

**HETEROGENITAS DETERMINAN EMISI KARBON  
DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>) PER KAPITA: PENDEKATAN PANEL  
QUANTILE REGRESSION DI 50 NEGARA TAHUN 2000–2023**

**SKRIPSI**



**Disusun oleh :**

Nama : Keysha Oktavia Rhamadhani  
Nomor Mahasiswa : 143220080  
Program Studi : Ekonomi Pembangunan  
Jurusan : Ilmu Ekonomi

**FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"  
YOGYAKARTA**

**2026**

**HETEROGENITAS DETERMINAN EMISI KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>)  
PER KAPITA: PENDEKATAN PANEL QUANTILE REGRESSION DI 50  
NEGARA TAHUN 2000–2023**

**SKRIPSI**

Untuk Pemenuhan Tugas Akhir S1 pada Program Studi Ekonomi Pembangunan

Jurusan Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta



**Disusun oleh :**

Nama : Keysha Oktavia Rhamadhani  
Nomor Mahasiswa : 143220080  
Program Studi : Ekonomi Pembangunan  
Jurusan : Ilmu Ekonomi

**FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”  
YOGYAKARTA**

**2026**

**HETEROGENITAS DETERMINAN EMISI KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>)  
PER KAPITA: PENDEKATAN PANEL QUANTILE REGRESSION DI 50  
NEGARA TAHUN 2000–2023**

**SKRIPSI**

**Disusun oleh :**

Nama : Keysha Oktavia Rhamadhani  
Nomor Mahasiswa : 143220080  
Program Studi : Ekonomi Pembangunan  
Jurusan : Ilmu Ekonomi



Skripsi ini disetujui pada tanggal 14/1/2026

Oleh:

Dosen Pembimbing

**Drs. Purwiyanta, M.Si**

NIP. 196410261992031001

**HETEROGENITAS DETERMINAN EMISI KARBON DIOKSIDA (CO<sub>2</sub>)  
PER KAPITA: PENDEKATAN PANEL QUANTILE REGRESSION DI 50  
NEGARA TAHUN 2000–2023**

**SKRIPSI**

**Disusun oleh :**

Nama : Keysha Oktavia Rhamadhani  
Nomor Mahasiswa : 143220080  
Program Studi : Ekonomi Pembangunan  
Jurusan : Ilmu Ekonomi

Telah di pertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal..... *6 Februari 2026*

Ketua Sidang/Penguji I

Pembimbing/Penguji II

Dr. Jamzani Sodik, S.E., M.Si

Drs. Purwivanta, M.Si

NIP. 197102172021211003

NIP. 196410261992031001

Penguji III

Penguji IV

Dr. Ardito Bhinadi, S.E., M.Si

Dr. Sultan, S.E., M.Si

NIP. 197309212021211001

NIP. 197208072021211008

Diterima dan dinyatakan sah sebagai skripsi pada tanggal..... *18 Februari 2026*

Ketua Jurusan Ilmu Ekonomi



Dr. E. Diah Lutfi Wijayanti S.E, M.Si

NIP. 197203112021212004

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Keysha Oktavia Rhamadhani  
Nomor Mahasiswa : 143220080  
Program Studi : Ekonomi Pembangunan  
Jurusan : Ilmu Ekonomi  
Judul Skripsi : **Heterogenitas Determinan Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Per Kapita: Pendekatan Panel Quantile Regression di 50 Negara Tahun 2000-2023**

Menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan sebagai refrensi.

Pernyataan ini saya buat sebenar-benarnya dan apabila di kemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar, saya sanggup menerima hukuman dan sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 29 Desember 2025

Yang menyatakan,



Keysha Oktavia Rhamadhani

NIM: 143220080

## **MOTTO**

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(Qs. Al-Insyirah :5)

“Orang lain ga akan bisa paham *struggle* dan masa sulit nya kita yang mereka ingin tahu hanya bagian *success stories*. Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun gak ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita dimasa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini.”

“Selesaikan apa yang kamu mulai, lewati saja badainya jangan ubah tujuannya”

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri”

(Baskara Putra)

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji Syukur penulis hanturkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan Rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan penuh rasa syukur dan penghargaan, penulis mempersembahkan skripsi ini kepada semua pihak yang senantiasa memberikan dukungan, dorongan, serta kepercayaan, sehingga karya ini dapat terselesaikan dengan baik.

1. Kepada orang tua tercinta, Bapak Subarno dan Ibu Sukarni yang dengan kasih sayang, kesabaran, serta doa tiada henti dan telah mendidik dan membimbing penulis hingga mampu menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada adik, Andika Dwi yang selalu memberikan semangat dan dukungan moral dalam setiap langkah. Skripsi ini penulis persembahkan sebagai wujud penghormatan dan kebanggaan kepada Bapak, Ibu, serta adik tercinta. Semoga Bapak dan Ibu senantiasa diberi kesehatan dan umur panjang, serta adik selalu dalam lindungan-Nya.
2. Kepada dosen pembimbing terhormat, Bapak Drs. Purwiyanta, M.Si, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam atas kesabaran dalam membantu, membimbing, serta mengarahkan penulis, baik dalam aspek teknis penulisan, pengembangan ide penelitian, maupun pemahaman metodologi hingga skripsi selesai.
3. Kepada Harjunata Ramadhan, penulis menyampaikan rasa terima kasih atas doa, dukungan, dan semangat yang senantiasa diberikan sepanjang perjalanan perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini. Kehadiranmu telah menjadi sumber motivasi dalam menghadapi berbagai tantangan, sekaligus menghadirkan kebahagiaan yang membuat langkah penulis terasa lebih ringan. Persembahan ini ditujukan sebagai bentuk penghargaan atas kesabaran, dorongan moral, dan peranmu yang begitu berarti.
4. Kepada sahabat seperjuangan penulis selama masa perkuliahan, Lady Larasati dan Raul Ferdiyan. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada sahabat yang senantiasa hadir di setiap kesulitan, selalu memberikan dukungan, serta menghadirkan banyak kebahagiaan sepanjang masa perkuliahan.

5. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada keluarga besar RED 2024 dan 2025 khususnya departemen litbang tercinta. Kebersamaan, dukungan, serta pengalaman berharga yang diberikan selama berproses bersama telah menjadi sumber semangat sekaligus pelajaran penting bagi penulis. Kemudian, terima kasih kepada teman-teman DPM FEM 2023 dan 2024 khususnya biro adminkeu tergemas, yang telah menjadi ruang belajar dan tempat berkembang bagi penulis.
6. Untuk Keluarga Mahasiswa Ekonomi Pembangunan Angkatan 2022 khususnya kelas EP-C yaitu Yogi, Danes, Afni, Puput dan teman teman yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan dan momen indah yang tercipta selama perkuliahan.
7. Untuk sahabat-sahabat baikku yaitu Vidah, Aulia, Kirana, Moza, Siska, Nita, Devio, Nandita, Dera, Duwi, dan Nanda, Dewi, terima kasih atas kebersamaan serta kenangan indah yang telah kita lalui bersama. Semoga langkah kalian selalu diberkahi kesuksesan.
8. Untuk teman-teman KKN-AB-83-212 khususnya kepada Muti Ahnaf dan keluarga besar Dukuh Karangwetan 1 atas kebersamaan, kehangatan, dukungan dan momen berharga yang tercipta selama masa kkn hingga kini.
9. Terima kasih untuk diriku sendiri yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga setiap proses dan usaha yang telah dilalui menjadi bekal berharga untuk langkah ke depan.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, perlindungan, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Heterogenitas Determinan Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Per Kapita: Pendekatan Panel Quantile Regression di 50 Negara Tahun 2000–2023**”.

Proses penyusunan tugas akhir ini tentu tidak terlepas dari semangat, doa, dukungan, serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Kepada Bapak Drs. Purwiyanta, M.Si, selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran dalam membimbing, serta mengarahkan penulis selama proses penyusunan tugas akhir.
2. Kepada Agus Santosa, S.E., M.M selaku dosen wali, penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya karena telah mendampingi dan mengarahkan penulis selama masa perkuliahan.
3. Kepada seluruh dosen dan civitas akademika Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta, yang telah memberikan ilmu, tenaga, serta dukungan moral yang telah diberikan demi kelancaran studi penulis.
4. Kepada kedua orang tua, keluarga, sahabat, dan kerabat, penulis menyampaikan rasa syukur dan terima kasih yang mendalam atas segala jasa, cinta, doa, serta bantuan yang senantiasa mengiringi hingga tercapainya keberhasilan ini.

Yogyakarta, 29 Desember 2025



Keysha Oktavia Rhamadhani

## INTISARI

Peningkatan emisi CO<sub>2</sub> per kapita menjadi isu global yang erat kaitannya dengan dinamika pembangunan dan transformasi struktural di berbagai negara. Namun, pengaruh faktor-faktor tersebut tidak seragam karena perbedaan karakteristik pembangunan dan struktur ekonomi antarnegara. Penelitian ini menganalisis pengaruh PDB per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik, serta pandemi COVID-19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di 50 negara selama periode 2000-2023 dengan metode panel quantile regression, yang mampu menangkap heterogenitas pengaruh variabel pada berbagai tingkat distribusi emisi, tidak hanya pada nilai rata-rata. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PDB per kapita berpengaruh positif signifikan di semua kuantil, tetapi melemah pada negara beremisi tinggi. Urbanisasi signifikan positif pada kuantil rendah hingga menengah, namun pengaruhnya melemah dan tidak signifikan pada kuantil paling tinggi. Akses listrik konsisten berpengaruh positif signifikan dan dampaknya semakin besar pada negara beremisi tinggi. Sedangkan COVID-19 berpengaruh negatif signifikan atau menekan emisi di seluruh kuantil. Temuan ini menegaskan bahwa determinan emisi CO<sub>2</sub> bersifat heterogen sehingga kebijakan pengendalian juga perlu di sesuaikan dengan tingkat emisi dan tahapan pembangunan masing-masing negara.

**Kata Kunci:** emisi CO<sub>2</sub>, PDB per kapita, urbanisasi, akses listrik, pandemi COVID-19

## **ABSTRACT**

*The rise in per capita CO<sub>2</sub> emissions has become a pressing global issue, closely linked to broader development dynamics and structural transformations across nations. Yet, the influence of these drivers is far from uniform, as differences in economic structures and stages of development shape distinct outcomes. This study examines the role of GDP per capita, urbanization, electricity access, and the COVID-19 pandemic in influencing CO<sub>2</sub> emissions per capita across 50 countries during 2000–2023. Using a Panel Quantile Regression approach, the analysis captures heterogeneous effects across the distribution of emissions rather than focusing solely on average values. The findings reveal that GDP per capita exerts a positive and significant effect across all quantiles, though its impact weakens among high-emission countries. Urbanization shows a positive and significant influence at lower and middle quantiles, but becomes insignificant at the upper quantile. Electricity access consistently demonstrates a positive and significant effect, with stronger impacts in high-emission contexts. In contrast, COVID-19 is associated with a significant reduction in emissions across all quantiles. Overall, the results highlight the heterogeneous nature of CO<sub>2</sub> determinants, underscoring the need for emission control policies tailored to both emission levels and stages of national development.*

**Keywords:** *CO<sub>2</sub> emission, GDP per capita, urbanization, electricity access, COVID-19 pandemic*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>v</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>INTISARI.....</b>	<b>x</b>
<b><i>ABSTRACT</i> .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	8
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Keaslian Penelitian.....	9
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>14</b>
2.1 Landasan Teori .....	14
2.1.1 Teori Ekonomi Lingkungan .....	14
a. Teori Eksternalitas .....	14
2.1.2 Teori Pembangunan dan Lingkungan.....	17
a. Teori Environmental Kuznets Curve (EKC) .....	18
b. Teori Interaksi Urbanisasi Lingkungan.....	20
c. Kerangka Konseptual Integrated Urbanization-Carbon Framework.....	22
d. Model STIRPAT .....	25
2.1.3 Teori Energi dan Lingkungan.....	26

a. Teori Energi dan Emisi .....	26
2.2 Penelitian Terdahulu.....	28
2.3 Kerangka Pemikiran.....	30
2.4 Hipotesis Penelitian.....	33
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>34</b>
3.1 Jenis Penelitian.....	34
3.2 Data dan Sumber Data.....	35
3.3 Definisi Operasional Variabel .....	36
3.4 Alat Analisis .....	37
3.4.1 Panel Quantile Regression (PQR).....	37
3.4.2 Uji Diagnostik Dasar (Asumsi Klasik).....	40
3.4.3 Uji Hipotesis.....	41
<b>BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1 Deskripsi Data .....	44
4.2.1 Emisi Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) per kapita.....	44
4.2.2 Produk Domestik Bruto (PDB) Per Kapita .....	47
4.2.3 Tingkat Urbanisasi .....	49
4.2.4 Akses Listrik .....	51
4.2.5 Pandemi COVID-19 .....	54
4.2 Hasil Penelitian .....	55
4.2.1 Uji Asumsi Klasik .....	55
4.2.2 Estimasi Panel Quantile Regression (PQR) .....	55
4.3 Pembahasan.....	57
4.3.1 Pengaruh PDB Per Kapita terhadap Emisi CO <sub>2</sub> .....	59
4.3.2 Pengaruh Tingkat Urbanisasi terhadap Emisi CO <sub>2</sub> .....	63
4.3.3 Pengaruh Tingkat Akses Listrik terhadap Emisi CO <sub>2</sub> .....	67
4.3.4 Pengaruh Pandemi COVID-19 terhadap Emisi CO <sub>2</sub> .....	71
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>76</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>82</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>89</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Keaslian Penelitian.....	10
Tabel 3.1 Data dan Sumber Data.....	38
Tabel 3.2 Distribusi Kuantil Emisi Co <sub>2</sub> Per Kapita .....	47
Tabel 3.3 Hipotesis Panel Quantile Regression untuk Variabel lnPDB .....	47
Tabel 3.4 Hipotesis Panel Quantile Regression untuk Variabel Urbanisasi.....	47
Tabel 3.5 Hipotesis Panel Quantile Regression untuk Variabel Akses Listrik.....	47
Tabel 3.6 Hipotesis Panel Quantile Regression untuk Variabel COVID-19 .....	48
Tabel 4.1 Kategori Variabel Dummy COVID-19.....	54
Tabel 4.2 Hasil Uji Multikolinearitas .....	55
Tabel 4.3 Hasil Estimasi Panel Quantile Regression (PQR).....	56
Tabel 4.4 Rekap Hasil Estimasi Panel Quantile Regression (PQR).....	57
Tabel 4.5 Klasifikasi Negara Berdasarkan Kuantil Emisi CO <sub>2</sub> .....	58
Tabel 5.1 Kesimpulan dan Saran setiap Kuantil .....	83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tren Emisi CO <sub>2</sub> Karbon Global Tahun 2000-2023 .....	2
Gambar 1.2 Tren PDB Per Kapita Global Tahun 2000-2023.....	3
Gambar 1.3 Tren Persentase Urbanisasi Global Tahun 2000-2023 .....	4
Gambar 1.4 Tren Persentase Akses Listrik Global Tahun 2000-2023 .....	5
Gambar 2.1 Grafik Dampak Eksternalitas Negatif dan Optimum Sosial.....	17
Gambar 2.2 Kurva Kuznets Lingkungan (Environmental Kuznets Curve).....	20
Gambar 2.3 Kerangka Konseptual Urbanisasi dan Siklus Karbon .....	26
Gambar 2.4 Kerangka Pemikiran Konseptual.....	34
Gambar 4.1 Tren Rata -Rata Emisi CO <sub>2</sub> per kapita di 50 Negara Tahun 2000-2023 .....	51
Gambar 4.2 Distribusi Emisi CO <sub>2</sub> per Kapita di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023.....	52
Gambar 4.3 Tren Rata -Rata PDB per kapita di 50 Negara Tahun 2000-2023 ....	53
Gambar 4.4 Distribusi PDB per kapita di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023.....	54
Gambar 4.5 Tren Rata-rata Tingkat Urbanisasi di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023.....	56
Gambar 4.6 Distribusi Tingkat Urbanisasi di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023.....	57
Gambar 4.7 Tren Rata -Rata Persentase Akses Listrik di 50 Negara Tahun 2000–2023.....	58
Gambar 4.8 Distribusi Tingkat Akses Listrik di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023.....	59
Gambar 4.9 Distribusi Koefisien PDB per Kapita Tiap Kuantil.....	69
Gambar 4.10 Distribusi Koefisien Tingkat Urbanisasi Tiap Kuantil.....	73
Gambar 4.11 Distribusi Koefisien Tingkat Akses Listrik Tiap Kuantil .....	77
Gambar 4.12 Distribusi Koefisien Pandemi COVID-19 Tiap Kuantil.....	81

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 : Data Penelitian.....	86
Lampiran 2 : Hasil Uji Multikolinearitas .....	115
Lampiran 3 : Hasil Estimasi Panel Quantile Regression .....	116

# BAB 1

## PENDAHULUAN

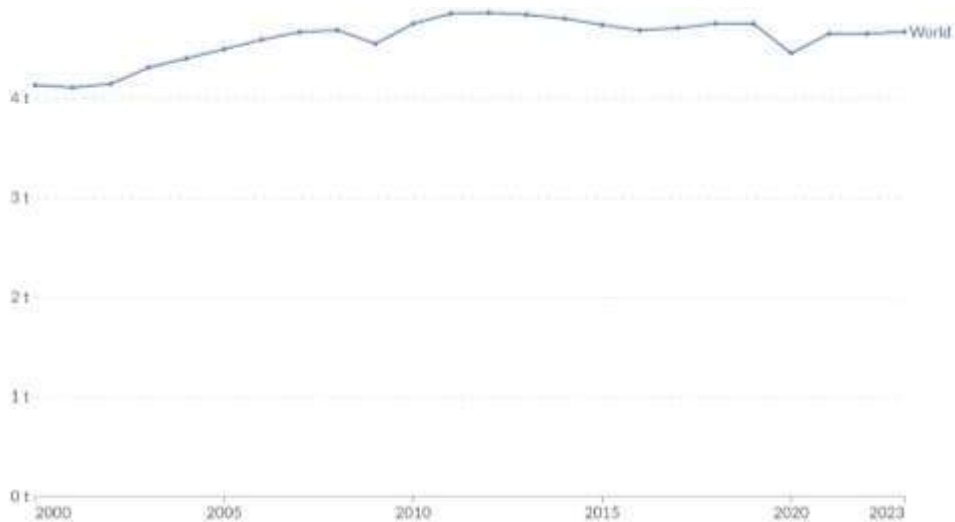
### 1.1 Latar Belakang

Isu perubahan iklim global kian menjadi perhatian dunia, ditandai dengan meningkatnya suhu rata-rata global yang terus melampaui ambang batas aman. Menurut laporan Bidang Klimatologi Badan Meteorologi & Geofisika Jakarta (2024) yang merujuk pada *World Meteorological Organization* (WMO) mencatat bahwa pada tahun 2024 suhu rata-rata permukaan bumi telah mencapai 1,55 °C lebih tinggi dibandingkan periode pra-industri. Fenomena ini tidak terlepas dari meningkatnya emisi gas rumah kaca, secara alami efek rumah kaca sebenarnya berperan menjaga keseimbangan suhu bumi dengan mencegah hilangnya panas secara berlebihan ke luar angkasa (BMKG, 2025a). Namun, peningkatan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) akibat aktivitas manusia telah memperkuat efek alami ini dan menyebabkan pemanasan global yang signifikan (WMO, 2025). Fenomena tersebut tidak hanya berdampak pada kenaikan suhu rata-rata global, tetapi juga memicu perubahan pola curah hujan, peningkatan frekuensi bencana *hidrometeorologi*, serta naiknya permukaan laut yang mengancam kelayakan hidup di berbagai wilayah. Pengendalian emisi CO<sub>2</sub> menjadi aspek krusial dalam mendukung tercapainya target *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya tujuan ke-13 tentang aksi terhadap perubahan iklim (Murniningtyas, 2018).

Enam gas rumah kaca utama yang berkontribusi adalah *karbon dioksida* (CO<sub>2</sub>), *metana* (CH<sub>4</sub>), *dinitrogen oksida* (N<sub>2</sub>O), *hidrofluorokarbon* (HFC), *perfluorokarbon* (PFC), dan *sulfur heksafluorida* (SF<sub>6</sub>), ditambah uap air dan *nitrogen trifluorida* (NF<sub>3</sub>) (BMKG, 2025b). Dari keseluruhan gas tersebut, CO<sub>2</sub> merupakan yang paling dominan, bukan karena sifat pemanasan yang paling kuat, melainkan karena volumenya yang sangat besar dan pengaruhnya terhadap *radiative forcing* atau ketidakseimbangan energi bumi. CO<sub>2</sub> bekerja dengan cara menyerap serta memantulkan kembali radiasi panas ke permukaan bumi. Lautan memang berperan besar sebagai penyerap alami CO<sub>2</sub>, tetapi

kapasitas penyerapan tersebut sangat bergantung pada kondisi suhu air laut yang kian meningkat sehingga kemampuan laut dalam menyerap emisi semakin berkurang.

Berdasarkan data World Bank (2024) menunjukkan bahwa emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) per kapita dunia terus mengalami tren peningkatan sepanjang periode 2000-2023. Kenaikan ini tidak terjadi secara mulus, melainkan diwarnai oleh beberapa fluktuasi yang erat kaitannya dengan kondisi ekonomi global.

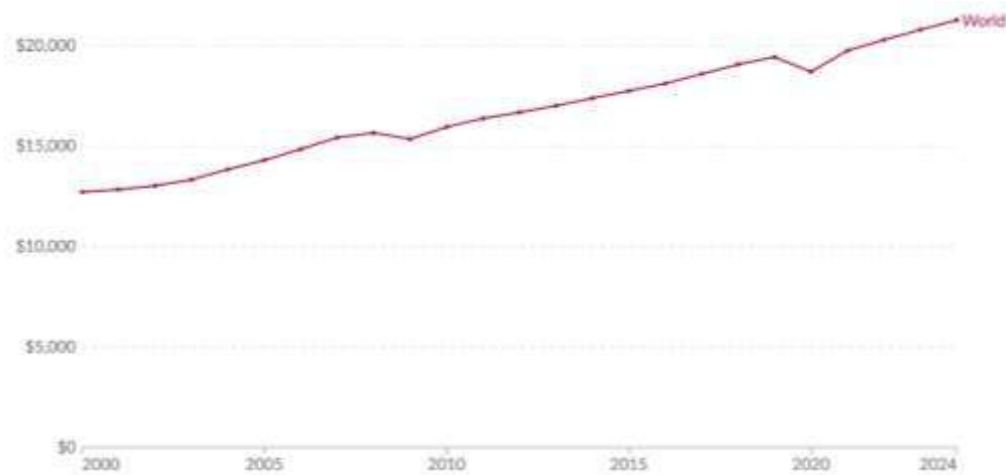


Sumber : Our World in Data, (2025)

**Gambar 1.1 Tren Emisi CO<sub>2</sub> Per Kapita Global Tahun 2000-2023**

Gambar 1.1 memperlihatkan dinamika emisi CO<sub>2</sub> per kapita dunia sepanjang 2000-2023. Tren jangka panjang menunjukkan adanya kenaikan, dari sekitar 4,1 ton per kapita pada tahun 2000 hingga berada di kisaran 4,6 ton per kapita pada 2023. Meski demikian, memasuki tahun 2009 hingga menjelang 2010 emisi CO<sub>2</sub> per kapita mengalami penurunan dari 4,7 ton menjadi 4,6 ton per kapita akibat krisis finansial global sebagai respon terhadap penurunan aktivitas ekonomi (Sadorsky, 2020). Penurunan yang lebih tajam terjadi pada tahun 2020 karena pandemi COVID-19 sebagai efek langsung dari pembatasan aktivitas ekonomi. Studi oleh Le Quéré et al. (2020) menunjukkan bahwa emisi harian global turun hingga sekitar 17% pada april 2020 dibandingkan rata-rata harian 2019.

Namun, pasca pandemi emisi CO<sub>2</sub> kembali meningkat pada tahun 2023 seiring dengan pemulihan ekonomi. Hal ini menegaskan bahwa upaya pengurangan emisi CO<sub>2</sub> masih menghadapi tantangan besar. Fakta ini sekaligus memperkuat urgensi penelitian mengenai faktor-faktor yang memengaruhi emisi CO<sub>2</sub> per kapita, sehingga dapat dirumuskan kebijakan yang lebih tepat sasaran untuk menekan laju kenaikan emisi CO<sub>2</sub> di masa mendatang.



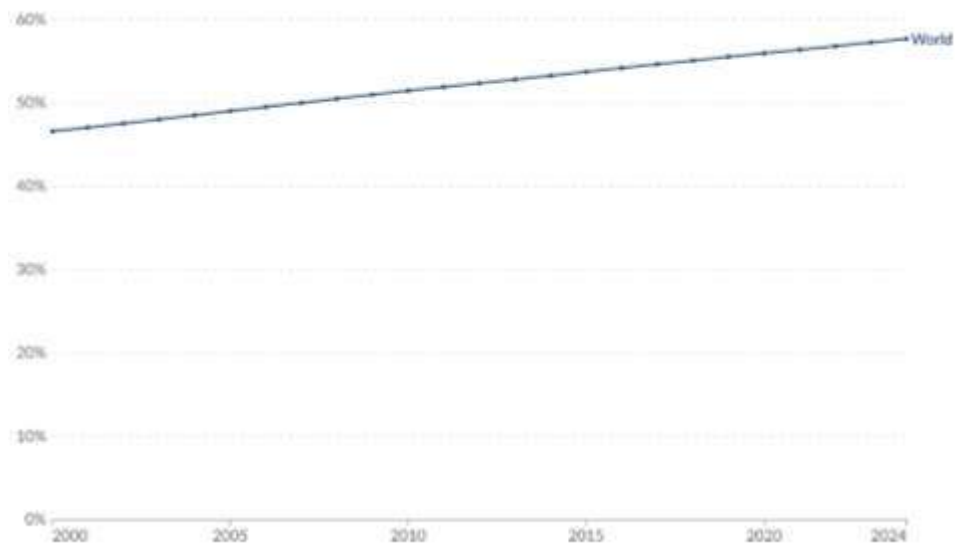
Sumber : Our World in Data, (2025a)

**Gambar 1.2 Tren PDB Per Kapita Global Tahun 2000-2023**

Berdasarkan Grafik 1.2 Tren PDB per kapita dunia, menunjukkan nilai yang meningkat sepanjang periode 2000-2023. Tren ini mencerminkan PDB per kapita ditopang oleh meluasnya aktivitas produksi, konsumsi, maupun perdagangan internasional. PDB per kapita sering kali dijadikan sebagai indikator dalam kesejahteraan suatu negara dan erat kaitannya dengan meningkatnya penggunaan energi dan produksi. Peningkatan PDB ini biasanya diikuti oleh ekspansi sektor manufaktur, konstruksi, serta peningkatan daya beli masyarakat, yang nantinya mendorong permintaan barang dan jasa yang membutuhkan energi dalam proses produksinya. Konsumsi barang tahan lama dan aktivitas ekonomi global turut memperbesar jejak karbon individu.

