2022*. Jakarta: Badan Pusat Statistik. Diakses dari: BPS Analisis Profil Penduduk Indonesia 2022
- Bretschger, L. (2020). *Malthus in the light of climate change*. *European Economic Review*, 127, 103477. Badan Pusat Statistik. (2022). *Analisis Profil Penduduk Indonesia 2022*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Damak, O. I., & Güngör, H. (2023). Globalization and energy consumption's effect on Jepang's ecological imprint: Implications for environmental sustainability. *Sustainable Development*, 31(5), 3881–3895. <https://doi.org/10.1002/sd.2632>
- Delgado, F. J. (2025). Green tax: Adjusting taxation for a new balance environment-activity-collection. *Encyclopedia of Monetary Policy, Financial Markets and Banking*, 673–676. <https://doi.org/10.1016/B978-0-44-313776-1.00085-4>
- Destiarsono, M. E. (2025). Do Economic Growth and Urbanization Drive CO2 Emissions? Role of Renewable Energy and Energy Efficiency in Indonesia. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(2), 647–656. <https://doi.org/10.32479/ijee.18354>
- Dou, Y., Zhao, J., Malik, M. N., & Dong, K. (2021). Assessing the impact of trade openness on CO2 emissions: Evidence from China-Jepang-ROK FTA countries. *Journal of Environmental Management*, 296, 113241. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.113241>
- Gujarati, D. N. (2012). *Dasar-dasar Ekonometrika* (5th ed.). Salemba Empat, Jakarta.
- González-Torres, M., Rodríguez-Sánchez, J. L., & Pelechano-Barahona, E. (2021). Revisiting Kaya identity to define an emissions indicators framework. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128811. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128811>
- Hajiyev, N., Guliyev, V., Abdullayeva, S., & Abdullayeva, E. (2023). Energy intensity of the economy in the context of rethinking growth within a limited planet. *Energy Strategy Reviews*, 50, 101246. <https://doi.org/10.1016/J.ESR.2023.101246>

- Hong, S., Hui, E. C. M., & Lin, Y. (2022). Relationships between carbon emissions and urban population size and density, based on geo-urban scaling analysis: A multi-carbon source empirical study. *Urban Climate*, 46, 101337. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2022.101337>
- Jie, W., et al. (2024). Renewable energy and CO₂ emissions in developing and developed countries. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1405001>
- Jan-Erik Lane (2011), variabel PDB memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂ dan juga sejalan dengan temuan Muchammad Arief (2016),
- Kaya, Y., & Yokobori, K. (1997). Environment, energy, and economy: strategies for sustainability. United Nations University Press.
- Khusna, V. A., & Kusumawardani, D. (2021). Decomposition of carbon dioxide (CO₂) emissions in ASEAN based on Kaya identity. *Indonesian Journal of Energy*, 4(2), 115–128. <https://doi.org/10.33116/ije.v4i2.122>
- Jie, W., et al. (2024). Renewable energy and CO₂ emissions in developing and developed countries. *Frontiers in Environmental Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1405001>
- Judijanto, L., Ansori, T., & Nurhasanah, D. P. (2024). Pengaruh Kebijakan Energi Bersih dan Subsidi Energi Terbarukan terhadap Adopsi Teknologi Hijau dan Keefisienan Energi di Jawa Tengah. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 3(05), 624-638
- Krishnendu, J., & Patra, B. (2025). Environmental impacts of economic growth: A STIRPAT analysis using machine learning algorithms. *Sustainable Futures*, 9, 100404. <https://doi.org/10.1016/J.SFTR.2024.100404>
- Kukla-Gryz, A. (2009). Economic growth, international trade and air pollution: A decomposition analysis. *Ecological Economics*, 68(5), 1329–1339. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.005>
- Lismiyah, E., Marselina, M., Taher, A. R., Gunarto, T., & Aida, N. (2024). *The causality between energy consumption and carbon emission in Indonesia*. Jurnal Riset Ilmu Ekonomi, 4(1), 27–38. <https://doi.org/10.23969/jrie.v4i1.83>
- Lojanica, N., Pantović, D., Dimitrijević, M., Obradović, S., & Nancu, D. (2025). The Effects of Renewable Energy, Economic Growth, and Trade on CO₂ Emissions in the EU-15. *Energies*, 18(16). <https://doi.org/10.3390/en18164363>

- Mochizuki, J., & Chang, S. E. (2017). Disasters as opportunity for change: Tsunami recovery and energy transition in Jepang. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, 331–339. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.01.009>
- Mohsin, M., dkk. (2022). Assessing the dynamic linkage between economic growth, energy consumption, and ecological footprint: Evidence from advanced panel data. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(11), 16422-16435
- Nawaz, F., Kayani, U., ElRefae, G. A., Hasan, F., & Bazai, H. S. K. (2025). Economic growth and carbon emissions nexus: environmental sustainability a case of Jepang from East Asia. *Discover Sustainability*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00941-3>
- Nathaniel, S., & Khan, S. A. R. (2020). *The nexus between urbanization, renewable energy, trade, and ecological footprint in ASEAN countries*. Energy Reports.
- Nguyen, Q. K., Tran, D. L., Tran, X. H., Pham, N. T. N., & Nguyen, N. P. L. (2025). The complex relationship between carbon dioxide emissions, foreign direct investment, and economic growth in Asian countries. *Discover Sustainability*, 6(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01730-8>
- O'Neill, B. C., Dalton, M., Fuchs, R., Jiang, L., Pachauri, S., & Zigova, K. (2012). Global demographic trends and future carbon emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 109(43), 17521–17526. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112532109>
- Pata, U. K. (2018). Renewable energy consumption, urbanization, financial development, income and CO2 emissions in Turkey: Testing EKC hypothesis with structural breaks. *Journal of Cleaner Production*, 187, 770–779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.236>
- Perwithosuci, F., dkk. (2020). Analisis hubungan kausalitas antara konsumsi energi, PDB per kapita, dan emisi CO2 di negara-negara ASEAN. *Jurnal Ekonomi dan Pembangunan Indonesia*, 21(1), 78-92.
- Pickson, R. B., Gui, P., Jian, L., & Boateng, E. (2024). Do population-related factors matter for carbon emissions? Lessons from different income groups of countries. *Urban Climate*, 55, 101934. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2024.101934>
- Rafindadi, A. A., & Ozturk, I. (2016). Effects of financial development, economic growth and trade on electricity consumption: Evidence from post-Fukushima Jepang. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1073–1084. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.023>

- Raupach, M. R., Marland, G., Ciais, P., Le Quéré, C., Canadell, J. G., Klepper, G., & Field, C. B. (2007). Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(24), 10288-10293.
- Robalino-López, A., García-Ramos, J. E., Golpe, A. A., & Mena-Nieto, Á. (2014). System dynamics modelling and the environmental Kuznets curve in Ecuador (1980-2025). *Energy Policy*, 67, 923–931.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.12.003>
- Slathia, P., Vashishtha, A., Jena, P. K., & Sahu, P. K. (2024). Examining the dynamic impact of carbon emissions, renewable energy and economic growth on healthcare expenditure in Asian countries. *Heliyon*, 10(9).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30136>
- Stern, D. I. (2017). *The Environmental Kuznets Curve*. Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.401>
- Tabata, T., Wakabayashi, Y., Tsai, P., & Saeki, T. (2017). Environmental and economic evaluation of pre-disaster plans for disaster waste management: Case study of Minami-Ise, Jepang. *Waste Management*, 61, 386–396.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.020>
- Tao, M., Wen, L., Sheng, M. S., Yan, Z. J., & Poletti, S. (2024a). Dynamics between energy intensity and carbon emissions: What does the clustering effect of labor and capital play? *Journal of Cleaner Production*, 452, 142223.
<https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.142223>
- Wang, Q., & Zhang, F. (2021). The effects of trade openness on decoupling carbon emissions from economic growth – Evidence from 182 countries. *Journal of Cleaner Production*, 279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123838>
- Widarjono, A. (2018). *Ekonometrika Pengantar Dan Aplikasinya Disertai Panduan Eviews* (V). UPP STIM YKPN Yogyakarta.
- Wulandari, M. D. (2021). *Working Age Population and CO₂ Emissions in Indonesia*. Proceedings of The International Conference on Data Science and Official Statistics, 2021, 1–10. Diakses dari: Working Age Population and CO₂ Emissions in Indonesia
- Yudatama, D. S., & Fafurida, F. (2022). The Determinants of Carbon Dioxide Emissions in the five Asia Pacific Countries. *Efficient: Indonesian Journal of Development Economics*, 5(3), 242–253.
<https://doi.org/10.15294/efficient.v5i3.54738>

- Zhang, J. (2021). Environmental Kuznets Curve Hypothesis on CO2 Emissions: Evidence for China. *Journal of Risk and Financial Management*, 14(3).
<https://doi.org/10.3390/jrfm14030093>
- Zhong, H. Y., Zhang, S. H., Wang, C., An, K. X., & Chen, Y. D. (2025). Impact of demographic changes on carbon emissions under a carbon-neutral pathway. *Advances in Climate Change Research*, 16(6), 1286–1297.
<https://doi.org/10.1016/J.ACCRE.2025.09.004>
- Zulaicha, S., & Lestari, W. (2020). Analisis pengaruh PDB per kapita dan kepadatan penduduk terhadap tingkat emisi karbon di tingkat provinsi. *Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan*, 3(2), 143-156.