Menurut Alifah et al. (2025) PDB per kapita memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon di Indonesia dalam jangka panjang. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 % PDB per kapita dapat meningkatkan emisi karbon sebesar 0.04%. Studi lintas negara juga mendukung

temuan ini, dimana kenaikan 1 % PDB per kapita menaikkan emisi sebesar 0.61% sementara PDB kuadratik menurunkan emisi sebesar 0.03% (Espoir et al., 2023). Temuan ini mendukung hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC), yang menyatakan bahwa emisi cenderung meningkat pada tahap awal pertumbuhan ekonomi dan menurun setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu karena efisiensi energi dan inovasi teknologi yang lebih baik (Grossman & Krueger, 1995).

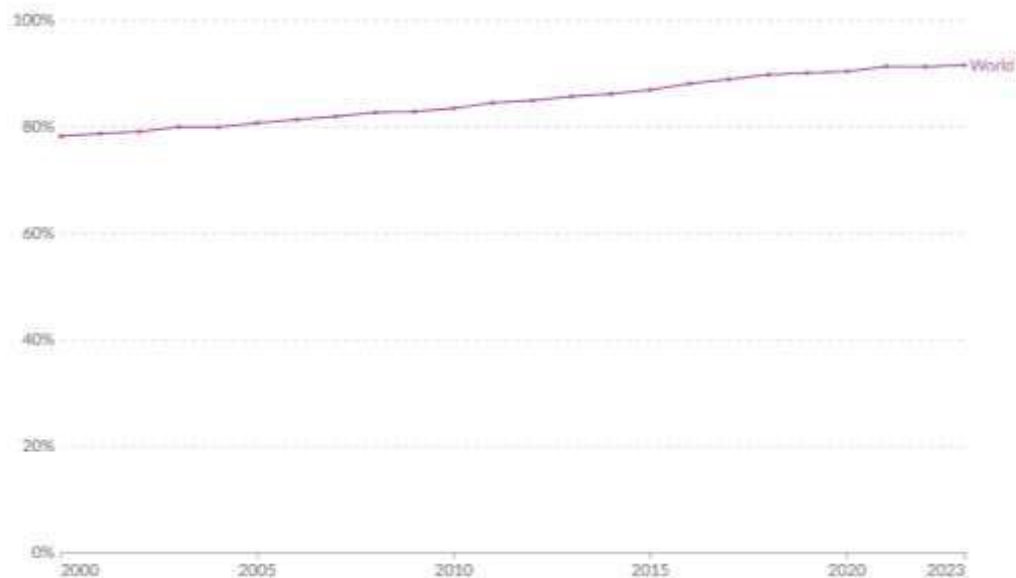


Sumber : Our World in Data, (2025c)

**Gambar 1.3 Tren Persentase Urbanisasi Global Tahun 2000-2023**

Berdasarkan gambar 1.3 memperlihatkan adanya peningkatan proporsi penduduk dunia yang tinggal di kawasan perkotaan sepanjang periode 2000-2024. Tingkat urbanisasi global terlihat naik dari yang awalnya 46% pada awal dekade 2000 menjadi mendekati 58% pada tahun 2024. Perubahan ini menandakan terjadinya pergeseran struktural besar dari masyarakat pedesaan menuju masyarakat perkotaan. Meningkatnya urbanisasi mencerminkan terkonsentrasinya aktivitas ekonomi, industri, dan jasa di wilayah kota. Peran kota sebagai pusat pertumbuhan melalui pembangunan infrastruktur, ekspansi manufaktur, transportasi, serta konsumsi energi yang semakin meningkat terutama energi fosil yang kemudian berpotensi mendorong kenaikan emisi CO<sub>2</sub> per kapita.

Fenomena ini menimbulkan pertanyaan penting mengenai sejauh mana perubahan struktural kependudukan memengaruhi emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Penelitian Poumanyvong & Kaneko (2010) menunjukkan bahwa urbanisasi meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita di sebagian besar negara, terutama di kelompok pendapatan menengah. Sementara itu Ma & Ogata (2024) menemukan bahwa di negara non- OECD, urbanisasi justru menurunkan emisi, menandakan bahwa dampaknya bergantung pada tingkat pembangunan dan kebijakan energi.



Sumber : Our World in Data, (2025d)

**Gambar 1.4 Tren Persentase Akses Listrik Global Tahun 2000-2023**

Grafik 1.4 menunjukkan bahwa akses listrik global mengalami peningkatan konsisten sepanjang 2000–2023. Pada awal dekade 2000, cakupan listrik dunia masih di bawah 80 %, mencerminkan keterbatasan infrastruktur energi di banyak negara berkembang. Berbagai program elektrifikasi nasional maupun internasional kemudian mendorong perluasan akses secara signifikan, hingga pada 2023 lebih dari 90 % penduduk dunia telah terhubung dengan jaringan listrik. Akses terhadap listrik (*access to electricity*) menjadi salah satu indikator krusial dalam pembangunan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Tingkat akses penduduk terhadap listrik yang semakin tinggi mendorong peluang pertumbuhan aktivitas ekonomi, industrialisasi, dan

konsumsi energi, yang nantinya akan berdampak pada peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dan seringkali memiliki efek ganda.

Menurut World Bank (2023) ekspansi akses listrik khususnya pada negara berkembang sering diiringi dengan peningkatan penggunaan energi fosil, terutama pada sektor rumah tangga dan industri kecil sebelum terjadi peralihan ke energi terbarukan. Hal tersebut memperlihatkan bahwa meskipun elektrifikasi menandakan kemajuan, tanpa dukungan energi bersih, peningkatan dalam akses listrik justru dapat memperburuk jejak karbon (Bilgili et al., 2022). Di sisi lain, peningkatan akses terhadap penggunaan listrik justru dapat berpengaruh negatif terhadap pertumbuhan emisi CO<sub>2</sub> per kapita, terutama ketika proporsi pembangkit listrik berbasis energi bersih semakin besar (Lin & Li, 2020). Maknanya, perluasan akses listrik tidak selalu identik dengan peningkatan emisi CO<sub>2</sub>, terutama pada negara yang telah menjalankan transisi energi menuju sumber yang lebih efisien dan rendah karbon.

Pandemi COVID-19 memberikan dampak signifikan terhadap dinamika ekonomi dan lingkungan global. Pembatasan mobilitas dan penurunan aktivitas industri pada tahun 2020 menyebabkan emisi CO<sub>2</sub> global turun sekitar 5.8% (International Energy Agency, 2021). Meskipun penurunan ini hanya bersifat sementara dan kembali meningkat seiring pemulihan ekonomi global, pandemi menunjukkan bahwa faktor non-ekonomi sekalipun dapat memengaruhi emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan (Davis et al., 2022).

Analisis pengaruh antara faktor ekonomi, sosial dan lingkungan terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita masih memerlukan pendekatan yang mampu menangkap keragaman antarnegara. Penelitian oleh Ibrahim & Simian (2023) menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi, dimana penelitian ini menegaskan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi dan konsentrasi penduduk di wilayah perkotaan berkontribusi pada kenaikan emisi CO<sub>2</sub>. Selain itu (Bennedsen et al., 2025) menemukan bahwa emisi CO<sub>2</sub> antropogenik merupakan faktor utama yang menggerakkan dinamika sistem karbon global yang menunjukkan bahwa peran manusia menjadi pendorong dominan dalam siklus karbon dunia. Tidak hanya itu, emisi CO<sub>2</sub>

seringkali disertai dengan polutan lain seperti sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dan nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) yang dapat memperburuk kualitas udara sehingga menyebabkan risiko kesehatan seperti pernapasan dan penyakit kardiovaskular. Setiap negara memiliki karakteristik yang berbeda dalam tingkat pembangunan dan pola konsumsi energi, sehingga faktor pendorong emisi  $\text{CO}_2$  pun tidak selalu seragam. Oleh karena itu, penggunaan pendekatan *Panel Quantile Regression* (PQR) menjadi relevan untuk mengidentifikasi pengaruh yang bersifat asimetris di berbagai tingkat distribusi emisi  $\text{CO}_2$  per kapita.

Penelitian ini berfokus pada 50 negara dengan tingkat emisi  $\text{CO}_2$  tertinggi selama periode 2000-2023, yang dipilih karena kontribusinya yang signifikan terhadap total emisi global serta perbedaan karakter ekonomi dan demografinya. Dengan mengkaji pengaruh PDB per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik, dan pandemi COVID-19 terhadap emisi  $\text{CO}_2$  per kapita melalui pendekatan *Panel Quantile Regression*, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai determinan emisi  $\text{CO}_2$ . Hasilnya diharapkan menjadi dasar bagi perumusan kebijakan mitigasi perubahan iklim yang lebih adaptif dan kontekstual, sejalan dengan tujuan ke 13 *Sustainable Development Goals* (SDGs), yaitu penanganan perubahan iklim.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Perubahan iklim global yang dipicu oleh meningkatnya emisi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) masih menjadi isu lingkungan paling krusial di dunia yang berkaitan erat dengan aktivitas ekonomi, urbanisasi, dan dinamika ketenagakerjaan. Peningkatan PDB per kapita serta pertumbuhan penduduk perkotaan mendorong konsumsi energi dan industrialisasi yang berpotensi meningkatkan emisi  $\text{CO}_2$  per kapita, sementara pandemi COVID-19 sempat menekan emisi secara global. Pengaruh antar faktor ekonomi dan sosial terhadap emisi  $\text{CO}_2$  per kapita tidak selalu seragam di setiap negara. Berdasarkan hal yang sudah diuraikan tersebut, dapat ditarik permasalahan dalam yaitu :

- a. Bagaimana pengaruh PDB per kapita terhadap emisi  $\text{CO}_2$  per kapita di 50 negara pada berbagai tingkat distribusi emisi selama periode 2000-2023?

- b. Bagaimana pengaruh tingkat urbanisasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di 50 negara pada berbagai tingkat distribusi emisi selama periode 2000-2023?
- c. Bagaimana pengaruh akses listrik terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di 50 negara pada berbagai tingkat distribusi emisi selama periode 2000-2023?
- d. Bagaimana pengaruh COVID-19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di 50 negara pada berbagai tingkat distribusi emisi selama periode 2000-2023?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan permasalahan penelitian yang telah diuraikan, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

- a. Menganalisis pengaruh PDB per kapita terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi di 50 negara selama periode 2000–2023.
- b. Menganalisis pengaruh tingkat urbanisasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi di 50 negara selama periode 2000–2023.
- c. Menganalisis pengaruh akses listrik terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi di 50 negara selama periode 2000–2023.
- d. Menganalisis pengaruh COVID-19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi di 50 negara selama periode 2000–2023.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

- a. Manfaat Akademik

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur dan teori terkait hubungan antara aktivitas ekonomi, globalisasi, dan lingkungan melalui emisi CO<sub>2</sub>. Penelitian ini diharapkan mendorong diskusi akademis lebih lanjut mengenai peran GDP per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik dan pandemi COVID-19 terhadap kualitas lingkungan. Dengan begitu, penelitian ini diharapkan memperkaya sudut pandang akademisi dalam

melihat bagaimana *trade-off* antara pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan dapat dikelola secara efektif.

b. Manfaat Teoritis

Secara akademis, penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan kajian di bidang ekonomi lingkungan dan ekonomi pembangunan internasional. Penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi mahasiswa, akademisi, dan peneliti yang tertarik melakukan studi serupa di masa depan, khususnya yang berkaitan dengan analisis lintas negara (*cross-country analysis*) dalam mengkaji hubungan ekonomi dan lingkungan.

c. Manfaat Praktis

Dari sisi praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan masukan bagi pemerintah Indonesia dan negara berkembang lainnya dalam merumuskan kebijakan yang mendorong pertumbuhan ekonomi sekaligus mengurangi tekanan terhadap lingkungan. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat membantu pembuat kebijakan memahami pola hubungan antara GDP per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik dan pandemi COVID-19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Dengan demikian, kebijakan pembangunan yang berwawasan lingkungan (*green economy*) dapat lebih efektif diterapkan.

### **1.5 Keaslian Penelitian**

Penelitian ini merujuk pada sejumlah penelitian terdahulu sebagai dasar perbandingan dan pengembangan penelitian. Hasil dari penelitian sebelumnya dijadikan acuan untuk melihat perbedaan maupun kesamaan dalam hal periode waktu, lokasi penelitian, variabel yang digunakan, serta metode analisis yang diterapkan. Adapun beberapa penelitian relevan yang menjadi landasan penelitian ini dirangkum dalam tabel berikut.

**Tabel 1.1**  
**Keaslian Penelitian**

No	Peneliti	Sampel	Variabel dan Alat Analisis	Hasil Analisis
1	Oprea, S.-V., Bâra, A., & Georgescu, I. A. (2025)	Islandia (1990–2023)	Variabel Y : emisi CO <sub>2</sub>  Variabel X : PDB per kapita , konsumsi energi terbarukan (RENC), urbanisasi, FDI.  Metode: <i>ARDL Bounds Testing</i>	1. PDB per kapita, konsumsi energi terbarukan, dan urbanisasi berpengaruh signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> . 2. FDI tidak berpengaruh signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> .
2	Mahajan , M., & Sah, A. N. (2025)	India (1980–2019) and China (1990–2019)	Variabel Y: emisi CO <sub>2</sub>  Variabel X : PDB, harga minyak mentah WTI, inflasi.  Metode: <i>Structural Vector Autoregression</i>	1. GDP berpengaruh positif terhadap emisi CO <sub>2</sub> 2. Inflasi tidak langsung berpengaruh terhadap emisi CO <sub>2</sub> secara signifikan
3	Wang, Q., & Li, L. (2021)	154 Negara, Tahun 1992-2016	Variabel Y : emisi CO <sub>2</sub>  Variabel X: populasi usia tua, harapan hidup, akses listrik, jumlah penduduk, urbanisasi  Alat Analisis : <i>GMM</i>	1. Urbanisasi, akses listrik, populasi usia tua, harapan hidup dan kepadatan penduduk berpengaruh signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> .

..Berlanjut ke halaman 11

Lanjutan Tabel 1.1 Keaslian Penelitian

No	Peneliti	Sampel	Variabel dan Alat Analisis	Hasil Analisis
4	Majed Alharthi, Eyup Dogan, & Dilvin Taskin (2021)	15 Negara MENA (1990–2015)	Variabel Y: emisi CO <sub>2</sub> per kapita  Variabel X: PDB, PDB <sup>2</sup> , konsumsi energi terbarukan (REN), konsumsi energi tidak terbarukan (NREN), urbanisasi (URB).  Metode: <i>Panel Quantile Regression</i> (Powell, 2016) & OLS	1. Konsumsi energi terbarukan berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> , pada negara dengan emisi tinggi. 2. Konsumsi energi tidak terbarukan berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> . 3. Urbanisasi meningkatkan emisi CO <sub>2</sub> , pada negara dengan emisi rendah.
5	Atik Rahmawati & Mulyo Hendarto Robertus (2023)	Indonesia (1983–2019)	Variabel Y: emisi CO <sub>2</sub> (per kapita).  Variabel X: konsumsi listrik, pertumbuhan ekonomi, industrialisasi, keterbukaan perdagangan.  Metode: Error Correction Model – Engle Granger (ECM-EG) dan Uji Kointegrasi.	1. Jangka Panjang: konsumsi listrik dan industrialisasi berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> , keterbukaan perdagangan berpengaruh negatif 2. Jangka Pendek: pertumbuhan ekonomi berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> .

..Berlanjut ke halaman 12

Lanjutan Tabel 1.1 Keaslian Penelitian

No	Peneliti	Sampel	Variabel dan Alat Analisis	Hasil Analisis
6	Jiang, S., Lin, X., Qi, L., Zhang, Y., & Sharp, B. (2022)	China (sebelum dan sesudah pandemi)	Variabel Y: emisi CO <sub>2</sub> , Variabel X : pandemi COVID- 19, kebijakan pemulihan ekonomi (pemangkasan <i>loan prime rate</i> (LPR), pengurangan PPN (VAT)) Metode: <i>Computable General Equilibrium</i> (CGE)	COVID-19 berpengaruh negative signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> .
7	Sikarwar, V. S., Reichert, A., Jeremias, M., Manovic, V. (2021)	AS, EU- 28, China, India, dan estimasi global / Januari– April 2020	Variabel Y: CO <sub>2</sub> Emissions  Variabel X : COVID-19 ( <i>lockdown</i> ); aktivitas transportasi, industri, produk listrik batu bara dan PDB  Metode: berbasis output ekonomi dan aktivitas industri, extrapolasi global	Pandemi berpengaruh negatif signifikan dan menurunkan emisi CO <sub>2</sub> sebesar 14,3 % dengan kontribusi terbesar dari sektor transportasi namun penurunannya bersifat sementara.
8	Ram L. Ray, Vijay P. Singh, Sudhir K. Singh, Bharat S. Acharya, Yiping He (2021)	184 negara, tahun 2020 dibanding 2019	Variabel Y : Emisi Co <sub>2</sub>  Variabel X: COVID-19, lockdown  Alat Analisis: Data satelit SMAP Level 4 (SMAP LC4)	COVID-19 berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> global.

Sumber : Jurnal Acuan

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada objek kajian, periode analisis, serta kombinasi variabel yang digunakan. Penelitian ini berfokus pada 50 negara di dunia selama periode 2000–2023. Alat analisis yang digunakan adalah *Panel Quantile Regression*, yang memungkinkan pengujian pengaruh variabel independen terhadap emisi karbon per kapita secara lebih mendalam di berbagai tingkat distribusi emisi. Variabel dependen yang digunakan adalah emisi CO<sub>2</sub> per kapita, sedangkan variabel independen terdiri dari GDP per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik, dan variabel dummy pandemi COVID-19. Pendekatan ini memberikan kontribusi baru dengan menyoroti pengaruh yang bersifat asimetris antarnegara, yang belum banyak dikaji dalam penelitian sebelumnya.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Landasan Teori**

Isu lingkungan dan pembangunan saat ini menjadi sorotan utama dalam kajian ekonomi, khususnya emisi CO<sub>2</sub> per kapita dijadikan sebagai indikator penting untuk menilai tekanan terhadap lingkungan. Berbagai perubahan, mulai dari aktivitas ekonomi, pertumbuhan jumlah penduduk, urbanisasi, hingga penggunaan energi, memiliki keterkaitan erat dengan dinamika lingkungan (Dharmapriya et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini membutuhkan dasar teori yang mampu menjelaskan hubungan antara aspek sosial-ekonomi dengan perubahan kondisi lingkungan.

##### **2.1.1 Teori Ekonomi Lingkungan**

Teori Ekonomi lingkungan membahas keterkaitan antara kegiatan ekonomi dengan keberlanjutan ekosistem. Dalam kerangka ini, lingkungan dipahami bukan hanya sebagai penyedia sumber daya alam, tetapi juga sebagai tempat pembuangan limbah dari aktivitas produksi maupun konsumsi. Ketidakseimbangan dalam pemanfaatannya dapat memicu persoalan serius, seperti pencemaran dan meningkatnya emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Salah satu konsep penting dalam ekonomi lingkungan adalah eksternalitas (Rafif et al., 2024).

##### **a. Teori Eksternalitas**

Teori eksternalitas yang diperkenalkan oleh Pigou, (1920) menjadi landasan penting untuk memahami hubungan antara aktivitas ekonomi dan kerusakan lingkungan. Pigou menekankan bahwa peningkatan kesejahteraan ekonomi tidak selalu identik dengan peningkatan kesejahteraan sosial, terutama jika dalam proses produksi dan konsumsi terdapat biaya sosial yang tidak di perhitungkan oleh pelaku ekonomi. Pigou membedakan antara *marginal private net product* dan *marginal social net product*. Dalam kondisi pasar yang ideal, keputusan ekonomi individu seharusnya menghasilkan output yang optimal bagi masyarakat. Namun, ketika aktivitas ekonomi menimbulkan dampak lingkungan seperti polusi udara, manfaat yang di peroleh pelaku ekonomi lebih besar

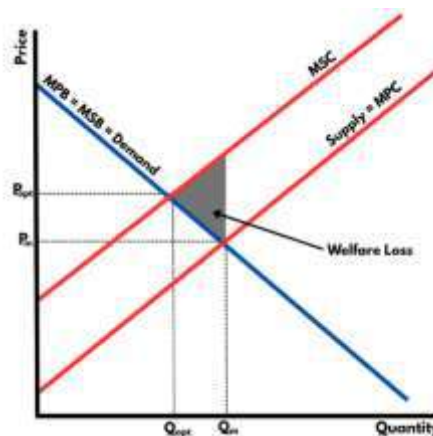
daripada beban yang ditanggung masyarakat. Situasi ini melahirkan eksternalitas negatif dan berujung pada kegagalan pasar.

Emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) menjadi contoh nyata dari eksternalitas negatif yang merupakan salah satu komponen utama dalam bagian gas rumah kaca dan secara alami terdapat di atmosfer bumi yang memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan suhu di bumi. Gas rumah kaca berfungsi menahan sebagian panas matahari agar tidak terpantul seluruhnya ke luar angkasa, sehingga suhu bumi tetap hangat dan kehidupan tetap berjalan. Gas ini dihasilkan dari berbagai proses alam seperti respirasi makhluk hidup, pembusukan bahan organik, serta aktivitas vulkanik. Tanpa adanya gas rumah kaca, bumi ini menjadi terlalu dingin dan tidak dapat dihuni oleh makhluk hidup. Namun, ketika konsentrasinya meningkat secara berlebihan, kemampuan gas ini untuk memerangkap panas justru menyebabkan pemanasan global yang berdampak pada perubahan iklim (NASA, 2025). Sejak revolusi industri, konsentrasi CO<sub>2</sub> meningkat tajam akibat aktivitas manusia, terutama dari pembakaran bahan bakar fosil, penggunaan energi listrik, dan deforestasi (Smirnova et al., 2018).

Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) berbentuk gas bening yang tersusun atas satu atom karbon dan dua atom oksigen. Gas ini bersifat kostan (stabil), tidak mudah terbakar, serta tidak beracun saat suhu dan tekanan normal. Dalam atmosfer, kadar CO<sub>2</sub> relative kecil, sekitar 0.04 % dari total volume udara. Meskipun demikian, perannya sangat penting bagi keberlangsungan bumi ini. Manusia menghirup udara yang mengandung CO<sub>2</sub> dalam jumlah yang kecil kemudian mengeluarkan kembali sebagai hasil metabolisme tubuh. Sementara itu, tumbuhan juga memanfaatkan gas ini dalam proses fotosintesis untuk kembali menghasilkan oksigen dan energi (NETL, 2025).

Menurut Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM (2018) dalam buku Pedoman Perhitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Bidang Energi, CO<sub>2</sub> merupakan hasil sampingan dari proses pembakaran senyawa hidrokarbon yang mengandung karbon. Emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dapat didefinisikan sebagai jumlah gas CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke atmosfer dari

aktivitas manusia maupun sumber alami. Indikator ini sering digunakan untuk mengukur sejauh mana suatu negara atau wilayah memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim global. Emisi CO<sub>2</sub> yang muncul dari aktivitas ekonomi global seperti peningkatan PDB per kapita, urbanisasi, dan konsumsi listrik merupakan contoh nyata dari eksternalitas negatif. Dampak ini menimbulkan biaya sosial berupa pencemaran udara, gangguan kesehatan, dan kerusakan iklim, yang tidak sepenuhnya tercermin dalam harga pasar. Karena pelaku ekonomi tidak menanggung seluruh konsekuensi lingkungan dari aktivitasnya, maka terjadi eksploitasi berlebihan terhadap daya dukung atmosfer. Jika kerugian tersebut dikompensasi, maka eksternalitas dianggap telah diinternalisasi. Dengan kata lain eksternalitas negatif adalah dampak kerugian yang tidak dihargai secara ekonomi dan tidak ditanggung oleh pihak yang menimbulkannya (Sundqvist, 2004 dikutip dalam Bhattacharyya, 2012).



Sumber : (Ibonomics, 2025)

**Gambar 2. 1 Grafik Dampak Eksternalitas Negatif dan Optimum Sosial**

Grafik 2.1 memperlihatkan mekanisme terjadinya eksternalitas negatif dalam aktivitas produksi. Kurva *supply* (MPC) mencerminkan biaya privat yang ditanggung langsung oleh pelaku usaha, tanpa memasukkan dampak lingkungan ke dalam perhitungan. Di sisi lain, kurva *social cost* (MSC), yang mencakup biaya privat dan eksternal, berada di atas kurva penawaran karena memperhitungkan kerugian yang ditimbulkan terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat akibat emisi CO<sub>2</sub> dan kurva *demand* (MSB). Selisih antara kedua kurva tersebut disebut biaya eksternal, yaitu beban yang harus

ditanggung oleh masyarakat luas. Titik  $Q_{OPTIMUM}$  menunjukkan tingkat produksi yang secara sosial dianggap efisien, yaitu ketika seluruh biaya eksternal telah diinternalisasi.

Untuk mengatasi hal ini, salah satu pendekatan yang digunakan adalah pengenaan pajak lingkungan dengan cara pemerintah dapat mengenakan pajak karbon kepada produsen yang menghasilkan emisi  $CO_2$ . Pajak ini akan menaikkan biaya produksi dan menggeser kurva penawaran mendekati kurva biaya sosial. Dengan begitu, pelaku pasar akan mempertimbangkan dampak lingkungan dalam keputusan produksinya dan konsumen juga akan merespon melalui pengurangan konsumsi.

Eksternalitas terjadi ketika biaya sosial marginal (MSC)  $\neq$  biaya privat marginal (MPC):

$$MSC = MPC + MEC \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

MSC = *marginal social cost*

MPC = *marginal private cost*

MEC = *marginal external cost* (biaya emisi, kerusakan iklim, dll.)

Dalam konteks penelitian ini, emisi karbon dioksida dipahami sebagai wujud nyata eksternalitas negatif dari aktivitas ekonomi. Produsen maupun konsumen memang memperoleh keuntungan langsung dari penggunaan energi, tetapi beban sosial berupa pencemaran udara, perubahan iklim, dan gangguan kesehatan tidak sepenuhnya mereka tanggung (Dharmapriya et al., 2025). Oleh sebab itu, teori Pigou dijadikan pijakan utama untuk menjelaskan bahwa emisi  $CO_2$  merupakan bentuk kegagalan pasar yang menuntut adanya intervensi kebijakan, seperti penerapan pajak karbon atau regulasi lingkungan, agar biaya sosial tersebut dapat diinternalisasi ke dalam keputusan ekonomi (Pigou, 1920).

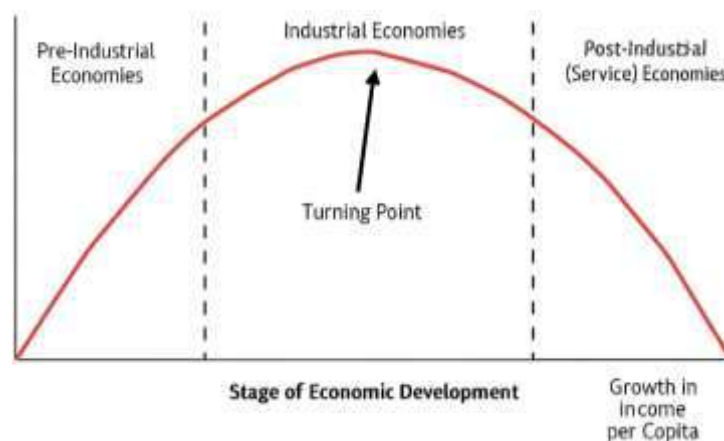
### 2.1.2 Teori Pembangunan dan Lingkungan

Hubungan antara pembangunan ekonomi dan tekanan lingkungan merupakan hal yang perlu diperhatikan (Lapinskienė, 2025). Hubungan tersebut dijelaskan melalui kerangka teoritis, melalui *Environmental Kuznets Curve* (EKC), teori interaksi urbanisasi-lingkungan, serta kerangka *integrated*

*urbanization-carbon framework*. Penelitian ini juga menggunakan model STIRPAT yang menjelaskan pengaruh faktor-faktor sosial ekonomi terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Keseluruhan teori dan model tersebut menjadi dasar dalam memahami kontribusi pembangunan, urbanisasi dan variabel sosial ekonomi terhadap dinamika emisi.

#### a. Teori Environmental Kuznets Curve (EKC)

Konsep *Environmental Kuznets Curve* (EKC) atau sering disebut Kurva Kuznets Lingkungan, sebagaimana yang dijelaskan oleh Todaro & Smith (2014). Teori ini menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, peningkatan pendapatan per kapita cenderung mendorong meningkatnya emisi dan kerusakan lingkungan. Hal tersebut muncul sebagai konsekuensi dari proses industrialisasi dan meningkatnya konsumsi energi fosil yang digunakan untuk mendorong pertumbuhan ekonomi. Namun, seiring waktu ketika pendapatan masyarakat meningkat, kesejahteraan membaik, dan kesadaran terhadap isu lingkungan semakin tinggi, arah hubungan ini mulai berubah. Pada titik tertentu yang sering disebut sebagai *turning point*, kenaikan pendapatan justru dapat berkontribusi pada penurunan emisi CO<sub>2</sub>. Hal ini terjadi karena masyarakat mulai mengadopsi teknologi yang lebih bersih dan mendukung kebijakan lingkungan yang lebih ketat.



Sumber : Mankiw (2023)

**Gambar 2.2 Kurva Kuznets Lingkungan (Environmental Kuznets Curve)**

Pandangan ini sejalan dengan penelitian Grossman dan Krueger (1991) yang pertama kali mengemukakan konsep EKC, yang menunjukkan bahwa hubungan antara pendapatan dan kualitas lingkungan cenderung berbentuk kurva-U terbalik. Penelitian ini menunjukkan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, peningkatan aktivitas produksi dan konsumsi menyebabkan emisi meningkat. Namun, seiring dengan meningkatnya pendapatan per kapita, masyarakat cenderung menuntut lingkungan yang lebih sehat sehingga mendorong penggunaan teknologi yang lebih bersih serta penerapan regulasi lingkungan yang lebih ketat.

Pandangan tersebut kemudian dikembangkan lagi lebih lanjut oleh (Stern, 2004) yang mengkaji berbagai studi empiris terkait EKC. Stern menjelaskan bahwa pola hubungan U terbalik antara pendapatan dan kualitas lingkungan tidak selalu berlaku untuk seluruh jenis polutan. Untuk polutan lokal seperti *sulfur dioksida* (SO<sub>2</sub>) dan partikel udara, memang menunjukkan adanya titik balik (*turning point*) pada tingkat pendapatan tertentu. Namun, untuk polutan global seperti karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hubungan tersebut lebih bersifat monotonik meningkat, di mana emisi CO<sub>2</sub> terus naik seiring dengan pertumbuhan pendapatan per kapita.

Stern menjelaskan bahwa polutan lokal lebih cepat mendapat perhatian melalui kebijakan lingkungan nasional, sementara polutan global seperti CO<sub>2</sub> memiliki dampak lintas negara sehingga memerlukan koordinasi kebijakan internasional yang lebih kompleks. Selain itu, tingkat industrialisasi dan ketergantungan terhadap energi fosil di negara berkembang juga menjadi faktor yang memperlambat terjadinya titik balik EKC pada emisi CO<sub>2</sub>.

$$E_t = \alpha + \beta_1 Y_t + \beta_2 Y_t^2 + \epsilon_t \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

$E_t$  = emisi atau indikator kerusakan lingkungan pada tahun ke-t

$Y_t$  = pendapatan per kapita

$\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$  : mendukung hipotesis EKC (kurva U terbalik)

$\epsilon_t$  = galat (*error term*)

Dalam penelitian ini, teori EKC menjelaskan peran variabel PDB per kapita dalam memengaruhi emisi CO<sub>2</sub>. PDB merupakan satu ukuran utama kinerja dan aktivitas perekonomian suatu negara. Menurut Mankiw (2006), PDB mencerminkan pendapatan total dan pengeluaran total nasional atas output barang dan jasa yang diproduksi dalam suatu perekonomian negara selama periode tertentu. Dalam praktiknya, PDB dibedakan menjadi dua jenis yaitu PDB nominal dan PDB riil. PDB nominal mencerminkan nilai total output berdasarkan harga berlaku pada tahun berjalan sehingga belum memperhitungkan perubahan tingkat harga atau inflasi.

Dari perspektif pembangunan ekonomi, Todaro dan Smith (2014) menjelaskan bahwa PDB per kapita merupakan suatu ukuran rata-rata nilai total barang dan jasa akhir yang dihasilkan oleh perekonomian suatu negara dalam suatu periode kemudian dibagi dengan jumlah penduduk, sehingga menggambarkan tingkat rata-rata pendapatan masyarakat. Indikator PDB per kapita digunakan untuk menilai tingkat kesejahteraan dan kapasitas ekonomi suatu negara serta sebagai tolok ukur dalam membandingkan kemajuan antarnegara. Peningkatan PDB per kapita dapat diartikan sebagai pertumbuhan ekonomi yang disertai dengan meningkatnya daya beli dan kesejahteraan penduduk, yang pada tahap awal pembangunan berpotensi meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>.

#### **b. Teori Interaksi Urbanisasi Lingkungan**

Urbanisasi bukan sekadar perpindahan orang dari desa ke kota, urbanisasi adalah proses sosial-ekonomi yang rumit, yang secara bertahap mengubah wajah lingkungan dan cara hidup masyarakat. Ketika wilayah pedesaan mulai berkembang menjadi kawasan perkotaan, bukan hanya bangunan dan infrastruktur yang berubah tetapi juga pola kerja, gaya hidup, budaya dan perilaku masyarakat yang tinggal di dalamnya. Perubahan ini memengaruhi struktur sosial dan demografi, baik di kota maupun di desa, karena distribusi penduduk ikut bergeser dan membawa dampak yang luas bagi kehidupan sehari-hari (United Nations, 2019: iii).

Salah satu dampak nyata dari urbanisasi adalah semakin banyaknya orang yang tinggal di kota, disertai dengan meluasnya area permukiman dan meningkatnya kepadatan penduduk di wilayah perkotaan. Proses ini tidak terjadi begitu saja, tetapi dibentuk oleh berbagai faktor, seperti perencanaan tata ruang, pembangunan kota, serta investasi dari pemerintah maupun swasta dalam pembangunan infrastruktur dan juga gedung-gedung baru. Seiring waktu, kota-kota berkembang menjadi pusat utama aktivitas ekonomi dan inovasi. Di sanalah transportasi, perdagangan dan arus informasi saling bertemu dan bergerak cepat. Selain itu, kota juga menawarkan akses yang lebih mudah terhadap berbagai layanan publik dan swasta dengan kualitas yang umumnya lebih baik dibandingkan daerah pedesaan.

Tingkat urbanisasi diukur dengan persentase penduduk yang tinggal di kawasan perkotaan dibandingkan dengan total populasi suatu negara. World Bank (2024a) menggunakan indikator *Urban Population (% of total population)* untuk menggambarkan tingkat urbanisasi suatu negara, dengan definisi wilayah perkotaan mengacu pada standar yang ditetapkan oleh masing-masing lembaga statistik nasional. Secara sistematis, tingkat urbanisasi dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Tingkat Urbanisasi}(\%) = \frac{\text{Jumlah Penduduk Wilayah Perkotaan}}{\text{Jumlah Total Penduduk}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.6)$$

Teori ini menjelaskan bahwa urbanisasi memiliki dampak langsung terhadap peningkatan emisi polutan, khususnya di wilayah perkotaan. Seiring bertambahnya jumlah penduduk kota, kebutuhan energi untuk transportasi, industri, rumah tangga, dan aktivitas komersial juga ikut melonjak. Akibatnya, terjadi peningkatan emisi CO<sub>2</sub> dan polutan udara lainnya, seperti partikulat halus (PM), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), sulfur oksida (SO<sub>x</sub>), dan karbon monoksida (CO). Menurut Bhattacharyya (2019), pada tingkat komunitas, penggunaan energi di wilayah urban menjadi salah satu sumber utama pencemaran udara, meskipun sektor industri juga memberikan kontribusi tersendiri.

Kota-kota besar mengalami tekanan lingkungan yang tinggi akibat ketergantungan masyarakat miskin pada bahan bakar padat dan biomassa,

penggunaan kendaraan transportasi yang tidak efisien dan beremisi tinggi serta orientasi pembangunan kota yang berfokus pada industri tanpa memperhatikan aspek keberlanjutan. Kondisi ini menyebabkan kualitas udara memburuk dan tingginya angka kematian akibat polusi, terutama apabila tidak diimbangi dengan efisiensi energi dan pengelolaan lingkungan yang baik.

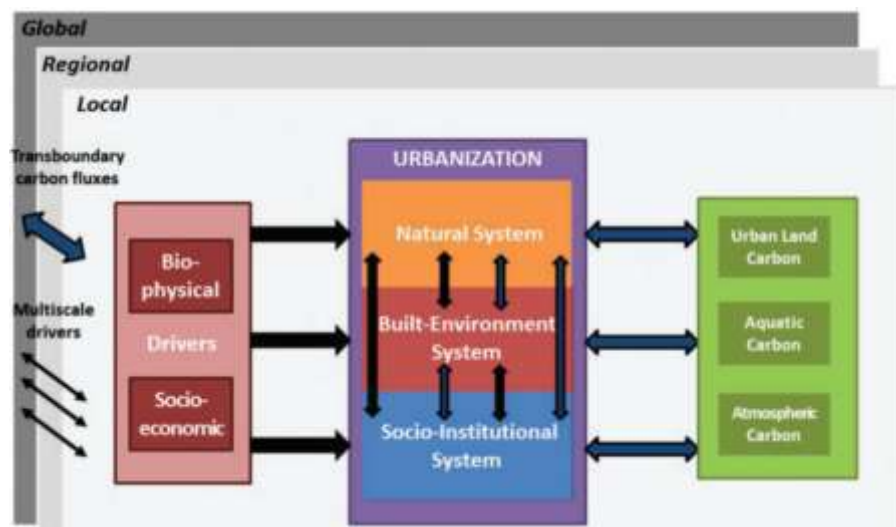
Namun, teori ini juga menunjukkan bahwa dampak urbanisasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> tidak bersifat linier. Di negara maju, kombinasi kebijakan lingkungan yang ketat, transisi energi menuju sumber yang lebih bersih, serta teknologi transportasi yang efisien telah berhasil menurunkan tingkat polusi udara secara signifikan. Artinya, urbanisasi dapat diarahkan menjadi berkelanjutan, asalkan didukung oleh kebijakan yang tepat dan kesadaran lingkungan yang tinggi.

Sejalan dengan hal tersebut, Marcotulli dan Solecki (2013, hlm. 11-25) memandang kota sebagai sebuah sistem sosial-ekologis yang kompleks, di mana manusia, teknologi, dan lingkungan saling berinteraksi dan menghasilkan dampak ganda. Di satu sisi, kepadatan penduduk meningkatkan potensi emisi semakin besar. Namun, di sisi lain, konsentrasi aktivitas ekonomi di perkotaan dapat menciptakan efisiensi aglomerasi sekaligus mendorong lahirnya inovasi teknologi hijau yang mendukung pembangunan rendah karbon (*low-carbon development*). Arah pengaruh urbanisasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> sangat ditentukan oleh kualitas pembangunan kota dan kebijakan lingkungan yang diterapkan. Urbanisasi umumnya berkaitan dengan meningkatnya emisi CO<sub>2</sub> terutama di negara-negara yang masih bergantung pada energi fosil dan belum memiliki sistem pengelolaan lingkungan yang memadai.

### **c. Kerangka Konseptual Integrated Urbanization-Carbon Framework**

Urbanisasi menjadi salah satu proses penting yang membentuk pola emisi CO<sub>2</sub> secara global. Menurut Romero-Lankao et al. (2014) dalam jurnal *A Critical Knowledge Pathway to Low-Carbon, Sustainable Futures*, hubungan antara urbanisasi dan emisi CO<sub>2</sub> tidak bisa dilihat secara sederhana. Proses ini melibatkan interaksi yang kompleks antara tiga sistem utama, yaitu sistem alam, lingkungan buatan, dan sistem sosial-institusional. Interaksi ketiga sistem

tersebut akhirnya membentuk berbagai jenis stok karbon, baik yang tersimpan di kawasan perkotaan, perairan, maupun di atmosfer sebagaimana dijelaskan pada Gambar 2.4. Oleh karena itu, urbanisasi dipahami sebagai proses lintas sistem yang menggerakkan siklus karbon global. Dampaknya paling nyata terlihat dari meningkatnya emisi CO<sub>2</sub> seiring dengan bertambahnya aktivitas di perkotaan, pembangunan infrastruktur, serta perubahan penggunaan lahan di wilayah perkotaan.



Sumber : Romero-lankao et al (2014)

**Gambar 2.3 Kerangka Konseptual Urbanisasi dan Siklus Karbon**

Dari sisi sistem alam, urbanisasi sering kali mengubah tata guna lahan secara drastis. Lahan hijau dan hutan yang sebelumnya berfungsi sebagai penyerap karbon (*carbon sink*) dialihfungsikan menjadi kawasan permukiman dan industri. Akibatnya, kapasitas alam untuk menyerap CO<sub>2</sub> menurun, sementara emisi dari aktivitas manusia meningkat. Wilayah perkotaan merupakan kontributor utama perubahan iklim, dengan menyumbang 71-76 % dari total emisi CO<sub>2</sub> global yang berasal dari penggunaan energi akhir (UN-HABITAT, 2024).

Sementara itu, lingkungan buatan seperti infrastruktur transportasi, bangunan, sistem air, dan pengelolaan limbah menuntut konsumsi energi dalam jumlah besar, terutama dari sumber fosil. Ketika jumlah penduduk kota bertambah dan aktivitas ekonomi meningkat, kebutuhan energi untuk rumah

tangga, industri, dan mobilitas juga ikut meningkat. Kota pun menjadi pusat utama aliran karbon (*urban carbon flows*) yang terus bergerak ke atmosfer.

Di sisi lain, sistem sosial-institusional berperan dalam membentuk perilaku konsumsi energi dan arah kebijakan lingkungan. Faktor-faktor seperti tata kelola kota, tingkat kesadaran masyarakat terhadap isu lingkungan, pola konsumsi, dan komitmen terhadap pembangunan berkelanjutan sangat menentukan apakah sebuah kota akan menjadi penyumbang emisi yang tinggi atau justru pelopor kota rendah karbon. Dalam kerangka keberhasilan dalam menekan emisi sangat bergantung pada bagaimana ketiga sistem ini, alam, buatan, dan sosial diintegrasikan secara efektif dalam perencanaan dan kebijakan perkotaan.

Sejalan dengan gagasan tersebut, Fragkias dan Boone (2013) dalam *Towards a New Framework for Urbanization and Sustainability* menekankan bahwa urbanisasi merupakan salah satu kekuatan antropogenik paling besar yang secara simultan mengubah sistem sosial, ekonomi, dan lingkungan. Menurut mereka, keberlanjutan kota hanya dapat tercapai apabila terdapat sinergi antara ekologi perkotaan, keadilan lingkungan, dan dinamika perubahan global. Kota dipandang sebagai pusat utama transformasi sosial, ekonomi dan fisik yang secara langsung berdampak pada perubahan lingkungan global. Mereka juga menekankan bahwa lebih dari 90% pertumbuhan penduduk di masa depan akan terkonsentrasi di kawasan perkotaan sementara sekitar 50-80% emisi gas rumah kaca dunia bersumber dari aktivitas di kota. Fakta ini menunjukkan betapa signifikan peran kota dalam mendorong peningkatan emisi CO<sub>2</sub> baik melalui energi yang semakin tinggi, proses industrialisasi, maupun alih fungsi lahan yang mengurangi kapasitas penyerapan karbon.

Meskipun demikian, Fragkias dan Boone juga menegaskan bahwa urbanisasi memiliki wajah ganda. Di satu sisi, kota menjadi penyumbang utama emisi, namun di sisi lain kota juga menyimpan potensi besar sebagai pusat solusi. Melalui inovasi teknologi, peningkatan efisiensi energi, dan perencanaan tata ruang yang berkelanjutan, kota dapat menjadi ruang strategis untuk menekan emisi sekaligus mendorong pembangunan rendah karbon. Dengan

demikian, urbanisasi akan mengurangi emisi apabila tata kelola dan pola pembangunan direncanakan dengan prinsip yang berkelanjutan.

**d. Model STIRPAT**

Model STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology*) dikembangkan oleh Dietz et al. (1994) sebagai penyempurnaan dari kerangka IPAT (*Impact = Population × Affluence × Technology*) yang sebelumnya diperkenalkan oleh Ehrlich et al. (1971). Model IPAT menjelaskan bahwa tekanan terhadap lingkungan merupakan hasil interaksi tiga faktor utama yaitu jumlah penduduk, tingkat kemakmuran, dan teknologi. Namun, karena sifatnya deterministik, IPAT tidak memungkinkan pengujian empiris yang lebih fleksibel, sebab seluruh variabel dianggap berhubungan secara proposional.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, Dietz dan Rosa merumuskan STIRPAT, sebuah model stokastik yang memungkinkan estimasi empiris melalui regresi. Bentuk dasarnya dituliskan sebagai berikut:

$$I = aP^bA^cT^de \dots\dots\dots(2.3)$$

dan dalam bentuk logaritmik :

$$\ln I = a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + e \dots\dots\dots(2.4)$$

keterangan :

- I = dampak lingkungan (dalam penelitian ini : emisi CO<sub>2</sub> per kapita)
- P = jumlah penduduk atau tingkat urbanisasi (diwakili oleh persentase penduduk perkotaan)
- A = tingkat afluensi atau kemakmuran (diwakili oleh PDB per kapita)
- T = faktor teknologi dan energi (diwakili oleh tingkat akses listrik sebagai proksi penggunaan energi)
- a = konstanta skala
- b,c,d = elastisitas masing-masing faktor terhadap dampak lingkungan
- e = *error term*

York et al (2003) kemudian menyempurnakan model STIRPAT dengan memperkenalkan konsep *ecologi elasticity*. Melalui pendekatan ini, mereka menunjukkan bahwa pengaruh populasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> bersifat proporsional atau unit elastis. Sementara itu, tingkat kemakmuran memang berhubungan positif dengan emisi, tetapi tidak selalu mengikuti pola linier, sehingga membuka kemungkinan adanya hubungan berbentuk *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Faktor modernisasi seperti urbanisasi dan industrialisasi terbukti konsisten meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>, sedangkan kondisi geografis tertentu misalnya iklim tropis cenderung menekan intensitas emisi.

Dengan demikian, model STIRPAT tidak hanya menjelaskan hubungan linear antara aktivitas ekonomi dan dampak lingkungan, tetapi juga mampu menangkap dinamika perubahan elastisitas yang muncul seiring dengan tahapan pembangunan ekonomi suatu negara.

### **2.1.3 Teori Energi dan Lingkungan**

Pemanfaatan energi memiliki kaitan erat dengan persoalan lingkungan. Dalam sistem ekonomi modern, energi berperan sebagai elemen penting yang menopang segala proses produksi dan berbagai aktivitas manusia. Meskipun demikian, sebagian besar kebutuhan energi masih dipenuhi dari sumber fosil yang menghasilkan emisi cukup tinggi. Teori energi-lingkungan menegaskan bahwa penggunaan energi, khususnya yang bersifat tidak terbarukan, berpotensi meningkatkan pencemaran dan menurunkan kualitas lingkungan termasuk melalui peningkatan emisi CO<sub>2</sub>.

#### **a. Teori Energi dan Emisi**

Teori keterkaitan energi emisi juga memperkuat teori efek rumah kaca. Teori ini berakar pada konsep hubungan antara pertumbuhan ekonomi, penggunaan energi, dan proses produksi dalam perekonomian. Stern (2004) menjelaskan bahwa energi memiliki peran fundamental dalam sistem ekonomi karena hampir seluruh aktivitas ekonomi memerlukan energi untuk mengubah sumber daya alam menjadi barang dan jasa. Energi dianggap sebagai faktor produksi utama yang tidak dapat direproduksi seperti tenaga kerja dan

modal. Tanpa energi, kegiatan ekonomi tidak dapat berjalan, sebab setiap bentuk transformasi dan perpindahan materi dalam proses produksi selalu membutuhkan energi. Oleh karena itu, semakin tinggi aktivitas ekonomi dan kebutuhan energi suatu negara, maka semakin besar juga volume emisi yang dihasilkan (Hong, 2018).

Menurut Stern (2004) dalam pandangan biofisik, energi justru berperan penting karena menentukan kemampuan ekonomi untuk tumbuh dan berproduksi. Seluruh kegiatan ekonomi baik industri, transportasi, maupun rumah tangga memerlukan energi dan sebagian besar masih bergantung pada sumber fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan karbon dioksida CO<sub>2</sub> sebagai produk sampingan. Oleh karena itu, peningkatan penggunaan energi fosil akan berbanding lurus dengan kenaikan emisi CO<sub>2</sub>. Dalam teori pertumbuhan ekonomi dan energi, pertumbuhan ekonomi tercermin melalui peningkatan PDB umumnya diikuti oleh peningkatan konsumsi energi yang pada akhirnya mendorong naiknya emisi CO<sub>2</sub>. Dengan demikian emisi CO<sub>2</sub> mencerminkan seberapa besar intensitas energi dan efisiensi produksi suatu negara.

Salah satu aspek penting yang juga perlu diperhatikan dalam hubungan antara energi dan emisi CO<sub>2</sub> adalah akses terhadap listrik. Bhattacharyya, (2019) menjelaskan bahwa meskipun listrik menjadi symbol kemajuan dan peningkatan kualitas hidup, perluasan akses listrik juga membawa dampak terhadap lingkungan. Di banyak negara berkembang, ketika akses listrik diperluas, konsumsi energi modern ikut meningkat. Masalahnya, sistem kelistrikan di banyak negara di dunia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Oleh karena itu, meskipun tujuannya adalah meningkatkan kesejahteraan masyarakat, perluasan jaringan listrik justru bisa memicu lonjakan emisi CO<sub>2</sub>.

Namun, dampak ini tidak bersifat mutlak. Di negara-negara yang telah beralih ke sumber energi terbarukan, peningkatan akses listrik juga bisa menjadi bagian dari solusi lingkungan. Artinya, sumber energi yang digunakan menjadi faktor penentu apakah perluasan akses listrik akan memperbesar jejak karbon,

atau justru membantu menurunkannya. Arah kebijakan energi dan pilihan teknologi memainkan peran kunci dalam menentukan apakah pembangunan energi akan sejalan dengan tujuan berkelanjutan.

Dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, berbagai negara telah mengembangkan kebijakan dan inovasi teknologi untuk menekan emisi CO<sub>2</sub>. *Paris Agreement* yang disepakati pada tahun 2015 menjadi tonggak penting dalam upaya menekan kenaikan suhu rata-rata bumi dibawah 2°C melalui pengurangan emisi CO<sub>2</sub> dan transisi menuju energi terbarukan (UNFCCC, 2015). Selain itu, teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) juga dikembangkan sebagai langkah mitigasi untuk menangkap CO<sub>2</sub> dari proses industri dan pembangkit listrik, serta menyimpannya di bawah permukaan bumi guna mencegah pelepasan karbon ke atmosfer (UNFCCC, 2015).

Dari sisi perekonomian, berbagai negara memfokuskan efektivitas dari instrumen pasar seperti pajak karbon (*carbon tax*) dan sistem perdagangan emisi (*emission trading system*). Kebijakan tersebut menempatkan harga atas emisi CO<sub>2</sub> yang dilepaskan ke atmosfer, dengan tujuan mendorong perusahaan agar beralih ke sumber energi rendah karbon serta peningkatan efisiensi produksi.

## **2.2 Penelitian Terdahulu**

Upaya memahami dinamika emisi CO<sub>2</sub> terus menjadi fokus banyak penelitian di berbagai belahan dunia. Setiap studi memberikan sudut pandang yang berbeda tentang bagaimana variabel seperti PDB per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik, dan pandemi COVID-19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di berbagai negara.

Penelitian oleh Georgescu et al., (2025) di Islandia mengangkat paradoks yang menarik dimana di negara ini hampir sepenuhnya mengandalkan energi terbarukan, tetapi tetap menghadapi tantangan emisi CO<sub>2</sub>. Penelitian ini menggunakan pendekatan ARDL. Mereka menemukan bahwa peningkatan PDB per kapita justru menurunkan emisi dalam jangka panjang. Namun, pada tahap awal konsumsi energi terbarukan dan PDB per kapita sempat mendorong

emisi sebelum akhirnya menurun yang menandakan adanya titik balik dan transisi nyata menuju ekonomi rendah karbon.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, Mahajan dan Sah (2025) menyoroti dinamika di India dan China. Dengan menggunakan model SVAR, mereka menunjukkan bahwa setiap kali PDB melonjak, emisi CO<sub>2</sub> ikut meningkat. Temuan ini memperkuat asumsi bahwa kedua negara tersebut belum mencapai puncak kurva EKC. Selain itu, faktor eksternal seperti fluktuasi harga minyak dan inflasi juga memperburuk tekanan lingkungan, memperlihatkan betapa eratnya kaitan antara kebijakan dan dinamika energi global.

Qiang Wang dan Lejia Li (2021) meneliti dampak populasi usia tua, harapan hidup, tingkat pengangguran, jumlah penduduk, dan tingkat urbanisasi terhadap emisi karbon di 154 negara selama periode 1992-2016. Dengan menggunakan metode *Generalized Method of Moments* (GMM), mereka menemukan bahwa tingkat urbanisasi memiliki hubungan positif dengan emisi CO<sub>2</sub> per kapita, sementara tingkat pengangguran menunjukkan dampak negatif. Temuan ini mengindikasikan bahwa pertumbuhan perkotaan cenderung meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> akibat meningkatnya konsumsi energi dan aktivitas ekonomi di kawasan perkotaan.

Dari Kawasan MENA, Alharthi et al. (2021) menggunakan *Quantile Regression* untuk melihat hubungan antara konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub>. Hasilnya menunjukkan bahwa energi terbarukan mampu menekan emisi CO<sub>2</sub>, sementara energi fosil justru memperbesar tekanan karbon. Semakin meningkatnya akses listrik yang sumbernya berasal dari energi fosil akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>. Menariknya, dampak positif dari energi terbarukan justru lebih terasa di negara-negara dengan tingkat emisi yang tinggi seolah menunjukkan bahwa semakin besar masalahnya, semakin besar pula peluang untuk memperbaikinya.

Rahmawati dan Hendarto (2023) juga menganalisis bagaimana konsumsi listrik, pertumbuhan ekonomi, industrialisasi, dan keterbukaan perdagangan dalam berkaitan dengan emisi CO<sub>2</sub>. Dengan menggunakan pendekatan *Error*

*Correction Model (ECM)*, mereka menemukan bahwa dalam jangka panjang, konsumsi listrik dan industrialisasi menjadi pendorong utama emisi CO<sub>2</sub>. Sementara itu, dalam jangka pendek, hanya pertumbuhan ekonomi yang menunjukkan pengaruh signifikan.

Pandemi COVID-19 membuka babak baru dalam emisi karbon. Jiang et al. (2022) menggunakan model *Computable General Equilibrium (CGE)* untuk melihat dampak pandemi terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Tiongkok. Hasilnya menunjukkan bahwa pandemi menyebabkan kontraksi dari sisi permintaan dan penawaran sehingga emisi CO<sub>2</sub> ikut merosot sebesar 2,53%. Namun, ketika pemerintah mulai menerapkan kebijakan pemulihan seperti penurunan suku bunga pinjaman (LPR) dan pajak pertambahan nilai (VAT), ekonomi mulai bangkit meskipun emisi ikut naik kembali.

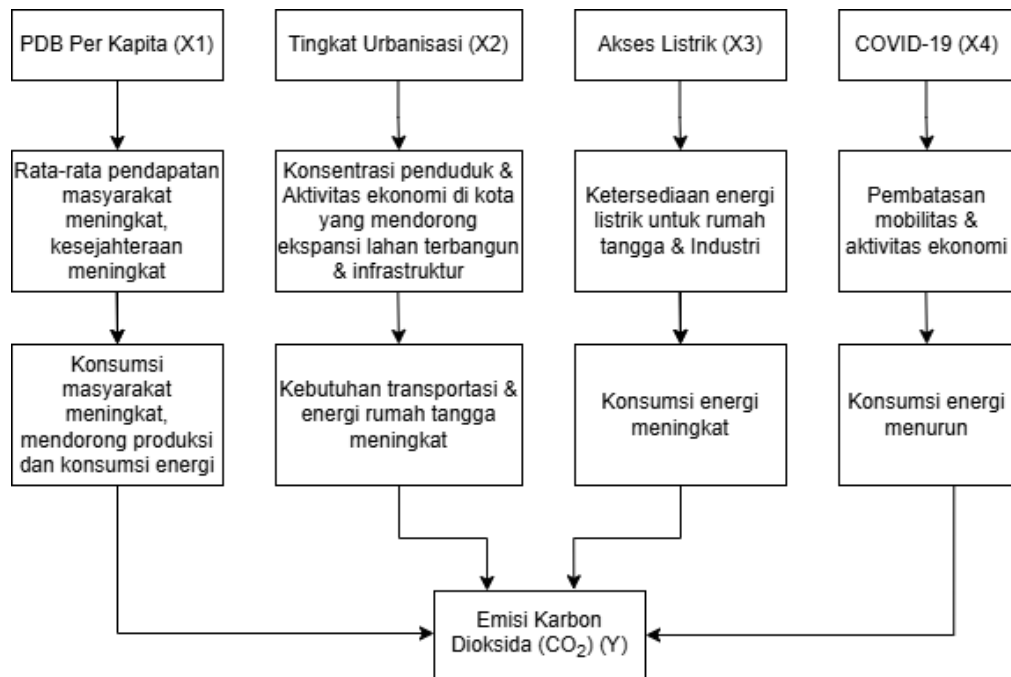
Pandangan yang lebih luas datang dari penelitian Singh et al. (2021), yang membandingkan dampak pandemi terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Amerika Serikat, Uni Eropa, China dan India. Hasilnya ditemukan bahwa pembatasan mobilitas dan penurunan aktivitas industri selama pandemi memang berhasil menurunkan emisi CO<sub>2</sub> secara drastis, tetapi penurunan ini hanya bersifat sementara. Begitu roda ekonomi kembali bergerak, emisi pun ikut meningkat. Dalam konteks ini, pandemi dapat dilihat sebagai semacam “eksperimen alami” yang memperlihatkan betapa eratnya hubungan antara aktivitas manusia dan tekanan terhadap lingkungan.

Ray et al. (2022) juga mengkaji 184 negara dengan bantuan data satelit SMAP Level 4 dan menunjukkan bahwa kebijakan *lockdown* selama pandemi berhasil menurunkan emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan, terutama dari sektor transportasi dan industri. Namun, penurunan ini juga hanya bersifat sementara. Ketika pembatasan sudah dicabut, aktivitas ekonomi kembali berjalan, dan emisi CO<sub>2</sub> pun ikut meningkat kembali.

### **2.3 Kerangka Pemikiran**

Perubahan iklim global semakin menjadi perhatian utama. Salah satu indikator yang digunakan untuk mengukur tekanan lingkungan adalah emisi CO<sub>2</sub> yang sebagian besar berasal dari aktivitas ekonomi, sosial dan

pembangunan (IPCC, 2021). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi emisi CO<sub>2</sub> seperti PDB per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik dan guncangan pandemi COVID-19 yang masing-masing memiliki peran berbeda dalam memengaruhi tingkat emisi CO<sub>2</sub> suatu negara.



**Gambar 2.4 Kerangka Pemikiran Konseptual**

PDB per kapita sering digunakan sebagai indikator tingkat kemakmuran suatu negara dan kerap dikaitkan dengan dinamika emisi CO<sub>2</sub> per kapita (Grossman dan Krueger, 1995). Pada fase awal pembangunan, kenaikan PDB per kapita biasanya diiringi peningkatan kesejahteraan masyarakat dan konsumsi yang kemudian meningkatkan tumbuhnya aktivitas industri dan produksi, sehingga emisi CO<sub>2</sub> ikut terdorong naik. Pola ini sejalan dengan teori EKC, yang menjelaskan bahwa emisi cenderung meningkat pada tahap awal pertumbuhan ekonomi (Grossman dan Krueger, 1995). Namun, ketika pendapatan masyarakat dan kapasitas ekonomi semakin tinggi, struktur ekonomi mulai bergeser ke arah yang lebih modern. Teknologi produksi menjadi lebih efisien, sementara kebijakan lingkungan diterapkan dengan lebih ketat. Dalam kondisi seperti ini, kenaikan PDB per kapita justru dapat

menurunkan emisi, karena adanya adopsi energi bersih dan penerapan teknologi rendah karbon (Stern, 2004).

Dalam kerangka STIRPAT, PDB per kapita direpresentasikan sebagai *afluensi* (A), dengan elastisitas yang menunjukkan seberapa besar perubahan emisi dipengaruhi oleh pendapatan (Dietz et al., 1994). Di negara berkembang, elastisitas ini umumnya positif dan lebih kuat, sedangkan di negara maju cenderung melemah, bahkan bisa menjadi negatif (York et al., 2003). Hubungan antara PDB per kapita dan emisi CO<sub>2</sub> tidak bersifat linear. Emisi meningkat pada tahap awal pembangunan, tetapi berpotensi menurun ketika negara mencapai tingkat pendapatan yang lebih tinggi dan mampu beralih ke teknologi serta kebijakan yang mendukung pembangunan rendah karbon (Stern, 2004).

Urbanisasi mengubah konsentrasi penduduk dan pola aktivitas ekonomi sehingga memengaruhi konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub> (Poumanyvong & Kaneko, 2010). Dalam kerangka STIRPAT, tingkat urbanisasi dipandang sebagai bagian dari faktor *population* (P), yang mencakup bukan sekedar jumlah penduduk, melainkan juga distribusi dan tingkat kepadatan penduduk terutama di kawasan perkotaan (Dietz et al., 1994). Perubahan distribusi ini terbukti mendorong peningkatan kebutuhan energi dan infrastruktur. Melalui kerangka *Integrated Urbanization-Carbo Framework* menjelaskan bahwa pertumbuhan kota menimbulkan tekanan pada tiga sistem, yaitu sistem alam, lingkungan terbangun dan sistem sosial-institusional. Tekanan ini dapat memicu kenaikan emisi CO<sub>2</sub> melalui ekspansi kawasan terbangun, peningkatan transportasi, serta bertambahnya kebutuhan energi rumah tangga (Poumanyvong & Kaneko, 2010).

Akses listrik merupakan salah satu indikator utama pembangunan ekonomi sekaligus kesejahteraan masyarakat (International Energy Agency (IEA), 2025b). Ketersediaan energi listrik memungkinkan produktivitas meningkat, mendorong aktivitas industri, mempercepat digitalisasi, dan memperbaiki kualitas hidup rumah tangga. Namun, dari sisi lingkungan, perluasan akses listrik memiliki hubungan yang tidak sederhana terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Di negara dengan sistem ketenagalistrikan yang masih bergantung pada

sumber energi fosil seperti batu bara, minyak, atau gas alam, peningkatan akses terhadap listrik atau bertambahnya jumlah penduduk yang menikmati listrik justru berpotensi meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>. Sebaliknya di negara yang sudah melakukan transisi menuju energi terbarukan, peningkatan akses listrik dapat membantu menurunkan intensitas emisi. Akses listrik dalam kerangka STIRPAT dipahami sebagai komponen *technology* (T) yang dapat berdampak positif maupun negatif terhadap emisi CO<sub>2</sub> tergantung pada struktur bauran energi yang digunakan dalam proses pembangkitan listrik (Dietz et al., 1994)

Pandemi COVID-19 merupakan peristiwa eksternal berskala global yang secara tiba-tiba mengganggu aktivitas ekonomi dan konsumsi energi di berbagai negara. Dampak langsung dari pandemi ini adalah penurunan emisi CO<sub>2</sub>, meskipun sifatnya sementara. Dalam penelitian ini, COVID-19 dimasukkan sebagai variabel *dummy* dengan nilai 1 untuk periode pandemi dan 0 untuk periode sebelum pandemi. Tujuannya adalah untuk mengisolasi efek guncangan (*shock*) terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Penurunan emisi selama pandemi terjadi melalui dua mekanisme utama. Pertama, dari sisi permintaan dimana pembatasan mobilitas dan penurunan aktivitas industri menyebabkan konsumsi energi menurun. Kedua, dari sisi penawaran, gangguan produksi dan rantai pasokan membatasi penggunaan energi fosil (Le Quéré et al., 2020).

#### **2.4 Hipotesis Penelitian**

- a. Diduga PDB per kapita berpengaruh positif terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi CO<sub>2</sub> di 50 negara tahun 2000-2023.
- b. Diduga tingkat urbanisasi berpengaruh positif terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi CO<sub>2</sub> di 50 negara tahun 2000-2023.
- c. Diduga akses listrik berpengaruh positif terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi CO<sub>2</sub> di 50 negara tahun 2000-2023.
- d. Diduga pandemi COVID-19 berpengaruh negatif terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi CO<sub>2</sub> di 50 negara tahun 2000-2023.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, dimana metode penelitian kuantitatif adalah pendekatan yang menitikberatkan pada pengukuran variabel dalam bentuk angka dan analisis menggunakan teknik statistik (Jauza & Albina, 2025). Pendekatan ini bersifat sistematis, objektif dan deduktif, karena berawal dari perumusan teori atau hipotesis yang kemudian diuji dengan data empiris. Dengan memanfaatkan data numerik, metode ini memberikan peluang untuk menilai hubungan, pengaruh, maupun pola tertentu secara konsisten dan terukur. Dalam penelitian ini, pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis pengaruh pada PDB per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik dan COVID-19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita.

Penelitian ini menggunakan data panel, yaitu gabungan antara data *cross section* (lintas negara) dan data *time series* (deret waktu). Panel data memungkinkan setiap unit yang diamati secara berulang dalam beberapa periode. Menurut Baltagi (2021) panel data merupakan penggabungan observasi dari berbagai unit seperti rumah tangga, negara atau perusahaan yang diamati dalam beberapa periode waktu. Dengan karakteristik tersebut, panel data dapat memberikan keunggulan karena mampu menelaah variasi antar unit sekaligus perubahan yang terjadi di dalam suatu unit dari waktu ke waktu.

Dalam penelitian ini menggunakan jenis *macro panel* (panel makro), karena unit analisis yang diteliti adalah negara, bukan individu. Pemilihan panel data ini dapat menangkap dinamika emisi CO<sub>2</sub> secara temporal sekaligus mencerminkan perbedaan struktur antarnegara. Penelitian ini menggunakan metode *Panel Quantile Regression* (regresi kuantil data panel) dengan menggunakan data dari 50 negara pada tahun 2000-2023. Koenker dan Bassett (1978) memperkenalkan analisis *quantile* dalam regresi yang memungkinkan pengujian pengaruh variabel bebas tidak hanya pada nilai rata-rata, tetapi juga pada berbagai titik dalam distribusi variabel dependen, dalam data panel pendekatan ini mampu menangkap dinamika antarunit sekaligus perubahan dari

waktu ke waktu. Pendekatan ini juga tahan terhadap outlier dan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai bagaimana variabel dependen memengaruhi distribusi emisi CO<sub>2</sub>, bukan hanya pada nilai tengah (rata-rata) pada pendekatan OLS.

### 3.2 Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung atau melalui media perantara yang menyediakan data yang dibutuhkan. Penelitian ini menggunakan data tahunan dari 50 negara dengan dengan 5 variabel, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.1. Variabel yang digunakan meliputi emisi CO<sub>2</sub> per kapita, PDB per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik dan juga variabel dummy pandemi COVID-19 dengan rentang waktu 2000 - 2023.

**Tabel 3.1**  
**Data dan Sumber Data**

<b>Variabel</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Satuan</b>	<b>Sumber Data</b>
Emisi CO <sub>2</sub> per kapita (CO <sub>2</sub> )	Emisi CO <sub>2</sub> per orang dalam suatu negara, tanpa termasuk LULUCF	ton CO <sub>2</sub> / kapita	<i>World Bank</i> (2025)
PDB per kapita (PDB)	Nilai PDB atas dasar harga konstan 2015 yang dibagi jumlah penduduk untuk menggambarkan output ekonomi per orang dalam US\$	US\$ / kapita	<i>World Bank</i> (2025b)
Tingkat urbanisasi (URB)	Persentase populasi yang tinggal di wilayah perkotaan terhadap total populasi suatu negara.	Persen (%)	<i>World Bank</i> (2024a)
Akses listrik (ACEL)	Persentase populasi dengan akses terhadap listrik terhadap total populasi suatu negara.	Persen (%)	<i>World Bank</i> (2023b)
COVID-19	0 = sebelum pandemi, 1 = selama dan awal pasca pandemi	Dummy (0/1)	WHO (2020)

### 3.3 Definisi Operasional Variabel

- a. Emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) per kapita menunjukkan jumlah emisi karbon dioksida yang dihasilkan oleh setiap individu dalam suatu negara. Variabel ini digunakan untuk mengukur dampak yang terjadi di lingkungan dari aktivitas ekonomi dan konsumsi energi suatu negara. Satuan yang digunakan adalah ton CO<sub>2</sub> per kapita (t CO<sub>2</sub>e/kapita) (World Bank, 2024c).
- b. Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita menggambarkan rata-rata nilai output ekonomi yang dihasilkan setiap individu dalam suatu negara pada periode tertentu. Indikator ini diperoleh dengan membagi total PDB dengan jumlah penduduk, sehingga mencerminkan tingkat kesejahteraan ekonomi masyarakat secara umum. Dalam penelitian ini, pengukuran PDB per kapita menggunakan data PDB per kapita berdasarkan harga konstan tahun 2015 (constant 2015 US\$) (World Bank, 2025b).
- c. Tingkat urbanisasi (*urban population % of total population*), diukur sebagai persentase jumlah penduduk yang tinggal di daerah perkotaan terhadap total populasi suatu negara. Variabel ini mencerminkan tingkat urbanisasi dan perkembangan wilayah per kotaan yang dapat memengaruhi berbagai aspek ekonomi dan lingkungan. Satuan yang digunakan adalah persen (%) (World Bank, 2024a).
- d. Akses listrik (*Access to electricity % of population*) merupakan variabel yang menggambarkan persentase penduduk suatu negara yang memiliki akses terhadap layanan tenaga listrik. Variabel ini mencerminkan sejauh mana pemerataan dan keterjangkauan fasilitas kelistrikan dapat dinikmati oleh masyarakat yang serta pengaruhnya terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Semakin besar proporsi penduduk yang memperoleh akses listrik, semakin tinggi pula kemungkinan meningkatnya konsumsi energi, baik untuk kebutuhan rumah tangga, aktivitas industri maupun kegiatan ekonomi lainnya. Satuan yang digunakan adalah persen (%) (World Bank, 2023b).
- e. Pandemi COVID-19 merupakan variabel dummy yang digunakan untuk mengidentifikasi pengaruh kejadian luar biasa berupa pandemi global terhadap tingkat emisi CO<sub>2</sub>. Variabel ini diberi nilai 1 untuk periode 2019-

2023, yaitu saat pandemi COVID-19 secara nyata membatasi aktivitas di seluruh sektor di banyak negara. Sementara itu, untuk periode 2000-2018 variabel ini diberi nilai 0 karena berada di luar periode dampak langsung pandemi. Skala pengukuran yang digunakan adalah skala nominal, karena variabel ini bersifat kategorikal (WHO, 2020).

### **3.4 Alat Analisis**

#### **3.4.1 Panel Quantile Regression (PQR)**

Penelitian ini menggunakan pendekatan Panel Quantile Regression (PQR) sebagai metode analisis utama. Panel Quantile Regression (PQR) merupakan metode pendekatan statistik yang diperkenalkan oleh Koenker dan Bassett (1978) untuk mengestimasi *quantile* bersyarat dari suatu variabel dependen. Berbeda dengan metode OLS yang hanya berfokus pada estimasi rata-rata (*conditional mean*), *quantile regression* memungkinkan estimasi di berbagai titik distribusi. *Quantile regression* memberikan pemahaman yang lebih komprehensif terhadap dinamika hubungan antar variabel pada seluruh rentang distribusi, serta bersifat robust terhadap heterokedastisitas dan distribusi residual yang tidak normal. Metode PQR, memungkinkan untuk menganalisis bagaimana suatu variabel berdampak secara berbeda pada kelompok negara dengan tingkat emisi CO<sub>2</sub> yang sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, maupun sangat tinggi.

Model *quantile regression with fixed effect* pada data panel merupakan pengembangan dari pendekatan *quantile regression* yang diperkenalkan oleh Koenker dan Bassett (1978) yang kemudian disesuaikan untuk data longitudinal/panel oleh Koenker (2004). Pada metode ini, perbedaan karakteristik antar unit (negara) yang tidak teramati dimasukkan ke dalam model sebagai efek tetap ( $\alpha_i$ ). *Fixed effect* ini berperan sebagai *pure location-shift parameter*, sehingga menggeser posisi fungsi kuantil tanpa mengubah *slope* (kemirinan) di setiap kuantil. Dengan demikian, koefisien  $\beta\tau$  memberikan gambaran bagaimana pengaruh variabel independent dapat berbeda pada berbagai tingkat distribusi emisi CO<sub>2</sub>.

Model *Panel Quantile Regression* dengan pendekatan *fixed effect* yang dikembangkan oleh Koenker (2004) dituliskan dalam persamaan berikut :

$$Q\tau(y_{it} | x_{it}) = \alpha_i + x_{it}\beta_{\tau} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan :

- $Q\tau(y_{it} | x_{it})$  : fungsi *quantile* kondisi ke- $\tau$  dari variabel dependen  $y_{it}$  bersyarat pada kovariat  $x_{it}$
- $y_{it}$  : variabel dependen negara  $i$  pada tahun  $t$
- $x_{it}$  : variabel independen negara  $i$  pada tahun  $t$
- $\alpha_i$  : efek tetap negara
- $\beta_{\tau}$  : koefisien regresi *quantile* ke- $\tau$
- $\tau$  : kuantil (0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90)

Spesifikasi model pada penelitian ini dapat dituliskan, sebagai berikut :

$$Q\tau(\ln CO2_{it} | \ln PDB_{it}, Urban_{it}, Acel_{it}, Covid_{it}) = \alpha_i + \beta_{1,\tau} \ln PDB_{it} + \beta_{2,\tau} Urban_{it} + \beta_{3,\tau} Acel_{it} + \beta_{4,\tau} Covid_{it} + \varepsilon_{it} \dots \dots (3.2)$$

Keterangan :

- $\ln CO2_{it}$  : logaritma emisi CO<sub>2</sub> per kapita negara  $i$  pada tahun  $t$
- $\ln PDB_{it}$  : logaritma PDB per kapita negara  $i$  pada tahun  $t$
- $Urban_{it}$  : tingkat urbanisasi negara  $i$  pada tahun  $t$
- $Acel_{it}$  : tingkat akses listrik negara  $i$  pada tahun  $t$
- $Covid_{it}$  : dummy pandemi COVID-19
- $\alpha_i$  : efek tetap negara
- $\beta_{k,\tau}$  : koefisien variabel ke- $k$  pada *quantile* ke- $\tau$
- $\tau$  : kuantil (0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90)

Data yang tidak berbentuk persentase (kecuali indeks) ditransformasikan ke dalam logaritma natural (ln), khususnya pada variabel emisi CO<sub>2</sub> per kapita dan PDB per kapita. Transformasi ini bertujuan untuk melinearkan hubungan antarvariabel, sehingga pola hubungan yang semula bersifat nonlinier dapat dianalisis secara lebih tepat dalam model regresi (Benoit, 2011).

Dalam pendekatan Panel Quantile Regression (PQR), pemilihan kuantil  $\tau = 0.10, 0.25, 0.50, 0.75, \text{ dan } 0.90$  dilakukan untuk menangkap perbedaan pengaruh variabel independen di sepanjang distribusi emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Dengan cara ini, analisis dapat mencakup negara dengan tingkat emisi sangat rendah hingga yang sangat tinggi. Praktik ini mengikuti standar umum dalam literatur kuantil regresi, di mana kuantil ekstrem bawah (Q10), kuantil menengah bawah (Q25), median (Q50), kuantil menengah atas (Q75), dan kuantil ekstrem atas (Q90) digunakan untuk merepresentasikan variasi struktur ekonomi, konsumsi energi, serta intensitas karbon antar kelompok negara. Pendekatan kuantil memberikan gambaran yang lebih komprehensif dibandingkan regresi rata-rata (OLS), karena mampu mengungkap perbedaan respons determinan emisi pada berbagai tingkat distribusi (Cade & Noon, 2003).

Interval kuantil ditentukan berdasarkan distribusi empiris data emisi CO<sub>2</sub> per kapita dari seluruh sampel panel. Nilai ambang kuantil diperoleh melalui fungsi distribusi kumulatif, sehingga data terbagi ke dalam lima kelompok: Q10, Q25, Q50, Q75, dan Q90. Masing-masing kelompok merepresentasikan karakteristik negara dengan tingkat emisi yang berbeda, mulai dari sangat rendah hingga sangat tinggi. Pendekatan ini bersifat objektif dan berbasis data (*data-driven*), serta sejalan dengan prosedur estimasi kuantil regresi yang pertama kali diperkenalkan oleh Koenker & Bassett (1978) dan dijelaskan lebih lanjut oleh Koenker (2004). Dengan demikian, klasifikasi negara dilakukan secara statistik sesuai posisi mereka dalam distribusi emisi.

**Tabel 3. 2 Distribusi Kuantil Emisi CO<sub>2</sub> Per Kapita**

<b>Kuantil (<math>\tau</math>)</b>	<b>Rentang (t CO<sub>2</sub>e/kapita)</b>	<b>Karakteristik</b>	<b>Negara</b>
0.10	0.18 - 1.90	Emisi CO <sub>2</sub> per kapita sangat rendah	India, Indonesia, Vietnam, Pakistan, Filipina, Bangladesh, Nigeria, Kolombia, Maroko, Peru, Zambia
0.25	1.90 - 4.37	Emisi CO <sub>2</sub> per kapita rendah	Meksiko, Brasil, Thailand, Mesir, Argentina, Irak, Aljazair, Uzbekistan, Chile, Romania
0.50	4.38 - 8.12	Emisi CO <sub>2</sub> per kapita menengah	China, Iran, Afrika Selatan, Turki, Inggris, Italia, Prancis, Malaysia, Spanyol, Yunani
0.75	8.14 - 11.47	Emisi CO <sub>2</sub> per kapita tinggi	Jepang, Jerman, Korea Selatan, Polandia, Singapura, Belanda, Belgia, Czechia, Israel
0.90	11.47 - 53.60	Emisi CO <sub>2</sub> per kapita sangat tinggi	AS, Rusia, Arab Saudi, Australia, UEA, Kazakhstan, Qatar, Kuwait, Oman

### 3.4.2 Uji Diagnostik Dasar (Asumsi Klasik)

Berbeda dengan regresi linear berbasis OLS, pendekatan PQR tidak mensyaratkan terpenuhinya asumsi klasik seperti normalitas residual, homoskedastisitas, maupun tidak adanya autokorelasi. Estimasi PQR didasarkan pada minimisasi *check function* pada *quantile* tertentu, sehingga bersifat lebih robust terhadap distribusi residual yang tidak normal serta heterogenitas varians yang biasa terjadi pada data panel lintas negara.

Meskipun demikian, salah satu aspek asumsi klasik yang perlu di perhatikan dalam PQR adalah multikolinearitas antar variabel independen. Apabila multikolinearitas tinggi, koefisien regresi bisa menjadi tidak stabil dan sulit ditafsirkan, sehingga mengurangi kemampuan model dalam menilai pengaruh masing-masing variabel secara terpisah. Oleh karena itu, penelitian ini hanya melakukan uji multikolinearitas sebagai uji diagnostik dasar (asumsi klasik).

#### Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat hubungan yang sangat kuat antar variabel independen dalam model regresi.

Intinya, variabel bebas tidak saling berkorelasi tinggi agar masing masing dampaknya terhadap variabel dependen dapat diidentifikasi secara jelas. Jika korelasi antar variabel terlalu tinggi, maka sulit untuk memisahkan pengaruh satu variabel dari yang lain, karena perubahan pada satu variabel cenderung diikuti oleh perubahan variabel pasangannya karena korelasi yang tinggi.

Multikolinearitas antar variabel independen dapat diuji melalui matriks korelasi melalui hasil nilai *variance inflation factor (VIF)*, sebagai berikut :

- 1) Jika  $VIF < 10$ , maka model dinyatakan bebas dari masalah multikolinearitas.
- 2) Jika  $VIF > 10$ , maka terjadi multikolinearitas sehingga model tidak lolos uji.

### 3.4.3 Uji Hipotesis

Pengujian dilakukan pada beberapa tingkat kuantil distribusi emisi CO<sub>2</sub> per kapita, untuk menangkap perbedaan pengaruh variabel independen pada kelompok negara dengan tingkat emisi yang berbeda. Hipotesis nol (H<sub>0</sub>) dan hipotesis alternatif (H<sub>a</sub>) dalam penelitian ini dirumuskan secara operasional sebagai berikut:

**Tabel 3. 3 Hipotesis Panel Quantile Regression untuk Variabel lnPDB**

<b>Kuantil (<math>\tau</math>)</b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>H<sub>a</sub></b>
0.10	lnPDB tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.10	lnPDB berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.10
0.25	lnPDB tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.25	lnPDB berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.25
0.50	lnPDB tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.50	lnPDB berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.50
0.75	lnPDB tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.75	lnPDB berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.75
0.90	lnPDB tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.90	lnPDB berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.90

**Tabel 3. 4 Hipotesis Panel Quantile Regression untuk  
Variabel Tingkat Urbanisasi**

<b>Kuantil (<math>\tau</math>)</b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>H<sub>a</sub></b>
0.10	Urban tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.10	Urban berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.10
0.25	Urban tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada $\tau$ kuantil 0.25	Urban berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.25
0.50	Urban tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> kuantil 0.50	Urban berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.50
0.75	Urban tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.75	Urban berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.75
0.90	Urban tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.90	Urban berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.90

**Tabel 3. 5 Hipotesis Panel Quantile Regression untuk  
Variabel Akses Listrik**

<b>Kuantil (<math>\tau</math>)</b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>H<sub>a</sub></b>
0.10	Acel tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.10	Acel berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.10
0.25	Acel tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.25	Acel berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.25
0.50	Acel tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.50	Acel berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.50
0.75	Acel tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.75	Acel berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.75
0.90	Acel tidak berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.90	Acel berpengaruh positif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.90

**Tabel 3. 6 Hipotesis Panel Quantile Regression untuk Variabel COVID-19**

<b>Kuantil (<math>\tau</math>)</b>	<b>H<sub>0</sub></b>	<b>H<sub>a</sub></b>
0.10	Covid tidak berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.10	Covid berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.10
0.25	Covid tidak berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.25	Covid berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.25
0.50	Covid tidak berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.50	Covid berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.50
0.75	Covid tidak berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.75	Covid berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.75
0.90	Covid tidak berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.90	Covid berpengaruh negatif terhadap lnCO <sub>2</sub> pada kuantil 0.90

Pengambilan Keputusan dalam pengujian hipotesis dilakukan berdasarkan nilai p-value dari hasil estimasi Panel Quantile Regression pada masing-masing kuantil, dengan kriteria sebagai berikut:

- a. Jika p-value < 0.05, maka H<sub>0</sub> ditolak dan H<sub>a</sub> diterima, yang berarti variabel independen berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen pada kuantil  $\tau$ .
- b. Jika p-value > 0.05, maka H<sub>0</sub> diterima, yang berarti variabel independen tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen pada kuantil  $\tau$ .

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

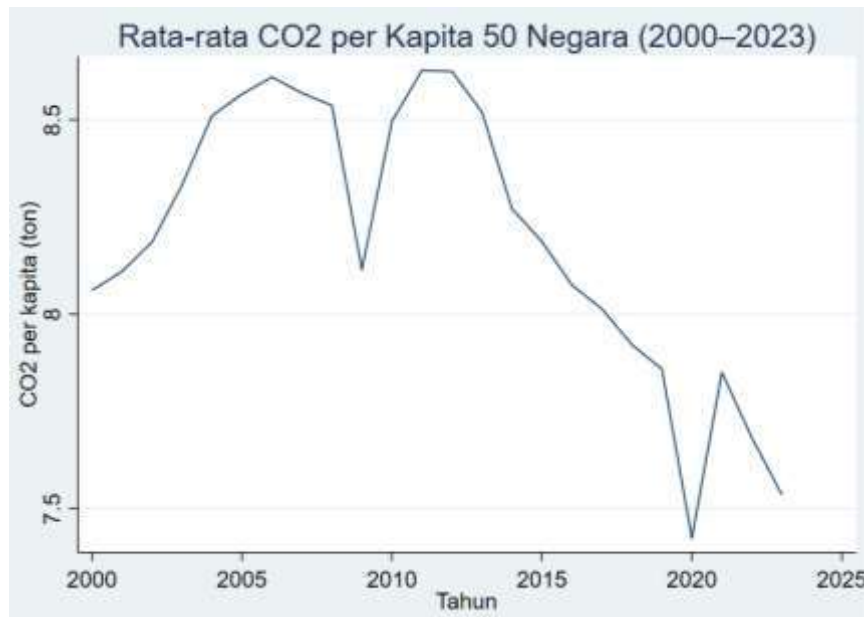
#### **4.1 Deskripsi Data**

Penelitian ini menggunakan data panel untuk menganalisis pengaruh asimetris PDB per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik dan pandemi COVID-19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita dengan menggunakan data *cross section* sebanyak 50 negara berdasarkan urutan penghasil emisi CO<sub>2</sub> tertinggi dan data *time series* periode 2000-2023. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang berasal dari *World Bank* dengan mempertimbangkan ketersediaan serta kelengkapan seluruh variabel yang dianalisis.

Kelompok negara tersebut menyumbang lebih dari 85% total emisi global dan memiliki karakteristik yang beragam, baik dari sisi tingkat pembangunan ekonomi, struktur energi, maupun dinamika urbanisasi, sehingga mampu menggambarkan hubungan yang lebih heterogen antara faktor ekonomi dan emisi CO<sub>2</sub>. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi data, berikut uraian masing-masing variabel.

##### **4.2.1 Emisi Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) per kapita**

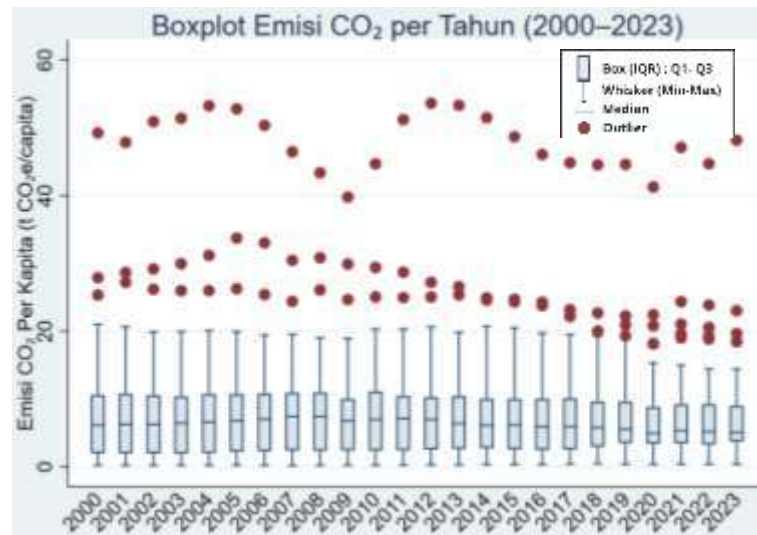
Emisi CO<sub>2</sub> per kapita menunjukkan rata-rata jumlah emisi karbon yang dihasilkan oleh setiap individu dalam suatu negara selama satu tahun. Indikator ini digunakan untuk menggambarkan tekanan lingkungan yang muncul dari konsumsi energi dan aktivitas ekonomi. Dalam penelitian ini, emisi CO<sub>2</sub> per kapita diamati pada 50 negara selama periode 2000-2023, sehingga memberikan rentang waktu yang cukup panjang untuk menggambarkan pola perubahan emisi. Rata-rata emisi CO<sub>2</sub> per kapita yang diperoleh dari masing-masing negara disajikan pada Gambar 4.1.



Sumber : Diolah dari World Bank, tahun 2000-2023

**Gambar 4. 1 Tren Rata -Rata Emisi CO<sub>2</sub> per kapita di 50 Negara Tahun 2000-2023**

Gambar 4.1 menunjukkan tren emisi CO<sub>2</sub> (dalam ton per kapita) yang mengalami peningkatan pada awal periode 2000-2013 seiring dengan pertumbuhan ekonomi, meningkatnya penggunaan energi berbasis fosil, serta ekspansi sektor industri di berbagai negara. Namun, sejak tahun 2014 tren rata-rata emisi mulai menurun, yang mencerminkan adanya pergeseran struktur energi global, peningkatan pemanfaatan energi terbarukan, serta penerapan efisiensi energi khususnya di negara maju. Penurunan tajam pada tahun 2020 mencerminkan dampak perlambatan aktivitas ekonomi global akibat pandemi COVID-19. Untuk melihat persebaran emisi CO<sub>2</sub> per kapita antar negara, disajikan dalam bentuk grafik boxplot pada Gambar 4.2.



Sumber : Diolah dari World Bank, tahun 2000-2023

**Gambar 4.2 Distribusi Emisi CO<sub>2</sub> per Kapita di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023**

Gambar 4.2 menunjukkan distribusi emisi CO<sub>2</sub> per kapita di 50 negara. Grafik ini menyajikan nilai emisi CO<sub>2</sub> tiap tahun ke dalam lima ukuran utama, yaitu minimum, kuartil pertama (Q1), median, kuartil ketiga (Q3), dan maksimum. Kotak antara Q1 dan Q3 menunjukkan konsentrasi sebagian besar negara, garis tengah kotak menggambarkan median, sementara *whiskers* memperlihatkan rentang nilai terendah hingga tertinggi.

Dari grafik tersebut terlihat bahwa sebagian besar negara dalam sampel memiliki emisi CO<sub>2</sub> per kapita yang terkonsentrasi pada kisaran 0-20 metrik ton per kapita. Namun, titik-titik di atas *whiskers* menunjukkan adanya outlier, yakni ada beberapa negara dengan tingkat emisi jauh lebih tinggi dibandingkan lainnya. Outlier ini muncul hampir di setiap tahun dan umumnya berasal dari negara dengan penggunaan energi fosil yang intensif untuk berbagai aktivitas.

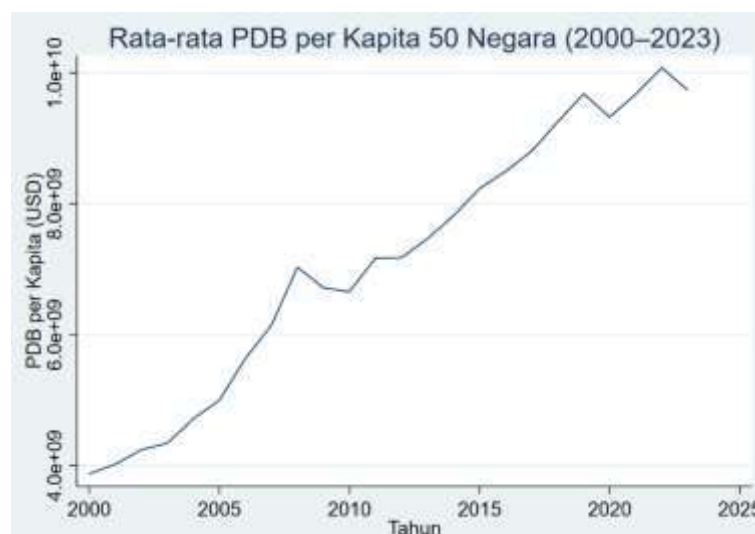
Persebaran emisi juga menunjukkan dinamika yang menarik. Pada awal periode (2000-2010), rentang antar negara relatif lebih lebar, yang menandakan ketimpangan emisi yang besar. Kemudian setelah tahun 2014, variasi tersebut mulai mengecil seiring berkembangnya energi terbarukan dan kebijakan pengurangan emisi. Penurunan outlier pada tahun 2020-2021 turut mencerminkan dampak pandemi COVID-19 yang menekan aktivitas ekonomi dan konsumsi energi. Grafik bloxpot ini memperlihatkan bagaimana perubahan

emisi CO<sub>2</sub> per kapita tidak terjadi secara merata di 50 negara yang dipilih dalam penelitian.

#### 4.2.2 Produk Domestik Bruto (PDB) Per Kapita

Produk Domestik Bruto (PDB) per kapita dijadikan sebagai tolok ukur untuk melihat sejauh mana kesejahteraan ekonomi suatu negara. Indikator ini diperoleh dengan membagi total PDB dengan jumlah penduduk, sehingga mencerminkan rata-rata nilai ekonomi yang dihasilkan setiap individu. Dengan cara itu, PDB per kapita tidak hanya menunjukkan tingkat pembangunan, tetapi juga kapasitas suatu negara dalam menciptakan nilai tambah ekonomi. Dalam penelitian ini, data PDB per kapita dari 50 negara selama periode 2000-2023 digunakan sebagai variabel untuk menggambarkan dinamika pertumbuhan ekonomi global.

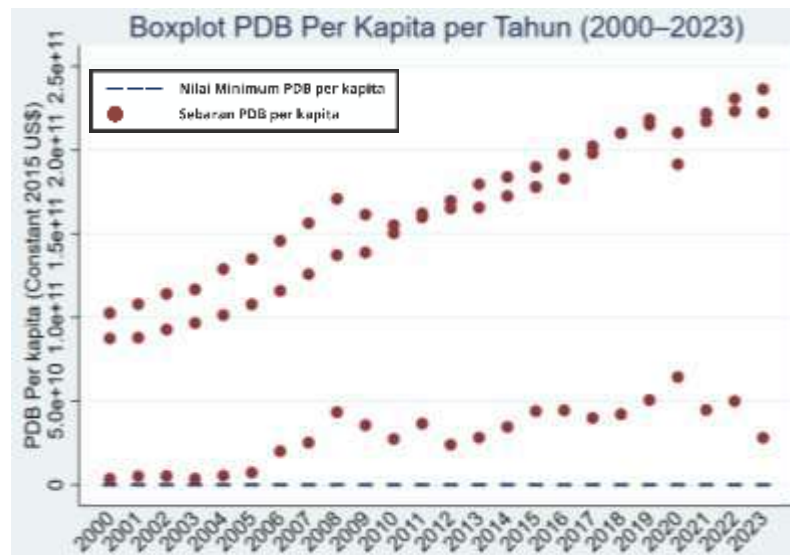
Kenaikan PDB per kapita biasanya berjalan seiring dengan meningkatnya aktivitas ekonomi, produktivitas, kemajuan teknologi, dan akumulasi modal. Sebaliknya, penurunan PDB per kapita menjadi sinyal perlambatan ekonomi, krisis keuangan, seperti pada krisis keuangan global 2008 dan masa pandemi COVID-19. Gambar 4.3 di bawah ini memperlihatkan tren rata-rata PDB per kapita di 50 negara pada tahun 2000-2023.



Sumber : Diolah dari World Bank, tahun 2000-2023

**Gambar 4. 3 Tren Rata -Rata PDB per kapita di 50 Negara Tahun 2000-2023**

Berdasarkan gambar 4.3, rata-rata PDB per kapita menunjukkan tren peningkatan yang konsisten sepanjang dua dekade terakhir. Pada awal tahun 2000, nilai rata-rata masih berada di kisaran 4.000 dolar AS, lalu secara perlahan terus naik hingga melampaui 9.000 dolar AS pada 2023 meskipun sempat melemah akibat krisis keuangan global 2008-2009. Memasuki periode 2010, tren kembali bergerak naik dengan stabil hingga mencapai periode 2019. Pada 2020-2021 muncul gejolak yang besar kemungkinannya dipicu oleh pandemi COVID-19, namun setelah itu nilai rata-rata kembali menanjak dan mencapai titik tertinggi pada 2022, sebelum sedikit terkoreksi di 2023. Secara keseluruhan, pola ini menegaskan bahwa 50 negara dalam sampel mengalami pertumbuhan ekonomi jangka panjang yang relatif kuat. Distribusi PDB per kapita disajikan pada Gambar 4.4.



Sumber : Diolah dari World Bank, tahun 2000-2023

**Gambar 4.4 Distribusi Emisi CO<sub>2</sub> per Kapita di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023**

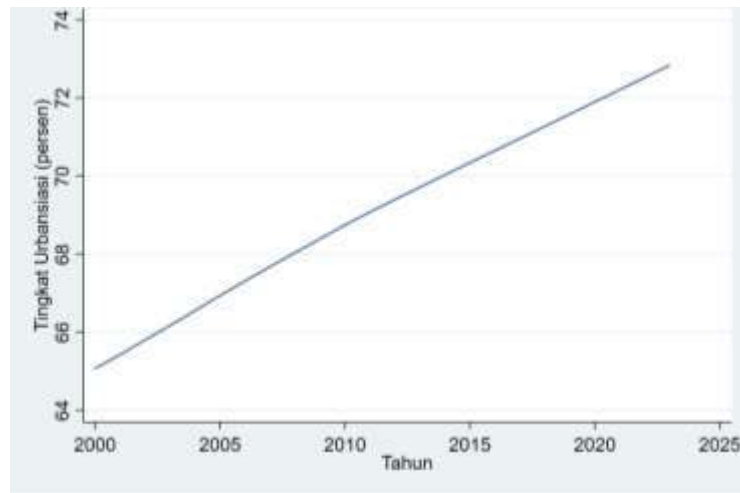
Grafik 4.4 distribusi PDB per kapita (dalam harga konstan 2015, US\$) memperlihatkan distribusi pendapatan dari 50 negara selama periode 2000-2023. Titik merah menunjukkan sebaran nilai PDB per kapita. Grafik ini menunjukkan terdapat adanya tiga kelompok negara, yaitu kelompok negara dengan PDB per kapita tinggi yang ditunjukkan pada titik merah di bagian atas,

kelompok menengah (*upper-middle income*), serta kelompok berpendapatan rendah yang berada di bagian bawah dengan nilai mendekati nol.

Pola sebaran titik menunjukkan tren peningkatan pendapatan secara global, ditandai dengan naiknya posisi kluster negara berpendapatan tinggi dan menengah dari tahun ke tahun. Namun, jarak antarkelompok negara semakin melebar, yang menandakan adanya ketimpangan pendapatan yang tinggi (*highly skewed*). Hal ini tercermin dari posisi Q1, median, dan Q3 yang relatif berdekatan pada level rendah, sementara negara dengan pendapatan tinggi jauh di atas rentang tersebut. Perbedaan ini menunjukkan adanya ketimpangan global dan memperkuat alasan penggunaan *Panel Quantile Regression* dalam penelitian ini, karena hubungan antara PDB dan emisi CO<sub>2</sub> per kapita dapat dianalisis secara lebih mendalam pada kelompok negara dengan tingkat PDB per kapita yang berbeda.

#### **4.2.3 Tingkat Urbanisasi**

Tingkat urbanisasi menjadi salah satu indikator utama dalam menjelaskan proses transformasi struktural suatu negara, khususnya peralihan aktivitas ekonomi dan penduduk dari kawasan perdesaan menuju perkotaan. Fenomena ini umumnya berjalan seiring dengan berkembangnya sektor industri dan perdagangan, serta semakin luasnya akses masyarakat terhadap infrastruktur, pendidikan, pelayanan publik dan peningkatan produktivitas perekonomian. Namun, bertambahnya jumlah penduduk perkotaan juga membawa konsekuensi berupa meningkatnya kebutuhan energi, transportasi, perumahan, dan aktivitas konsumsi, yang pada akhirnya dapat menimbulkan tekanan terhadap lingkungan, termasuk kenaikan emisi CO<sub>2</sub> per kapita (Ogata, 2024). Untuk memahami dinamika urbanisasi dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap perkembangan rata-rata tingkat urbanisasi di 50 negara selama periode 2000-2023, yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut.

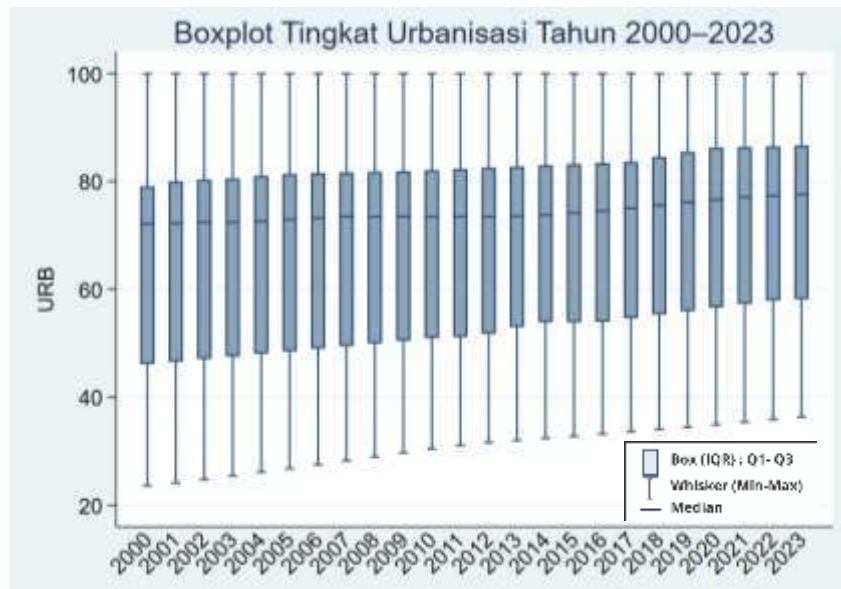


Sumber : Diolah dari World Bank, tahun 2000-2023

**Gambar 4.5 Tren Rata-rata Tingkat Urbanisasi di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023**

Berdasarkan Gambar 4.5, tren rata-rata tingkat urbanisasi di 50 negara menunjukkan adanya tren peningkatan yang konsisten dari waktu ke waktu. Pada awal periode penelitian, sekitar tahun 2000, rata-rata tingkat urbanisasi berada di kisaran 65%, lalu meningkat secara bertahap hingga mencapai sekitar 73-74% pada tahun 2023. Kenaikan ini mencerminkan adanya pergeseran struktur penduduk dari wilayah perdesaan menuju perkotaan. Proses urbanisasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain pertumbuhan sektor industri, meningkatnya peluang kerja di kota, modernisasi ekonomi, serta pembangunan infrastruktur kota yang semakin intensif.

Walaupun terdapat perbedaan yang cukup besar antarnegara, mulai dari negara dengan tingkat urbanisasi rendah hingga negara yang hampir seluruh penduduknya tinggal di perkotaan, secara umum kecenderungan di 50 negara tetap menunjukkan arah yang sama, yaitu meningkatnya proporsi penduduk perkotaan dari tahun ke tahun. Kondisi ini menunjukkan bahwa urbanisasi merupakan proses struktural jangka panjang yang berimplikasi luas terhadap pembangunan, termasuk pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi dan emisi CO<sub>2</sub>.



Sumber : Diolah dari World Bank, tahun 2000-2023

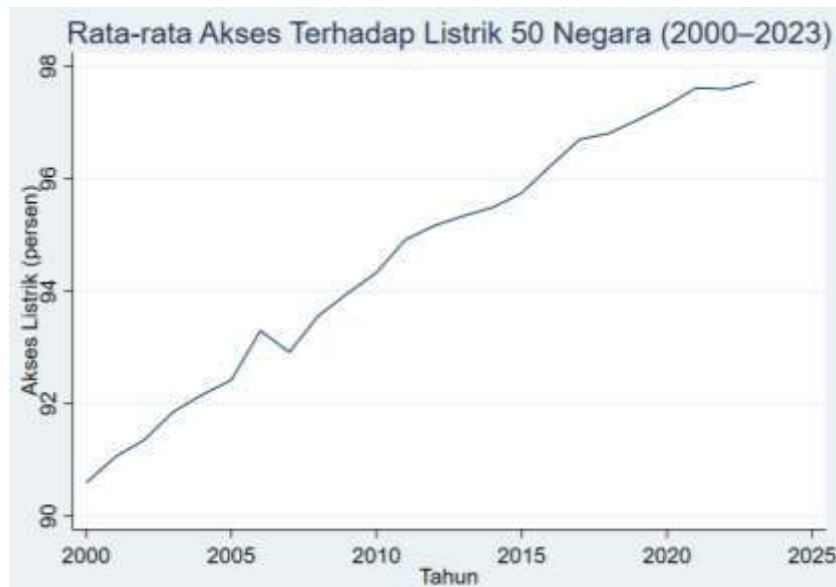
**Gambar 4.6 Distribusi Tingkat Urbannisasi di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023**

Berdasarkan gambar 4.6 persebaran tingkat urbanisasi antar negara terlihat cukup lebar di setiap tahun pengamatan. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan yang nyata antaranegara dengan proporsi penduduk perkotaan yang masih rendah dan negara yang sudah sangat urban. Pada awal periode penelitian, tingkat urbanisasi minimum masih berada di kisaran 20-30 %, sedangkan nilai maksimum mendekati 100 %. Median tingkat urbanisasi pada periode awal berada di kisaran 70 %, dengan kuantil bawah (Q1) sekitar 40 % dan kuartil atas (Q3) sekitar 80 %. Kondisi ini menunjukkan bahwa separuh dari negara sampel telah memiliki tingkat urbanisasi relatif tinggi. Seiring berjalannya waktu hingga tahun 2023, distribusi urbanisasi bergeser kearah yang lebih tinggi, menandakan bahwa hampir seluruh negara mengalami peningkatan proporsi penduduk perkotaan.

#### 4.2.4 Akses Listrik

Akses listrik merupakan salah satu indikator penting dalam pembangunan ekonomi karena mencerminkan tingkat ketersediaan infrastruktur dasar yang menunjang aktivitas produksi, layanan pendidikan, kesehatan, serta kesejahteraan masyarakat. Peningkatan akses dan jangkauan listrik juga

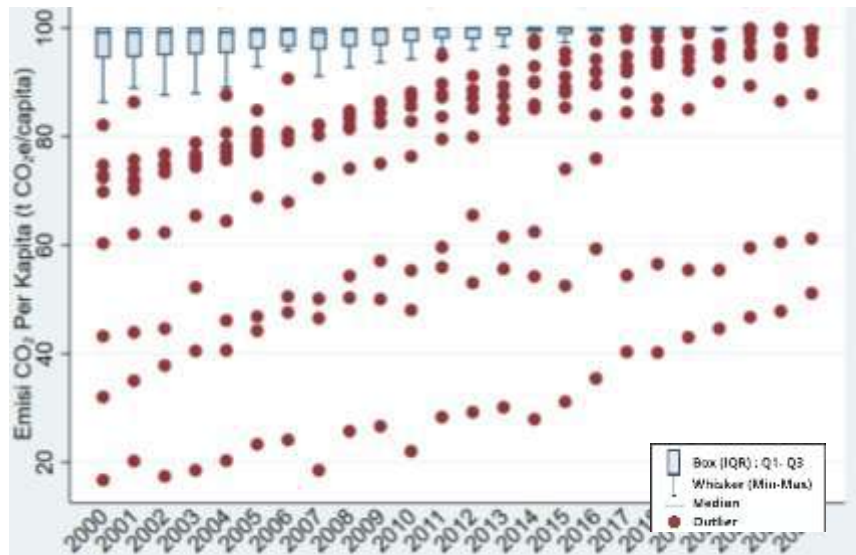
mempercepat pertumbuhan ekonomi sekaligus peningkatan kualitas hidup penduduk. Berikut grafik tren rata-rata persentase akses listrik untuk 50 negara tahun 2000-2023 yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Sumber : Diolah dari World Bank, tahun 2000-2023

**Gambar 4.7 Tren Rata -Rata Persentase Akses Listrik di 50 Negara Tahun 2000-2023**

Berdasarkan Grafik 4.7 terlihat adanya tren peningkatan yang konsisten dari tahun ke tahun. Pada periode 2000, rata-rata akses listrik masih berada di kisaran 90 %, namun secara bertahap terus naik hingga melampaui 97 % pada 2023. Pola kenaikan ini menunjukkan bahwa elektrifikasi di negara-negara sampel mengalami perkembangan yang sangat pesat dalam lebih dari dua dekade terakhir. Secara rata-rata akses listrik di 50 negara menunjukkan peningkatan yang stabil dari tahun 2000-2023, distribusi data pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa perkembangan akses listrik tersebut tidak berlangsung merata di semua negara sampel.



Sumber : Diolah dari World Bank, tahun 2000-2023

**Gambar 4.8 Distribusi Tingkat Akses Listrik di 50 Negara: Box & Whisker Plot 2000–2023**

Berdasarkan Grafik 4.8 di 50 negara selama periode 2000-2023, bahwa distribusi data pada setiap tahun didominasi oleh nilai yang sangat tinggi mendekati 100 % yang menunjukkan bahwa mayoritas penduduk di sebagian besar negara pada sampel telah menikmati akses listrik hampir secara merata, sementara nilai minimum masih relatif rendah bahkan kurang dari 30 %. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan cukup besar dalam akses listrik antarnegara pada awal tahun 2000. Median data akses listrik sepanjang periode berada sangat dekat dengan 100 %, menandakan bahwa lebih dari separuh negara sampel telah memiliki tingkat akses listrik yang hampir keseluruhan. Kuartil atas (Q3) juga konsisten berada di kisaran 99-100 %, yang berarti 75 % negara telah memiliki akses listrik yang sangat tinggi.

Pada awal periode tampak adanya beberapa nilai ekstrim di bagian bawah distribusi yang muncul sebagai outlier dengan tingkat akses listrik sangat rendah. Titik-titik ini menunjukkan bahwa sebagian negara masih menghadapi keterbatasan serius dalam elektrifikasi. Seiring berjalannya waktu hingga mencapai tahun 2023, batas bawah distribusi (whisker bawah) terus mengalami peningkatan, jumlah outlier berkurang, dan persebaran data semakin terkonsentrasi di bagian atas yang mencerminkan adanya perbaikan signifikan

di negara-negara dengan akses listrik terendah serta terjadinya konvergensi tingkat elektrifikasi antar negara menuju kondisi yang lebih merata.

#### 4.2.5 Pandemi COVID-19

Pandemi COVID-19 merupakan peristiwa global yang membawa dampak besar terhadap aktivitas sosial, ekonomi, mobilitas penduduk, dan penggunaan energi di berbagai negara. Sejak WHO menetapkan COVID-19 sebagai pandemi pada Maret 2020, hampir seluruh negara menerapkan kebijakan pembatasan sosial, penutupan wilayah, penghentian sementara aktivitas industri, serta pembatasan transportasi. Kebijakan-kebijakan tersebut secara langsung mempengaruhi konsumsi energi dan aktivitas sektor penghasil emisi, sehingga berpotensi mengubah tingkat emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan.

COVID-19 dioperasionalkan sebagai variabel *dummy* untuk membedakan kondisi sebelum dan selama pandemi. Variabel ini diberi nilai 0 untuk periode 2000-2019, yang merepresentasikan kondisi normal sebelum terjadi gangguan pandemi, dan nilai 1 untuk periode 2020-2023, yaitu masa ketika pandemi memengaruhi aktivitas ekonomi dan energi secara luas. Penetapan tahun 2020 sebagai awal pandemi didasarkan pada fakta bahwa kebijakan mitigasi seperti *lockdown*, pembatasan perjalanan, dan pengurangan kapasitas industri mulai diberlakukan secara serentak pada tahun tersebut.

Dummy COVID-19 digunakan untuk menangkap adanya *structural shock* yang dialami seluruh negara terkait perubahan perilaku energi dan mobilitas. Variabel ini berfungsi sebagai indikator periode yang menandai adanya perubahan lingkungan global yang dapat memengaruhi fluktuasi emisi CO<sub>2</sub>. Dummy COVID-19 berfungsi untuk mengidentifikasi apakah pandemi menekan emisi melalui penurunan mobilitas dan produksi, atau justru memicu *rebound* emisi pada masa pemulihan ekonomi.

**Tabel 4. 1 Kategori Variabel Dummy COVID-19**

<b>Kode Dummy</b>	<b>Tahun</b>	<b>Keterangan</b>
0	2000-2019	Sebelum pandemi
1	2020-2023	Selama pandemi

## 4.2 Hasil Penelitian

### 4.2.1 Uji Asumsi Klasik

#### Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas dilakukan untuk memastikan apakah antarvariabel independen dalam model regresi terdapat korelasi yang terlalu kuat. Isu multikolinearitas yang tinggi dapat membuat estimasi koefisien menjadi tidak stabil. Pengujian dilakukan menggunakan *Variance Inflation Factor* (VIF) dengan indikasi sebagai berikut:

- 1) Jika  $VIF < 10$ , maka model dinyatakan bebas dari masalah multikolinearitas.
- 2) Jika  $VIF > 10$ , maka terjadi multikolinearitas sehingga model tidak lolos uji.

**Tabel 4. 2 Hasil Uji Multikolinearitas**

Variabel	VIF	1/VIF
acel	1.36	0.737869
urb	1.35	0.740101
covid19	1.01	0.989800
ln_Pdb	1.01	0.994913
Mean VIF	1.18	

Hasil uji multikolinearitas menunjukkan bahwa seluruh nilai VIF berada di bawah angka 10, dengan rata-rata sebesar 1.18. Hasil uji ini menunjukkan tidak adanya masalah multikolinearitas antar variabel independen atau lolos dari isu multikolinearitas.

### 4.2.2 Estimasi Panel Quantile Regression (PQR)

*Panel Quantile Regression* (PQR) merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis pengaruh variabel independent terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada berbagai tingkat distribusi emisi, tidak hanya pada nilai rata-ratanya. Estimasi yang dilakukan dalam penelitian ini berada pada kuantil Q10, Q25, Q50, Q75, dan Q90, dimana kuantil rendah menggambarkan negara dengan emisi rendah, sementara kuantil tinggi mencerminkan negara dengan emisi tinggi hingga ekstrem. Metode PQR relevan karena karakteristik emisi CO<sub>2</sub> antarnegara sangat beragam (heterogen) dan memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai keterkaitan faktor ekonomi dan struktural terhadap

emisi CO<sub>2</sub> per kapita dibandingkan metode OLS yang hanya berfokus pada rata rata. Tabel berikut ini menyajikan hasil estimasi PQR untuk setiap kuantil

**Tabel 4. 3 Hasil Estimasi Panel Quantile Regression (PQR)**

Variabel y = ln_Co2					
VAR	Q10	Q25	Q50	Q75	Q90
ln_Pdb	0.268*** (0.060)	0.243*** (0.045)	0.200*** (0.029)	0.160*** (0.035)	0.141*** (0.044)
urb	0.016*** (0.004)	0.014*** (0.003)	0.010*** (0.002)	0.007*** (0.003)	0.005* (0.003)
acel	0.012*** (0.002)	0.013*** (0.002)	0.013*** (0.001)	0.014*** (0.001)	0.014*** (0.002)
covid19	-0.219*** (0.031)	-0.187*** (0.023)	-0.133*** (0.016)	-0.082*** (0.018)	-0.058** (0.023)
Constant					
Observations	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200

Robust standard errors in parentheses  
\*\*\* p<0.01, \*\* p<0.05, \* p<0.1

Berdasarkan hasil estimasi *Panel Quantile Regression* pada tabel 4.8 menunjukkan persamaan regresi sebagai berikut:

**a. Kuantil = Q10**

$$Q_{0.10}(\ln CO2_{it}) = \alpha_i + 0.268 \ln PDB_{it} + 0.016 Urban_{it} + 0.012 Acel_{it} - 0.2191 Covid_{it}$$

**b. Kuantil = Q25**

$$Q_{0.25}(\ln CO2_{it}) = \alpha_i + 0.243 \ln PDB_{it} + 0.014 Urban_{it} + 0.013 Acel_{it} - 0.187 Covid_{it}$$

**c. Kuantil = Q50**

$$Q_{0.50}(\ln CO2_{it}) = \alpha_i + 0.2000 \ln PDB_{it} + 0.010 Urban_{it} + 0.0134 Acel_{it} - 0.133 Covid_{it}$$

**d. Kuantil = Q75**

$$Q_{0.75}(\ln CO2_{it}) = \alpha_i + 0.160 \ln PDB_{it} + 0.007 Urban_{it} + 0.014 Acel_{it} - 0.082 Covid_{it}$$

**e. Kuantil = Q90**

$$Q_{0.90}(\ln CO2_{it}) = \alpha_i + 0.141 \ln PDB_{it} + 0.0053 Urban_{it} + 0.014 Acel_{it} - 0.058 Covid_{it}$$

### 4.3 Pembahasan

Hasil estimasi dan pembahasan mengenai pengaruh variabel independent yaitu PDB per kapita, tingkat urbanisasi, akses listrik dan COVID-19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebagai variabel dependen ditampilkan pada tabel 4.9 di bawah ini:

**Tabel 4. 4 Rekap Hasil Estimasi Panel Quantile Regression (PQR)**

Variabel Independen	Kuanil	Pengaruh	Signifikansi
PDB Per kapita (ln_PDB)	Q10	Positif	Signifikan
	Q25	Positif	Signifikan
	Q50	Positif	Signifikan
	Q75	Positif	Signifikan
	Q90	Positif	Signifikan
Tingkat Urbanisasi (urb)	Q10	Positif	Signifikan
	Q25	Positif	Signifikan
	Q50	Positif	Signifikan
	Q75	Positif	Signifikan
	Q90	Positif	Tidak signifikan
Akses Listrik (acel)	Q10	Positif	Signifikan
	Q25	Positif	Signifikan
	Q50	Positif	Signifikan
	Q75	Positif	Signifikan
	Q90	Positif	Signifikan
Pandemi COVID-19 (covid19)	Q10	Negatif	Signifikan
	Q25	Negatif	Signifikan
	Q50	Negatif	Signifikan
	Q75	Negatif	Signifikan
	Q90	Negatif	Signifikan

Untuk memperdalam interpretasi hasil regresi kuantil, perlu memahami terlebih dahulu karakteristik ekonomi dan energi dari negara-negara yang berada pada tiap kuantil distribusi emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Setiap kuantil menggambarkan kelompok negara dengan tingkat emisi yang berbeda, sehingga respon negara-negara itu terhadap variabel independen tidak dapat disamakan. Tabel 4.10 berikut disusun untuk merangkum negara mana saja yang berada di setiap distribusi, memperlihatkan karakteristik emisi dan ekonomi di negara tersebut.

**Tabel 4. 5 Klasifikasi Negara Berdasarkan Kuantil Emisi CO<sub>2</sub>**

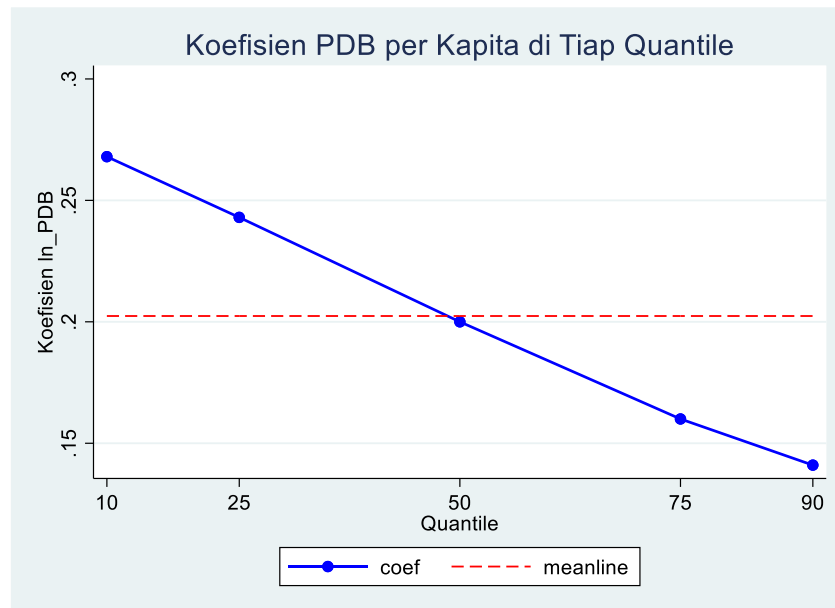
<b>Kuantil</b>	<b>Negara</b>	<b>Variabel Berpengaruh</b>	<b>Karakteristik Negara</b>
Q10 (Emisi sangat rendah)	India, Indonesia, Vietnam, Pakistan, Filipina, Bangladesh, Nigeria, Kolombia, Maroko, Peru, Zambia	ln_PDB (0.268***) Urbanisasi (0.016***) Akses Listrik (0.012***) Covid-19 (-0.219***)	Negara berkembang, pembangunan ekonomi berbasis energi fosil. Pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, akses listrik menaikkan emisi, COVID menurunkan emisi
Q25 (Emisi rendah)	Meksiko, Brasil, Thailand, Mesir, Argentina, Irak, Aljazair, Uzbekistan, Chile, Romania	ln_PDB (0.243***) Urbanisasi (0.014***) Akses Listrik (0.013***) Covid-19 (-0.187***)	Transisi industri, urbanisasi meningkat mendorong peningkatan konsumsi energi
Q50 (Emisi menengah)	China, Iran, Afrika Selatan, Turki, Inggris, Italia, Prancis, Malaysia, Spanyol, Yunani	ln_PDB (0.200***) Urbanisasi (0.010***) Akses Listrik (0.013***) Covid-19 (-0.133***)	Efisiensi mulai meningkat, Industri besar dan sektor jasa dominan
Q75 (Emisi Tinggi)	Jepang, Jerman, Korea Selatan, Polandia, Singapura, Belanda, Belgia, Czechia, Israel	ln_PDB (0.160***) Urbanisasi (0.007***) Akses Listrik (0.014***)	Negara maju dengan konsumsi energi tinggi dan teknologi maju

		Covid-19 (-0.082***)	
Q90 (Emisi Sangat Tinggi)	AS, Rusia, Arab Saudi, Australia, UEA, Kazakhstan, Qatar, Kuwait, Oman	ln_PDB (0.141***) Akses Listrik (0.014***) Covid-19 (-0.058**)	Ekonomi berbasis energi fosil, urbanisasi tidak lagi signifikan

#### 4.3.1 Pengaruh PDB Per Kapita terhadap Emisi CO<sub>2</sub>

PDB per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di seluruh kuantil (Q10-Q90) dengan koefisien cenderung menurun seiring meningkatnya kuantil.

- a. Pada kuantil Q10 koefisien PDB per kapita sebesar 0.268, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.268% pada negara dengan tingkat emisi rendah.
- b. Pada kuantil Q25 koefisien PDB per kapita sebesar 0.243, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.243%.
- c. Pada kuantil Q50 koefisien PDB per kapita sebesar 0.200, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.160%.
- d. Pada kuantil Q75 koefisien PDB per kapita sebesar 0.160, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.160%.
- e. Pada kuantil Q90 koefisien PDB per kapita sebesar 0.141, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% hanya akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.141%.



**Gambar 4.9 Distribusi Koefisien PDB per Kapita Tiap Kuantil**

Grafik 4.9 distribusi koefisien PDB per kapita di tiap kuantil semakin memperlihatkan pola penurunan bahwa PDB per kapita berpengaruh positif terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di seluruh kuantil, meskipun pengaruhnya cenderung melemah pada kuantil yang lebih tinggi.

**a. Q10: Negara dengan emisi sangat rendah**

Pada Q10 didominasi oleh negara seperti India, Indonesia, Vietnam, Pakistan, Filipina, Bangladesh, Nigeria, Kolombia, Maroko, Peru, Zambia. Pada kuantil Q10 ini koefisien PDB per kapita sebesar 0.268, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.268% pada negara dengan tingkat emisi rendah.

Pada kelompok ini, PDB per kapita berpengaruh dalam meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Hal tersebut mencerminkan bahwa proses peningkatan aktivitas ekonomi yang menghasilkan emisi, seperti produksi, konsumsi dan mobilitas. Negara dengan emisi rendah umumnya masih berada pada fase awal hingga menengah pembangunan, di mana pertumbuhan PDB per kapita sangat bergantung pada sektor industri manufaktur, konstruksi, serta ekspansi berbasis energi fosil. (*International Energy Agency (IEA), 2025a*) mencatat bahwa di banyak negara berkembang, peningkatan output industri dan konsumsi energi berbasis fosil (batu bara dan gas) masih menjadi pendorong utama

pertumbuhan emisi karbon. Hal ini mengindikasikan bahwa negara dengan emisi relatif rendah cenderung lebih sensitif terhadap pertumbuhan ekonomi, dimana peningkatan pendapatan masyarakat pada tahap awal hingga menengah pembangunan mendorong ekspansi aktivitas ekonomi. Negara-negara ini berada dalam fase *scale effect*, di mana aktivitas ekonomi yang meningkat langsung berimplikasi pada konsumsi energi dan emisi, dimana teknologi ramah lingkungan maupun regulasi lingkungan masih terbatas.

**b. Q25: Negara dengan emisi rendah-menengah**

Negara pada Q25 adalah Meksiko, Brasil, Thailand, Mesir, Argentina, Irak, Aljazair, Uzbekistan, Chile, dan Romania. Pada kuantil Q25 ini koefisien PDB per kapita sebesar 0.243, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.243%.

Pada kelompok ini, PDB per kapita tetap berkontribusi terhadap emisi CO<sub>2</sub> tetapi dengan intensitas yang lebih rendah dibandingkan Q10. Kondisi ini menunjukkan adanya diversifikasi struktur ekonomi, peningkatan efisiensi produksi, serta awal penerapan kebijakan lingkungan. Meski demikian, pertumbuhan ekonomi masih bergantung pada sektor padat energi seperti industri pengolahan dan transportasi, sehingga emisi tetap meningkat seiring naiknya pendapatan. Artinya, pertumbuhan ekonomi masih mendorong emisi, tetapi mulai muncul tanda-tanda pengendalian.

**c. Q50: Negara dengan emisi menengah**

Kuantil ini didominasi oleh negara China, Iran, Afrika Selatan, Turki, Inggris, Italia, Prancis, Malaysia, Spanyol, dan Yunani. Pada kuantil Q50 koefisien PDB per kapita sebesar 0.200, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.160%

Di kelompok ini, pengaruh PDB terhadap emisi masih signifikan, namun semakin melemah. Hal ini mencerminkan pergeseran dari *scale effect* menuju *efficiency effect*. Negara-negara ini telah mencapai tahap industrialisasi lanjut, mulai mengadopsi teknologi rendah karbon, serta menerapkan regulasi lingkungan yang lebih ketat. Namun, skala ekonomi yang besar terutama di China membuat peningkatan output tetap berkontribusi pada emisi, meskipun

dengan intensitas yang lebih rendah. Dengan demikian, pertumbuhan ekonomi mulai terpisah dari emisi, tetapi belum sepenuhnya.

**d. Q75: Negara dengan emisi tinggi**

Negara yang mendominasi kuantil ini adalah Jepang, Jerman, Korea Selatan, Polandia, Singapura, Belanda, Belgia, Czechia, dan Israel. Pada kuantil Q75 koefisien PDB per kapita sebesar 0.160, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.160%.

Di kelompok ini, pengaruh PDB terhadap emisi semakin kecil. Negara-negara ini umumnya telah mencapai tingkat pendapatan tinggi, mengoptimalkan efisiensi energi, serta menggeser struktur ekonomi ke sektor jasa dan teknologi. Pertumbuhan ekonomi lebih banyak bersumber dari produktivitas dan inovasi, bukan dari konsumsi energi. Kondisi ini menunjukkan fase *advanced decoupling* antara pertumbuhan ekonomi dan emisi.

**e. Q90: Negara dengan emisi sangat tinggi (ekstrem)**

Negara yang mendominasi kuantil ini adalah AS, Rusia, Arab Saudi, Australia, UEA, Kazakhstan, Qatar, Kuwait, dan Oman. Pada kuantil Q90 koefisien PDB per kapita sebesar 0.141, artinya ketika PDB per kapita naik sebesar 1% hanya akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.141%.

Pada kelompok ini, meskipun PDB per kapita sangat tinggi, tambahan pertumbuhan ekonomi tidak lagi berdampak signifikan terhadap emisi. Tingginya emisi absolut lebih disebabkan oleh struktur ekonomi yang berbasis energi fosil, produksi dan ekspor energi, serta pola konsumsi energi yang sangat besar. Dengan demikian, masalah utama bukan terletak pada pertumbuhan ekonominya, melainkan pada fondasi ekonomi yang masih bertumpu pada energi fosil

Hasil ini sesuai dengan konsep *Environmental Kuznets Curve* (EKC) yang menyatakan bahwa pada tingkat pendapatan tertentu, elastisitas hubungan antara pertumbuhan ekonomi (PDB per kapita) dan degradasi lingkungan

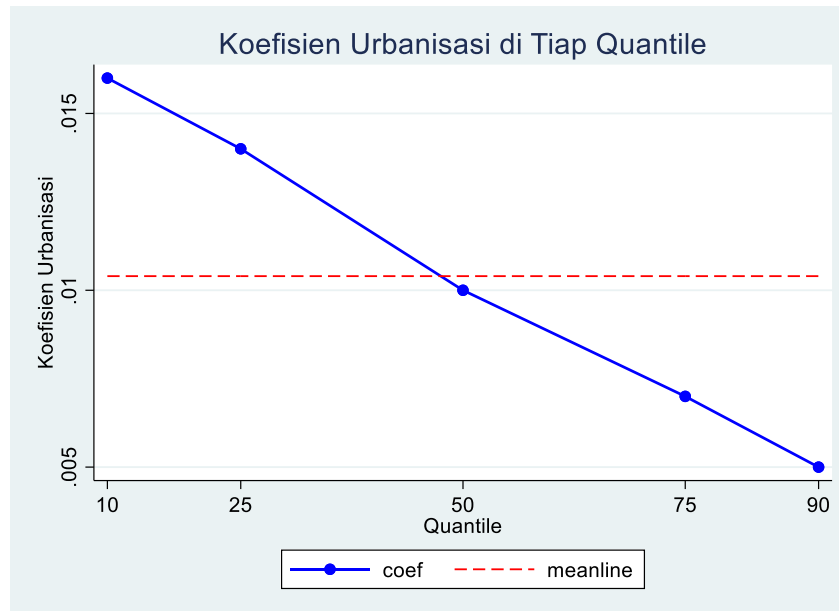
cenderung melemah Todaro & Smith (2014). Penelitian ini juga sejalan dengan literatur oleh Ñ & Narayan (2010) dalam penelitiannya terkait *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menekankan perbedaan elastisitas pendapatan terhadap emisi dalam jangka panjang dan jangka pendek. Hal ini menandakan bahwa sensitivitas emisi terhadap pertumbuhan ekonomi (PDB per kapita) berkurang seiring meningkatnya tahap pembangunan. Walaupun penelitian ini tidak secara eksplisit menunjukkan titik balik penurunan emisi pada level pendapatan tertentu, hasil PQR memperlihatkan pola yang sejalan dengan mekanisme EKC, yaitu melemahnya pengaruh PDB per kapita terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada kuantil emisi yang lebih tinggi. Pengaruh antara PDB per kapita dan emisi CO<sub>2</sub> per kapita bersifat heterogen di sepanjang distribusi emisi, sehingga kurang dapat dijelaskan apabila melalui pendekatan rata-rata.

#### **4.3.2 Pengaruh Tingkat Urbanisasi terhadap Emisi CO<sub>2</sub>**

Urbanisasi berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita pada kuantil rendah hingga menengah (Q10, Q25, Q50, Q75) dan tidak signifikan pada kuantil tertinggi (Q90). Koefisiennya juga menurun seiring meningkatnya tingkat emisi.

- a. Pada kuantil Q10 koefisien tingkat urbanisasi sebesar 0.016, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.6% pada negara dengan tingkat emisi rendah.
- b. Pada kuantil Q25 koefisien tingkat urbanisasi sebesar 0.014, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.4%.
- c. Pada kuantil Q50 koefisien tingkat urbanisasi sebesar 0.010, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.0%.
- d. Pada kuantil Q75 koefisien tingkat urbanisasi sebesar 0.007, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.7%.

- e. Pada kuantil Q90 koefisien tingkat urbanisasi tidak signifikan, artinya peningkatan urbanisasi tidak berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> per kapita.



**Gambar 4.10 Distribusi Koefisien Tingkat Urbanisasi Tiap Kuantil**

Grafik koefisien *PQR* tingkat urbanisasi menunjukkan pola urbanisasi berpengaruh terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita lebih kuat dan signifikan pada kuantil rendah hingga menengah (Q10-Q75), namun pengaruhnya semakin melemah dan tidak signifikan pada kuantil tertinggi (Q90) yaitu pada negara dengan emisi tinggi atau ekstrem. Hasil tersebut menunjukkan bahwa urbanisasi berperan sebagai pendorong utama peningkatan emisi CO<sub>2</sub> per kapita di negara dengan tingkat emisi rendah hingga menengah saja. Namun, pada negara dengan emisi yang sudah sangat tinggi, urbanisasi tidak lagi menjadi faktor pendorong emisi, karena kontribusinya terhadap tambahan emisi relatif kecil dan tidak berpengaruh dibandingkan faktor lain.

**a. Negara dengan emisi sangat rendah Q10**

Pada kuantil Q10 koefisien tingkat urbanisasi sebesar 0.016, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.6% pada negara dengan tingkat emisi sangat rendah. Urbanisasi umumnya masih berada dalam fase ekspansi. Tahap ini ditandai oleh pembangunan infrastruktur fisik secara masif, meningkatnya penggunaan

transportasi berbasis kendaraan pribadi yang meningkatkan mobilitas penduduk, munculnya kawasan permukiman baru, serta terkonsentrasinya aktivitas industri dan ekonomi di wilayah perkotaan. Kondisi tersebut mendorong lonjakan konsumsi energi, terutama energi fosil, sehingga urbanisasi menjadi salah satu faktor utama yang memperbesar emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Selain itu, hasil penelitian ini juga konsisten dengan *Integrated Urbanization-Carbon Framework*, yang melihat dampak urbanisasi terhadap emisi karbon sebagai hasil interaksi sistem alam, sistem lingkungan terbangun, dan sistem sosial institusional. Pada kuantil Q10, sistem lingkungan terbangun (*build environment system*) masih menjadi faktor dominan dalam proses urbanisasi.

#### **b. Negara dengan emisi rendah (Q25)**

Pada kuantil Q25 koefisien tingkat urbanisasi sebesar 0.014, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.4%. Pada kuantil Q25, pengaruh urbanisasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita tetap positif dan signifikan, tetapi koefisiennya lebih kecil dibanding Q10. Negara seperti Meksiko, Brasil, Thailand, dan Argentina sedang mengalami transisi ekonomi, di mana urbanisasi tidak hanya memperluas kota, tetapi juga diiringi perubahan struktur sektor ekonomi. Pada tahap ini, urbanisasi mulai diimbangi oleh efisiensi energi, penerapan teknologi yang lebih baik, serta pergeseran dari sektor primer ke manufaktur dan jasa. Dampaknya terhadap emisi masih ada, namun tidak sebesar pada negara beremisi sangat rendah.

#### **c. Negara dengan emisi menengah (Q50)**

Pada kuantil Q50 koefisien tingkat urbanisasi sebesar 0.010, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.0%. Pada kuantil Q50, yang mencakup negara seperti China, Inggris, Prancis, Italia, dan Malaysia, pengaruh urbanisasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita tetap signifikan namun semakin melemah. Tingkat urbanisasi di negara-negara ini sudah relatif tinggi dan stabil. Urbanisasi lebih bersifat konsolidatif, fokus pada optimalisasi kota yang ada daripada

ekspansi besar-besaran. Kebijakan perkotaan yang lebih terencana, seperti transportasi massal, efisiensi bangunan, dan regulasi lingkungan, membuat tambahan urbanisasi hanya sedikit meningkatkan emisi.

**d. Negara dengan emisi tinggi (Q75)**

Pada kuantil Q75 koefisien tingkat urbanisasi sebesar 0.007, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0.7%. Pada kuantil Q75, yang mencakup negara maju seperti Jepang, Jerman, Korea Selatan, dan Belanda, urbanisasi masih berpengaruh positif namun dengan koefisien yang sangat kecil. Tingkat urbanisasi di negara-negara ini sudah sangat tinggi, sehingga tambahan penduduk kota tidak otomatis menaikkan konsumsi energi. Dukungan teknologi ramah lingkungan, standar efisiensi energi yang ketat, dan penggunaan energi terbarukan membuat urbanisasi di sini lebih rendah karbon.

**e. Negara dengan emisi sangat tinggi (Q90)**

Pada kuantil Q90 koefisien tingkat urbanisasi tidak signifikan, artinya peningkatan urbanisasi tidak berpengaruh terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Pada negara dengan tingkat emisi yang sudah sangat tinggi (Q90), urbanisasi cenderung berada pada tahap jenuh (*urban maturity*). Pada fase ini, struktur perkotaan relatif stabil dan tidak lagi berkembang secara ekstensif. Kota-kota besar dan urban telah memiliki sistem transportasi publik yang sudah terintegrasi, standar efisien energi pada pembangunan, kebijakan tata ruang yang lebih ketat dan terarah, serta penerapan teknologi ramah lingkungan. Pertumbuhan penduduk perkotaan lebih banyak terjadi melalui intensifikasi dan optimalisasi kota yang sudah ada, bukan lagi melalui ekspansi wilayah baru. Akibatnya, tambahan urbanisasi tidak otomatis langsung meningkatkan konsumsi energi maupun emisi CO<sub>2</sub> secara signifikan. Dengan kata lain, pada tahap *urban maturity*, pengaruh marginal urbanisasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita menjadi semakin kecil dan sistem sosial institusional berperan lebih dominan. Penelitian ini menegaskan bahwa hubungan antara urbanisasi dan emisi bersifat non-linear serta kontekstual, bergantung pada tingkat kematangan pembangunan perkotaan.

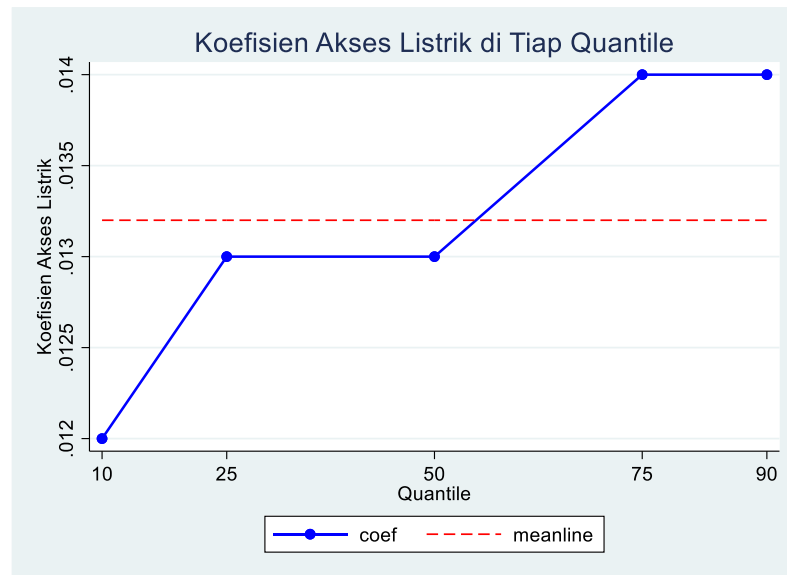
Hasil penelitian ini sejalan dengan *Teori Interaksi Urbanisasi-Lingkungan*, yang menekankan bahwa hubungan antara urbanisasi dan degradasi lingkungan bersifat dinamis serta bergantung pada tahap perkembangan kota. Penelitian ini juga sejalan dengan literatur oleh Ma dan Ogata (2024) menjelaskan hubungan antara urbanisasi dan emisi yang bersifat heterogen dan tidak selalu positif, penelitian ini menggunakan data panel 136 negara pada periode 1990-2020 dengan pendekatan STIRPAT dan System-GMM. Di banyak negara, khususnya yang telah mengalami transformasi struktur energi dan mencapai tahap pembangunan perkotaan yang lebih matang, urbanisasi justru memberikan pengaruh negatif terhadap emisi karbon. Penelitian ini memperkuat hasil penelitian bahwa pada kuantil emisi tinggi, tambahan urbanisasi tidak lagi menjadi kontributor utama peningkatan emisi CO<sub>2</sub> per kapita, melainkan mencerminkan fase kematangan perkotaan (*urban maturity*).

#### **4.3.3 Pengaruh Tingkat Akses Listrik terhadap Emisi CO<sub>2</sub>**

Akses listrik berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di seluruh tingkat kuantil (Q10, Q25, Q50, Q75, Q90). Koefisien akses listrik juga cenderung semakin meningkat pada kuantil yang lebih tinggi yang menunjukkan dampak akses listrik terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita semakin kuat pada negara dengan tingkat emisi menengah hingga tinggi.

- a. Pada kuantil Q10 koefisien akses listrik sebesar 0.012, artinya ketika akses listrik naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.2% pada negara dengan tingkat emisi rendah.
- b. Pada kuantil Q25 koefisien akses listrik sebesar 0.013, artinya ketika akses listrik naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.3%.
- c. Pada kuantil Q50 koefisien akses listrik sebesar 0.013, artinya ketika akses listrik naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.3%.
- d. Pada kuantil Q75 koefisien akses listrik sebesar 0.014, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.4%.

- e. Pada kuantil Q90 koefisien akses listrik sebesar 0.014, artinya ketika tingkat urbanisasi naik sebesar 1 % akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.4% dan mencerminkan pengaruh yang konsisten dan lebih kuat pada kuantil 90.



**Gambar 4.11 Distribusi Koefisien Tingkat Akses Listrik Tiap Kuantil**

Grafik koefisien Akses Listrik di tiap kuantil memperlihatkan pola keatas bahwa akses listrik memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di seluruh kuantil, dengan kecenderungan semakin kuat pada kuantil tinggi hingga ekstrem. Hasil estimasi ini menunjukkan bahwa perluasan elektrifikasi secara konsisten mendorong peningkatan emisi CO<sub>2</sub> per kapita baik di negara dengan tingkat emisi rendah maupun tinggi. Artinya, elektrifikasi masih menjadi salah satu faktor utama yang memperbesar emisi CO<sub>2</sub> per kapita terutama di kelompok negara beremisi tinggi.

**a. Negara dengan emisi sangat rendah Q10**

Pada kuantil paling rendah (Q10), variabel akses listrik memiliki koefisien 0,01246 dan signifikan. Artinya, setiap kenaikan akses listrik sebesar 1% akan mendorong peningkatan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.2%, dengan asumsi faktor lain tetap. Negara seperti India, Indonesia, Vietnam, Bangladesh, Nigeria, dan Zambia masih berada pada tahap awal elektrifikasi. Perluasan jaringan listrik di kelompok ini umumnya berbasis energi fosil, terutama batu

bara dan diesel, sehingga setiap tambahan akses listrik langsung meningkatkan konsumsi energi dan emisi.

**b. Negara dengan emisi rendah (Q25)**

Pada kuantil Q25, koefisien akses listrik naik menjadi 0,01281 dan tetap signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan 1% akses listrik meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.3%. Negara seperti Meksiko, Brasil, Thailand, Argentina, dan Mesir sedang berada dalam fase percepatan elektrifikasi, diiringi pertumbuhan sektor industri dan rumah tangga perkotaan. Listrik tidak hanya dipakai untuk kebutuhan dasar, tetapi juga mendukung aktivitas manufaktur dan jasa, sehingga dampaknya terhadap emisi lebih besar dibandingkan Q10.

**c. Negara dengan emisi menengah (Q50)**

Pada kuantil median (Q50), akses listrik memiliki koefisien 0,01339 dan signifikan. Artinya, peningkatan 1% akses listrik akan menaikkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.3%. Negara seperti China, Inggris, Prancis, Italia, dan Malaysia sudah memiliki tingkat elektrifikasi hampir merata. Namun, permintaan listrik tetap tumbuh, didorong oleh sektor industri, digitalisasi, dan konsumsi energi rumah tangga yang intensif, sehingga akses listrik masih berkontribusi pada emisi.

**d. Negara dengan emisi tinggi (Q75)**

Pada kuantil Q75, koefisien akses listrik meningkat menjadi 0,01393 dan signifikan. Artinya, kenaikan 1% akses listrik menaikkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 1.4%. Negara maju seperti Jepang, Jerman, Korea Selatan, dan Belanda menunjukkan bahwa meskipun akses listrik sudah sangat tinggi, konsumsi listrik per kapita tetap meningkat. Hal ini dipicu oleh penggunaan teknologi canggih, industri berbasis listrik, serta sistem transportasi dan manufaktur berenergi tinggi. Dengan kata lain, di negara maju, akses listrik lebih terkait dengan intensitas penggunaan listrik daripada sekadar perluasan jaringan.

**e. Negara dengan emisi sangat tinggi (Q90)**

Pada kuantil tertinggi (Q90), akses listrik memiliki koefisien terbesar, yaitu 0,01418, dan signifikan. Artinya, peningkatan 1% akses listrik akan menaikkan

emisi CO<sub>2</sub> per kapita sebesar 0,01418%. Negara seperti Amerika Serikat, Rusia, Arab Saudi, Qatar, dan Kuwait memiliki tingkat akses listrik hampir penuh, tetapi lonjakan emisi berasal dari konsumsi listrik per kapita yang sangat tinggi. Sektor industri berat, pendingin udara, desalinisasi air, dan eksploitasi energi menjadi penyumbang utama. Dengan demikian, pada kuantil emisi sangat tinggi, akses listrik lebih mencerminkan *overconsumption energi* daripada pemerataan akses.

Peningkatan akses terhadap listrik di banyak negara masih sangat bergantung pada pembangkit berbahan bakar fosil, khususnya batu bara dan gas alam. *International Energy Agency* ((IEA), 2025b) juga menunjukkan bahwa meskipun elektrifikasi global terus meningkat, bauran energi di sebagian besar negara berkembang serta negara dengan emisi menengah hingga tinggi tetap didominasi oleh sumber energi tidak terbarukan. Pada negara dengan tingkat emisi rendah, peningkatan akses listrik umumnya digunakan untuk memenuhi kebutuhan dasar rumah tangga. Sebaliknya, di negara dengan emisi tinggi, peningkatan akses listrik menopang konsumsi energi berskala besar di sektor industri, jasa modern, dan aktivitas ekonomi, sehingga dampaknya terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita jauh lebih besar.

Tidak hanya itu, koefisien akses listrik yang semakin meningkat pada kuantil tinggi juga mencerminkan adanya efek skala dan efek *rebound*. Peningkatan efisiensi teknologi serta perluasan elektrifikasi biasanya menurunkan biaya penggunaan listrik, yang pada akhirnya mendorong konsumsi energi lebih besar secara keseluruhan. Dengan sistem energi masih berbasis fosil, lonjakan konsumsi tersebut tidak menekan emisi, melainkan justru memperkuatnya. Hasil estimasi ini juga sejalan dengan penelitian (Wang et al. 2025) yang menunjukkan bahwa dampak elektrifikasi dan urbanisasi terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita bersifat heterogen dan sangat dipengaruhi oleh struktur energi. Ketika pertumbuhan konsumsi listrik lebih cepat dibandingkan transisi menuju energi bersih dan berkelanjutan, elektrifikasi justru meningkatkan emisi karbon.

Hasil penelitian ini juga konsisten dengan kerangka STIRPAT yang dikembangkan oleh Dietz et al. (1994), emisi CO<sub>2</sub> merepresentasikan dampak lingkungan (I), sementara akses listrik menjadi proksi faktor teknologi dan energi (T). Teknologi dan energi belum berfungsi sebagai *emission-reducing factor*, melainkan menjadi *emission-driving factor* akibat ketergantungan pada energi fosil. Teori Energi dan Emisi oleh Stern (2004) juga menegaskan bahwa energi merupakan input fundamental dalam sistem ekonomi karena hampir seluruh aktivitas produksi dan konsumsi bergantung pada energi. Peningkatan akses listrik memperluas kapasitas aktivitas ekonomi dan konsumsi energi. Ketika lonjakan permintaan energi tidak dibarengi dengan sumber energi terbarukan emisi CO<sub>2</sub> akan terus meningkat meskipun perluasan akses listrik penting bagi pembangunan.

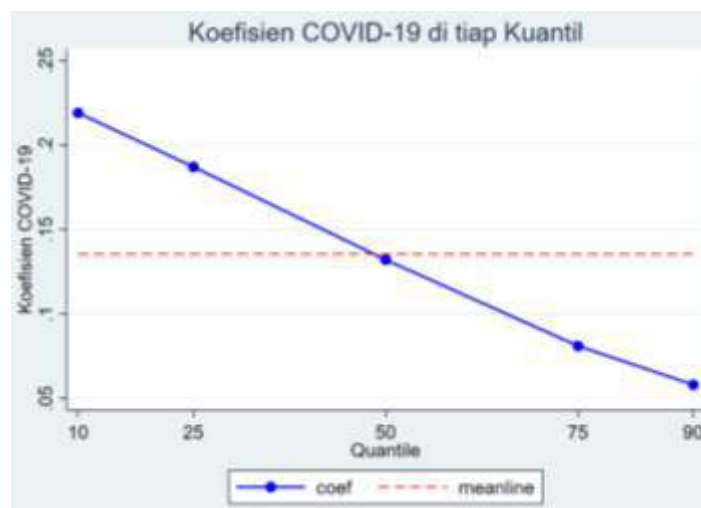
#### **4.3.4 Pengaruh Pandemi COVID-19 terhadap Emisi CO<sub>2</sub>**

Variabel dummy COVID-19 berpengaruh negative signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di semua kuantil. Nilai koefisien juga menunjukkan pola menurun, dari -0.219 pada Q10 hingga -0.058 pada Q90, yang mencerminkan bahwa besarnya penurunan emisi akibat pandemi tidak seragam, melainkan bervariasi di sepanjang distribusi emisi.

- a. Pada kuantil Q10 koefisien COVID-19 sebesar -0.219, artinya ketika periode pandemi COVID-19 berlangsung emisi CO<sub>2</sub> per kapita lebih rendah sekitar 21,9% dibandingkan periode non pandemi.
- b. Pada kuantil Q25 koefisien COVID-19 sebesar -0.187, artinya ketika periode pandemi COVID-19 berlangsung emisi CO<sub>2</sub> per kapita lebih rendah sekitar 18.7% dibandingkan periode non pandemi.
- c. Pada kuantil Q50 koefisien COVID-19 sebesar -0.133 artinya ketika periode pandemi COVID-19 berlangsung emisi CO<sub>2</sub> per kapita lebih rendah sekitar 13.3% dibandingkan periode non pandemi.
- d. Pada kuantil Q75 koefisien COVID-19 sebesar -0.082, artinya ketika periode pandemi COVID-19 berlangsung emisi CO<sub>2</sub> per kapita lebih rendah sekitar 8.2% dibandingkan periode non pandemi.

- e. Pada kuantil Q90 koefisien COVID-19 sebesar -0.058, artinya ketika periode pandemi COVID-19 berlangsung emisi CO<sub>2</sub> per kapita lebih rendah sekitar 5.8% dibandingkan periode non pandemi. Maknanya dampak dari pandemi COVID-19 terhadap penurunan emisi relatif lebih kecil pada negara ber emisi tinggi dan ekstrem.

Temuan ini menunjukkan bahwa pandemi COVID-19 bertindak sebagai guncangan ekonomi global yang bersifat sementara (*temporary exogenous shock*). Dampaknya terhadap emisi terutama muncul melalui penurunan drastis aktivitas ekonomi, mobilitas penduduk, produksi industri, serta konsumsi energi berbasis fosil. Meski demikian, besarnya pengaruh pandemi tidak seragam di setiap negara.



**Gambar 4.12 Distribusi Koefisien Pandemi COVID-19 Tiap Kuantil**

Hasil estimasi menunjukkan bahwa pengaruh variabel dummy COVID-19 negatif dan signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita di seluruh kuantil, dengan dampak yang lebih kuat pada kuantil rendah semakin melemah pada kuantil tinggi, hal ini menunjukkan jika efek pandemi tidak seragam antarnegara melainkan sangat bergantung pada struktur ekonomi, sistem energi, serta tingkat ketergantungan terhadap aktivitas berbasis mobilitas dan konsumsi energi fosil.

- a. Kelompok negara tingkat emisi rendah (Q10–Q25)

Negara dengan tingkat emisi rendah (Q10–Q25) menunjukkan penurunan emisi yang relatif lebih tajam selama pandemi. Hal ini mencerminkan tingginya

sensitivitas emisi terhadap kebijakan pembatasan mobilitas dan aktivitas ekonomi. Sebagian besar negara dalam kelompok ini masih berada pada tahap pembangunan awal hingga menengah, dengan struktur emisi yang banyak bergantung pada sektor transportasi, pariwisata, industri ringan, serta jasa yang sangat terkait dengan pergerakan penduduk.

Ketika kebijakan *lockdown*, pembatasan perjalanan, dan penutupan aktivitas sosial diberlakukan, konsumsi bahan bakar fosil langsung menurun signifikan. Karena bauran energi di negara beremisi rendah masih didominasi oleh energi fosil dan belum terdiversifikasi ke energi terbarukan, maka gangguan sementara pada aktivitas ekonomi menghasilkan dampak proporsional yang lebih besar terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita. Dengan kata lain, ketergantungan tinggi pada sektor mobilitas dan energi fosil membuat emisi di negara-negara ini lebih rentan terhadap shock eksternal seperti pandemi.

Selain itu, karakteristik struktural negara beremisi rendah juga berperan. Perekonomian yang masih bertumpu pada sektor jasa dan transportasi berarti bahwa penurunan mobilitas penduduk segera tercermin dalam penurunan konsumsi energi. Berbeda dengan negara beremisi tinggi yang memiliki sektor industri berat dan energi lebih beragam, negara beremisi rendah mengalami penurunan emisi yang lebih drastis karena basis ekonominya lebih sederhana dan langsung terhubung dengan aktivitas mobilitas sehari-hari.

b. Kelompok negara tingkat emisi tinggi (Q75-Q90)

Berbeda dengan negara beremisi rendah, pada kelompok negara beremisi tinggi (Q75–Q90) dampak pandemi terhadap penurunan emisi relatif terbatas. Hal ini disebabkan oleh struktur ekonomi dan sistem energi yang lebih kompleks, di mana sebagian besar emisi berasal dari sektor industri berat, pembangkit listrik skala besar, serta infrastruktur energi berbasis fosil yang tetap beroperasi meskipun terjadi kontraksi ekonomi.

Selama pandemi, sektor-sektor strategis seperti energi, manufaktur inti, dan layanan publik esensial tetap berjalan untuk menjaga stabilitas ekonomi dan ketahanan nasional. Tingginya tingkat elektrifikasi dan kebutuhan energi dasar membuat permintaan energi di negara-negara ini relatif tidak elastis terhadap

penurunan aktivitas ekonomi jangka pendek. Akibatnya, meskipun mobilitas penduduk menurun, emisi tidak mengalami penurunan drastis karena konsumsi energi tetap tinggi untuk menopang sektor-sektor vital.

Bukti empiris dari Tiongkok dan Jepang memperkuat temuan ini. Studi Liu (2020) menunjukkan bahwa di Tiongkok, emisi CO<sub>2</sub> hanya menurun pada fase awal lockdown, kemudian kembali meningkat seiring pemulihan sektor industri. Pola serupa terjadi di Jepang, di mana penurunan emisi relatif kecil dan cepat diikuti rebound ketika aktivitas ekonomi mulai normal kembali. Hal ini menegaskan bahwa di negara beremisi tinggi, shock pandemi bersifat sementara dan tidak cukup kuat untuk mengubah tren emisi jangka panjang.

Hasil penelitian menegaskan bahwa pandemi COVID-19 memang menurunkan emisi CO<sub>2</sub> per kapita secara signifikan di seluruh kuantil, tetapi sifatnya hanya sementara (*temporary shock*) dan tidak mencerminkan perubahan struktural dalam sistem produksi maupun konsumsi energi. Penurunan ini lebih banyak dipicu oleh pembatasan mobilitas dan kontraksi ekonomi, bukan oleh transformasi teknologi atau perilaku energi yang berkelanjutan. Karena itu, penurunan emisi selama pandemi tidak dapat dijadikan instrumen kebijakan jangka panjang. Justru periode pascapandemi menghadirkan risiko *carbon rebound*, yaitu lonjakan emisi akibat percepatan pemulihan ekonomi tanpa disertai transisi menuju sistem rendah karbon (Liu, 2020).

Implikasi kebijakan dari temuan ini sangat jelas: strategi pemulihan ekonomi pascapandemi harus diarahkan pada *green recovery*, yakni pemulihan yang tidak hanya mengejar pertumbuhan, tetapi juga mengintegrasikan keberlanjutan lingkungan dan transisi energi bersih. Pertama, untuk menghindari rebound emisi, kebijakan perlu difokuskan pada percepatan pengembangan energi terbarukan, reformasi bauran energi nasional, serta pengurangan ketergantungan pada pembangkit listrik berbasis batu bara dan minyak bumi. Transformasi struktural ini menjadi kunci agar pemulihan ekonomi tidak disertai dengan lonjakan emisi CO<sub>2</sub> yang lebih besar dibandingkan periode sebelum pandemi (Forster, P. M., et al, 2020).

Kedua, stimulus fiskal yang digelontorkan pascapandemi sebaiknya diarahkan pada investasi hijau, seperti pengembangan infrastruktur energi terbarukan, transportasi publik rendah karbon, renovasi bangunan hemat energi, serta penguatan industri hijau dan teknologi ramah lingkungan. Dengan demikian, belanja publik tidak hanya mempercepat pemulihan ekonomi, tetapi juga mendorong dekarbonisasi jangka panjang (Najiah et al., 2025)

Ketiga, pembangunan kota berkelanjutan menjadi strategi penting, mengingat hasil PQR menunjukkan dampak COVID-19 paling besar terjadi di negara beremisi rendah yang ekonominya berbasis jasa, transportasi, dan mobilitas perkotaan. Kebijakan urban berkelanjutan dapat berupa perluasan sistem transportasi publik massal rendah emisi, pembangunan kota berbasis transit (*transit-oriented development*), peningkatan ruang terbuka hijau, serta penerapan *smart city* berbasis efisiensi energi (Fang et al., 2020).

Keempat, strategi *green recovery* harus inklusif dengan melibatkan UMKM, industri kecil, dan tenaga kerja informal melalui insentif adopsi teknologi bersih, pembiayaan hijau, serta pelatihan tenaga kerja menuju *green jobs*. Pendekatan ini memastikan transisi menuju ekonomi hijau sekaligus memperkuat ketahanan sosial-ekonomi.

Akhirnya, pemulihan ekonomi pascapandemi perlu diintegrasikan dengan komitmen global pengendalian perubahan iklim, seperti target *net-zero emission* dan implementasi *Paris Agreement*. Dengan mengaitkan pemulihan ekonomi dengan agenda dekarbonisasi global, negara-negara dapat menghindari jebakan pertumbuhan berbasis karbon tinggi dan mempercepat transisi menuju sistem ekonomi yang berkelanjutan, resilien, dan berdaya saing tinggi (Bogojevi, 2020).

**BAB V**  
**KESIMPULAN DAN SARAN**

Hasil estimasi *Panel Quantile Regression (PQR)* memperlihatkan bahwa pengaruh PDB per kapita, urbanisasi, akses listrik, serta pandemi COVID19 terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita tidak bersifat seragam. Dampaknya justru berbeda secara nyata di setiap tingkat distribusi emisi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa negara dengan emisi sangat rendah, rendah, menengah, tinggi, maupun sangat tinggi (ekstrem) memiliki pola pembentukan emisi yang tidak sama, sehingga membutuhkan analisis dan kebijakan yang disesuaikan dengan kondisi masing-masing. Untuk memudahkan pemahaman, kesimpulan dan saran kebijakan disajikan dalam Tabel 5.1 sehingga keduanya dapat dilihat secara langsung dalam satu rangkaian.

**Tabel 5. 1 Kesimpulan dan Saran setiap Kuantil**

No	Kategori	Kesimpulan	Saran
1	Q10 = Emisi CO <sub>2</sub> per kapita sangat rendah  India, Indonesia, Vietnam, Pakistan, Filipina, Bangladesh, Nigeria, Kolombia, Maroko, Peru, Zambia	a. PDB per kapita berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> pada Q10 ( $\beta = 0,268$ ) dan merupakan pengaruh terbesar dibanding kuantil yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa pada negara beremisi rendah peningkatan aktivitas ekonomi masih sangat bergantung pada energi berbasis fosil sehingga pertumbuhan ekonomi secara langsung meningkatkan emisi.  b. Urbanisasi berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO <sub>2</sub> pada Q10 ( $\beta =$	a. Pemerintah pada negara beremisi rendah perlu mengarahkan pertumbuhan ekonomi menuju konsep green growth melalui pemberian insentif pada industri rendah karbon serta percepatan pengembangan energi terbarukan agar peningkatan PDB per kapita tidak lagi diikuti oleh peningkatan emisi CO <sub>2</sub>  b. Kebijakan pembangunan perkotaan perlu diarahkan pada konsep

		<p>0,0156) dengan pengaruh yang relatif lebih besar dibanding kuantil menengah dan tinggi, yang menunjukkan bahwa pertumbuhan kawasan perkotaan meningkatkan kebutuhan energi, transportasi, dan pembangunan infrastruktur yang belum sepenuhnya efisien secara lingkungan.</p> <p>c. Akses listrik berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada Q10 (<math>\beta \approx 0,012</math>) yang menunjukkan bahwa peningkatan elektrifikasi masih diikuti oleh peningkatan konsumsi energi berbasis fosil sehingga perluasan akses listrik pada negara beremisi rendah masih berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon.</p> <p>d. Variabel COVID-19 berpengaruh negatif signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada Q10 (<math>\beta \approx -0,219</math>) dan menunjukkan penurunan emisi yang lebih besar dibanding kuantil lainnya, yang mengindikasikan</p>	<p>kota berkelanjutan melalui penguatan transportasi publik, efisiensi tata ruang, serta pengendalian ekspansi kawasan perkotaan agar peningkatan urbanisasi tidak meningkatkan kebutuhan energi berbasis fosil secara berlebihan sehingga tidak menaikkan emisi.</p> <p>c. Perluasan akses listrik perlu diimbangi dengan percepatan transisi energi menuju sumber energi terbarukan serta peningkatan efisiensi penggunaan energi agar peningkatan elektrifikasi tetap mampu meningkatkan kesejahteraan tanpa meningkatkan intensitas emisi karbon.</p> <p>d. Strategi pemulihan ekonomi pascapandemi perlu diarahkan pada investasi hijau, efisiensi energi, dan pengembangan sektor rendah karbon agar penurunan emisi selama</p>
--	--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

		<p>bahwa emisi di negara beremisi rendah sangat dipengaruhi oleh perubahan aktivitas ekonomi dan mobilitas selama periode pandemi.</p>	<p>pandemi dapat dipertahankan dan tidak kembali meningkat pada periode pemulihan ekonomi.</p>
2	<p>Q25 = Emisi CO<sub>2</sub> per kapita rendah</p> <p>Meksiko, Brasil, Thailand, Mesir, Argentina, Irak, Aljazair, Uzbekistan, Chile, Romania</p>	<p>a. PDB per kapita berpengaruh positif signifikan terhadap emisi CO<sub>2</sub> pada Q25 (<math>\beta = 0,243</math>) dan menunjukkan pengaruh yang lebih rendah dibanding Q10 namun masih lebih tinggi dibanding kuantil atas, yang mengindikasikan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi masih mendorong kenaikan emisi meskipun ketergantungan terhadap energi fosil mulai berkurang.</p> <p>b. Urbanisasi (<math>\beta = 0,0136</math>) tetap berpengaruh positif, namun kontribusinya terhadap emisi mulai melemah seiring dengan semakin matangnya struktur kawasan perkotaan.</p> <p>c. Akses listrik (<math>\beta \approx 0,0128</math>) masih meningkatkan emisi karena konsumsi energi terus naik seiring ekspansi ekonomi dan pertumbuhan kelas menengah.</p>	<p>a. Pemerintah pada negara beremisi rendah perlu memperkuat kebijakan efisiensi produksi dan mendorong diversifikasi energi menuju sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan agar peningkatan PDB per kapita tidak lagi memberikan tekanan signifikan terhadap peningkatan emisi karbon.</p> <p>b. Perkuat kota menengah berkelanjutan melalui transportasi publik, efisiensi bangunan, pengendalian <i>urban sprawl</i>.</p> <p>c. Kebijakan energi perlu menurunkan ketergantungan bahan bakar fosil dan efisiensi energi rumah tangga agar tidak meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>.</p>

		d. COVID-19 ( $\beta = -0,187$ ) tetap menekan emisi, tetapi dampaknya lebih kecil dibanding Q10 karena aktivitas ekonomi pulih lebih cepat.	d. Perkuat digitalisasi, rantai pasok yang efisien, dan sektor hijau agar pemulihan ekonomi tidak kembali mendorong lonjakan emisi.
3	Q50 = Emisi CO <sub>2</sub> per kapita menengah  China, Iran, Afrika Selatan, Turki, Inggris, Italia, Prancis, Malaysia, Spanyol, Yunani	a. PDB per kapita ( $\beta = 0,243$ ) masih meningkatkan emisi CO <sub>2</sub> , tetapi dengan intensitas yang lebih rendah, yang menunjukkan mulai adanya perbaikan efisiensi dalam proses produksi di sebagian sektor ekonomi.  b. Urbanisasi ( $\beta = 0,0101$ ) masih berpengaruh, tetapi semakin kecil, sehingga emisi lebih banyak dipicu oleh aktivitas industri dan konsumsi energi daripada pertumbuhan kota di banyak wilayah.  c. Akses listrik ( $\beta \approx 0,0134$ ) tetap stabil dan signifikan, mencerminkan tingginya konsumsi energi sektor industri yang masih bergantung pada sumber energi berkarbon.  d. COVID-19 ( $\beta = -0,133$ ) masih menekan emisi secara signifikan, namun dampaknya lebih lemah	a. Alihkan sumber pertumbuhan dari sektor padat karbon ke sektor berbasis teknologi dan jasa, perkuat investasi industri rendah emisi agar pertumbuhan tidak bergantung energi fosil.  b. Arahkan urbanisasi menjadi katalis inovasi hijau melalui pengembangan <i>smart city</i> , digitalisasi transportasi, dan peningkatan efisiensi logistik.  c. Lakukan dekarbonisasi bauran energi dan tingkatkan efisiensi industri yang intensif listrik agar konsumsi energi tidak terus mendorong emisi.  d. Manfaatkan momentum pascapandemi untuk <i>green recovery</i> dan percepatan reformasi

		dibanding kuantil rendah karena pemulihan ekonomi berlangsung cepat.	kebijakan iklim agar pemulihan tidak memicu lonjakan emisi.
4	Q75 = Emisi CO <sub>2</sub> per kapita tinggi  Jepang, Jerman, Korea Selatan, Polandia, Singapura, Belanda, Belgia, Czechia, Israel	<p>a. PDB per kapita (<math>\beta = 0,160</math>) masih meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>, namun pengaruhnya relatif kecil karena efisiensi teknologi produksi, penggunaan energi yang lebih hemat, serta mulai meningkatnya kontribusi energi rendah karbon dalam struktur ekonomi.</p> <p>b. Urbanisasi (<math>\beta = 0,0068</math>) berdampak sangat kecil karena tingkat urbanisasi sudah jenuh sehingga tambahan penduduk kota tidak lagi banyak memicu emisi.</p> <p>c. Akses listrik (<math>\beta \approx 0,0139</math>) tetap signifikan dan intensitasnya naik karena konsumsi energi per kapita tinggi, terutama dari industri berbasis listrik dan gaya hidup yang intensif energi.</p> <p>d. COVID-19 (<math>\beta = -0,082</math>) menurunkan emisi secara sementara di sektor transportasi dan industri, tetapi dampaknya cepat</p>	<p>a. Pemerintah perlu memperkuat regulasi iklim melalui penetapan target penurunan intensitas emisi per unit output dan memperluas insentif teknologi rendah karbon agar PDB per kapita tidak kembali meningkatkan emisi.</p> <p>b. Optimalkan kota maju melalui transportasi rendah karbon, kawasan metropolitan hijau, dan integrasi energi bersih untuk menekan konsumsi energi perkotaan.</p> <p>c. Prioritaskan dekarbonisasi bauran energi melalui investasi CCS, hidrogen hijau, dan teknologi net-zero agar tingginya konsumsi listrik tidak menaikkan emisi.</p> <p>d. Gunakan pelajaran pandemi untuk mempercepat transisi energi dan memperkuat kebijakan iklim agar</p>

		tertutupi oleh pemulihan ekonomi.	rebound emisi dapat dicegah.
5	<p>Q90 = Emisi CO<sub>2</sub> per kapita sangat tinggi</p> <p>AS, Rusia, Arab Saudi, Australia, UEA, Kazakhstan, Qatar, Kuwait, Oman</p>	<p>a. PDB per kapita (<math>\beta = 0,141</math>) memiliki pengaruh paling kecil terhadap emisi, yang menunjukkan adanya <i>decoupling</i> kuat antara pertumbuhan ekonomi dan kenaikan emisi CO<sub>2</sub>.</p> <p>b. Urbanisasi (<math>\beta = 0,0053</math>) tidak signifikan karena kota sudah matang dan jenuh, sehingga tambahan penduduk perkotaan tidak lagi memicu kenaikan emisi.</p> <p>c. Akses listrik (<math>\beta \approx 0,0142</math>) mencerminkan konsumsi energi per kapita yang sangat tinggi, terutama dari industri berat dan penggunaan energi berbasis fosil di negara-negara Q90.</p> <p>d. COVID-19 (<math>\beta = -0,058</math>) hanya menekan emisi secara kecil dan sementara karena dampaknya cepat tertutupi oleh pemulihan aktivitas ekonomi.</p>	<p>a. Dorong penerapan teknologi bersih di industri skala besar dan tetapkan target penurunan intensitas emisi agar pertumbuhan ekonomi tetap rendah karbon.</p> <p>b. Fokuskan kebijakan pada efisiensi energi perkotaan dan pengelolaan konsumsi, bukan pada pembatasan pertumbuhan kota yang sudah stabil.</p> <p>c. Lakukan reformasi subsidi energi dan pembatasan konsumsi energi intensif karbon agar tingginya konsumsi listrik tidak terus memperbesar emisi.</p> <p>d. Kaitkan pemulihan ekonomi dengan komitmen menuju <i>net-zero emission</i> agar rebound ekonomi tidak kembali meningkatkan emisi.</p>

## DAFTAR PUSTAKA

- Ã, P. K. N., & Narayan, S. (2010). Carbon dioxide emissions and economic growth : Panel data evidence from developing countries. *Energy Policy*, 38(1), 661–666. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.09.005>
- Agency, I. E. (2021). *The Covid-19 pandemic resulted in the largest-ever decline in global emissions*. Iea.Org. <https://www.iea.org/articles/global-energy-review-co2-emissions-in-2020?>
- Alharthi, M., Dogan, E., & Taskin, D. (2021). *Analysis of CO 2 emissions and energy consumption by sources in MENA countries : evidence from quantile regressions*.
- Alifah, S., Pujiati, A., Ekonomika, F., & Semarang, U. N. (2025). *Analisis Pengaruh GDP Per Kapita , Financial Development , Energy Use , dan Populasi Usia Produktif Terhadap Emisi CO 2 di Indonesia pembangunan global , mengingat dampaknya yang luas terhadap lingkungan , menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dan keberlanjutan*. 6(6), 2326–2346.
- Baltagi, B. H. (2021). *Econometric Analysis of Panel Data* (6 th). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-53953-5>
- Bennedsen, M., Hillebrand, E., & Nielsen, M. Ø. (2025). *The Global Carbon Budget as a cointegrated system*. 1–22. <http://arxiv.org/abs/2412.09226>
- Benoit, K. (2011). *Linear Regression Models with Logarithmic Transformations*. 1–8.
- Bhattacharyya, S. C. (2019). Energy Economics: Concepts, Issues, Markets and Governance. In *International Journal of Energy Sector Management* (Vol. 6, Issue 1). <https://doi.org/10.1108/17506221211216580>
- Bidang Klimatologi Badan Meteorologi, D., & Geofisika Jakarta, D. (2024). *Catatan Iklim Dan Kualitas Udara Indonesia 2024*. 1–104. [https://iklim.bmkg.go.id/bmkgadmin/storage/buletin/Catatan Iklim dan Kualitas Udara 2024 BMKG.pdf](https://iklim.bmkg.go.id/bmkgadmin/storage/buletin/Catatan%20Iklim%20dan%20Kualitas%20Udara%202024%20BMKG.pdf)
- BMKG. (2025a). *Efek Rumah Kaca*. GAW Bariri BMKG. <https://gaw-bariri.bmkg.go.id/index.php/karya-tulis-dan-artikel/gawsarium/277-efek-rumah-kaca>
- BMKG. (2025b). *Memperingati Hari Buruh Dengan Menelisik Dampak Perubahan Iklim*. GAW Bariri BMKG.
- Bogojevi, S. (2020). *COVID-19 , Climate Change Action and the Road to Green Recovery*. November, 355–359. <https://doi.org/10.1093/jel/eqaa023>
- Cade, B. S., & Noon, B. R. (2003). *A gentle introduction to quantile regression for ecologists In a nutshell :*
- Davis, S. J., Liu, Z., Deng, Z., Zhu, B., Ke, P., Sun, T., Guo, R., Hong, C., Zheng,

- B., Wang, Y., Boucher, O., Gentine, P., & Ciais, P. (2022). Emissions rebound from the COVID-19 pandemic. *Nature Climate Change*, 12(5), 412–414. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01332-6>
- Dharmapriya, N., Gunawardena, V., Methmini, D., & Jayathilaka, R. (2025). *Carbon emissions across income groups : exploring the role of trade , energy use , and economic growth*.
- Dietz, T., Rosa, E. A., Human, S., Review, E., Autumn, S., Dietz, T., & Rosa, E. A. (1994). *Rethinking the Environmental Impacts of Population , Affluence and Technology I*. 1(2), 277–300.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM. (2018). Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca. *Direrktorat Jenderal Ketenagalistrikan*, 1–124. [https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download\\_index/files/56959-buku-pedoman-igrk-pembangkit-2018.pdf](https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/56959-buku-pedoman-igrk-pembangkit-2018.pdf)
- Ehrlich, P. R., Holdren, J. P., Series, N., & Mar, N. (1971). *Impact of Population Growth*. 171(3977), 1212–1217.
- Espoir, D. K., Sunge, R., & Bannor, F. (2023). Exploring the dynamic effect of economic growth on carbon dioxide emissions in Africa: evidence from panel PMG estimator. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(52), 112959–112976. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30108-4>
- Faik Bilgili, Ilhan Ozturk, Emrah Kocak, Sevda Kuskaya, A. C. (2022). The nexus between access to electricity and CO<sub>2</sub> damage in Asian Countries: The evidence from quantile regression models. *Energy and Buildings*, 256(0378–7788), 111761. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111761>
- Forster, P.M., Forster, H.I., Evans, M.J., Gidden, M.J., Jones, C.D., Keller, C.A., et al. (2020). Current and Future Global Climate Impacts Resulting from COVID-19. *Nature Climate Change*, 913-919. <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0883-0>
- Georgescu, I. A., Oprea, S., & Adela, B. (2025). *Exploring the relationship between CO 2 emissions , economic growth , urbanization , renewables and foreign investment in Iceland*. 61(July).
- Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1991). *Environmental impacts of a North American free trade agreement*. 3914.
- Hong, Z. (2018). Economic growth and energy. *China and India*, 2, 12–31. <https://doi.org/10.4324/9781315095745-2>
- Ibonomics. (2025). *Negative Externality of Production Diagram*. Ibonomics. <https://www.ibonomics.org/ib-economics-diagrams/negative-externality-production?>
- International Energy Agency (IEA). (2025a). *CO2 Emissions*. Iea.Org.

- <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/co2-emissions>
- International Energy Agency (IEA). (2025b). *Electricity*. Iea.Org. <https://www.iea.org/energy-system/electricity?>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Jauza, N. A., & Albina, M. (2025). *Model dan Pendekatan Penelitian Kuantitatif: Kajian Filosofis, Metodologis, dan Aplikatif*. 104–111.
- Jiang, S., Lin, X., Qi, L., Zhang, Y., & Sharp, B. (2022). *The macro-economic and CO 2 emissions impacts of COVID-19 and recovery policies in China*. 76, 981–996.
- Koenker, R. (2004). *Quantile regression for longitudinal data*. 91, 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2004.05.006>
- Krueger, G. M. G. & A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2), 353–377. <https://doi.org/10.2307/2118443>
- Lapinskienė, G. (2025). *Theory and Practice of Sustainable Economic Development*.
- Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J. P., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A. J., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., Friedlingstein, P., Creutzig, F., & Peters, G. P. (2020). Temporary reduction in daily global CO2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, 10(7), 647–653. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>
- Li, B. L. & Z. (2020). Is more use of electricity leading to less carbon emission growth? An analysis with a panel threshold model. *Energy Policy*, 137(0301–4215), 111121. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111121>
- Li, Q. W. & L. (2021). The effects of population aging, life expectancy, unemployment rate, population density, per capita GDP, urbanization on per capita carbon emissions. *Sustainable Production and Consumption*, 28, 760–774. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.06.029>
- Liu, Z. (2020). *Near-real-time monitoring of global CO 2 emissions reveals the effects of the COVID-19 pandemic*. 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18922-7>
- Ma, B., & Ogata, S. (2024). Impact of Urbanization on Carbon Dioxide Emissions—Evidence from 136 Countries and Regions. *Sustainability (Switzerland)*, 16(18). <https://doi.org/10.3390/su16187878>
- Mahajan, M., & Sah, A. N. (2025). *CO 2 emissions response to GDP and crude oil price shocks : Evidence from India and China using SVAR Model*. 9(July 2024).

- Mankiw, N. G. (2006). *Makroekonomi* (6 th editi). Worth Publishers.
- Mankiw, N. G. (2023). Economics Essentials of. In *McGraw-Hill/Irwin* (Tenth Edit).
- Murniningtyas, A. S. A. dan E. (2018). Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Di Indonesia : Konsep, Target dan Strategi Implementasi. In *Sustainable Transport, Sustainable Development*.  
<https://doi.org/10.18356/9789210010788>
- Najiah, M.; Lee, K.L.; Nadirah, M.; Rasid, R.; Sheikh, H. I. (2025). Covid-19 Pandemic: Towards the Nature's Ecological Resilience. In *Environmental Resilience in the Pandemic Years 2020–2021*. Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-47757-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-47757-7_1)
- NASA. (2025). *Carbon Dioxide - Earth Indicator*. Science.Nasa.Gov.  
<https://science.nasa.gov/earth/explore/earth-indicators/carbon-dioxide/>
- NETL. (2025). *What is Carbon Dioxide*. Netl.Doe.Gov.  
<https://netl.doe.gov/carbon-management/carbon-storage/faqs/carbon-dioxide-101?>
- Ogata, B. M. and S. (2024). Impact of Urbanization on Carbon Dioxide Emissions—Evidence from 136 Countries and Regions. *Sustainability*, 16(18), 78. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su16187878>
- Our World in Data. (2025a). *GDP per capita*. Ourworldindata.Org.  
[https://ourworldindata.org/grapher/gdp-per-capita-worldbank?tab=line&time=2000..latest&country=~OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/gdp-per-capita-worldbank?tab=line&time=2000..latest&country=~OWID_WRL)
- Our World in Data. (2025b). *Per capita CO<sub>2</sub> emissions*. Archive.Ourworldindata.Org. [https://archive.ourworldindata.org/20250624-125417/grapher/co-emissions-per-capita.html?stackMode=relative&time=2000..latest&country=~OWID\\_WRL](https://archive.ourworldindata.org/20250624-125417/grapher/co-emissions-per-capita.html?stackMode=relative&time=2000..latest&country=~OWID_WRL)
- Our World in Data. (2025c). *Share of the population living in urban areas*. Ourworldindata.Org. [https://ourworldindata.org/grapher/share-of-population-urban?tab=line&time=2000..latest&country=~OWID\\_WRL&overlay=download-vis](https://ourworldindata.org/grapher/share-of-population-urban?tab=line&time=2000..latest&country=~OWID_WRL&overlay=download-vis)
- Our World in Data. (2025d). *Share of the population with access to electricity*. Ourworldindata.Org. [https://ourworldindata.org/grapher/share-of-the-population-with-access-to-electricity?tab=line&time=2000..latest&country=~OWID\\_WRL](https://ourworldindata.org/grapher/share-of-the-population-with-access-to-electricity?tab=line&time=2000..latest&country=~OWID_WRL)
- Pigou, A. C. (1920). *The Economics of Welfare*.
- Poumanyvong, P., & Kaneko, & S. (2010). Does urbanization lead to less energy use and lower CO<sub>2</sub> emissions? A cross-country analysis. *Ecological Economics*, 70(2), 434–444. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.09.029>
- Rafif, F., Sumarjiyanto, N., & Maria, B. (2024). *DETERMINAN EMISI CO<sub>2</sub> PADA*

NEGARA ANGGOTA ASEAN. 13(2), 53–68.

- RAHMAWATI, A., & HENDARTO, M. (2023). *Pengaruh Konsumsi Listrik, Pertumbuhan Ekonomi, Industrialisasi, Dan Keterbukaan Perdagangan Terhadap Emisi Co2 Di Indonesia ....* 12(3), 13–21. <https://repofeb.undip.ac.id/12816/>
- Ray, R. L., Singh, V. P., Singh, S. K., Acharya, B. S., & He, Y. (2022). Science of the Total Environment What is the impact of COVID-19 pandemic on global carbon emissions ? *Science of the Total Environment*, 816(December 2019), 151503. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151503>
- Roger Koenker dan Gilbert Bassett, J. (1978). Regression Quantiles. *Econometrica Journal of The Economic Society*, 46(1), 33–50. <http://www.jstor.org/stable/1913643> .
- Romero-lankao, P., Gurney, K. R., Seto, K. C., Chester, M., Duren, R. M., Hutyra, L. R., Marcotullio, P., Baker, L., Grimm, N. B., Larson, E., Pincetl, S., Runfola, D., Sanchez, L., Feddema, J., Sarzynski, A., Sperling, J., & Stokes, E. (2014). *Earth ' s Future Special Section : A critical knowledge pathway to low-carbon , sustainable futures : Integrated understanding of urbanization , urban areas , and carbon Earth ' s Future.* 515–532. <https://doi.org/10.1002/2014EF000258>.Futures
- Sadorsky, P. (2020). Energy related CO2 emissions before and after the financial crisis. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093867>
- Simian, J. I. & R. (2023). Investigating CO2 Emissions Drivers: Energy Use, Economic Growth, Urbanization, and Trade Openness. *Journal of Energy and Environmental Policy Options*, 6(Vol. 6 No. 1 (2023)), 1–7. <https://resdojournals.com/index.php/JEEPO/article/view/298>
- Singh, V., Reichert, A., Jeremias, M., & Manovic, V. (2021). *Science of the Total Environment COVID-19 pandemic and global carbon dioxide emissions : A first assessment.* 794.
- Smirnova, D. S. E., Kolotilina, L., Ben, E. E., Hooson, W., Olofinskaya, N., Sergey Tambiev, D. S., Khovanskaya, A., & Surovikina, E. (2018). *Climatebox Textbook; An interactive learning toolkit on climate change.*
- Smith, M. P. T. & S. C. (2014). *Economic Development* (12th Editi). Pearson Education Limited.
- Solecki, P. J. M. & W. (2013). What is a City? An Essential Definition for Sustainability. In M. F. & C. G.Boone (Ed.), *Urbanization and Sustainability: Linking Urban Ecology, Environmental Justice and Global Environmental Change* (In C. G. B, pp. 11–25). Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5666-3>
- Stern, D. I. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419–1439.

<https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2004.03.004>

- UN-HABITAT. (2024). *Climate Change*. Unhabitat.Org. <https://unhabitat.org/topic/climate-change?>
- UNFCCC. (2015). *The Paris Agreement*. Unfccc.Int. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, P. D. (2019). *World Urbanization Prospects 2018*.
- Wang, Y., Ma, M., Zhou, N., & Ma, Z. (2025). *Paving the way to carbon neutrality : Evaluating the decarbonization of residential building electrification worldwide* ☆\*.
- WHO. (2020). *WHO Director-General's opening remarks at the media briefing on COVID-19 - 11 March 2020*. Who.Int. <https://www.who.int/director-general/speeches/detail/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing-on-covid-19---11-march-2020?>
- WMO. (2025). *Climate Change*. Wmo.Int. [https://wmo.int/topics/climate-change?utm\\_source](https://wmo.int/topics/climate-change?utm_source)
- World Bank. (2023a). *Breaking Down Barriers to Clean Energy Transition*. Worldbank.Org. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2023/05/16/breaking-down-barriers-to-clean-energy-transition?>
- World Bank. (2023b). *Metadata Glossary Acces to electricity (% of population)*. Databank.Worldbank.Org. <https://databank.worldbank.org/metadataglossary/world-development-indicators/series/EG.ELC.ACCS.ZS?>
- World Bank. (2024a). *Metadata Glossary Urban population (% of total population)*. Databank.Worldbank.Org. <https://databank.worldbank.org/metadataglossary/world-development-indicators/series/SP.URB.TOTL.IN.ZS?>
- World Bank. (2024b). *Urban population (% of total population)*. <https://databank.worldbank.org/metadataglossary/world-development-indicators/series/SP.URB.TOTL.IN.ZS?>
- World Bank. (2024c). *World Development Indicators: Carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions (total) excluding LULUCF (MtCO<sub>2</sub>e) [Data set]*. Data.Worldbank.Org.
- World Bank. (2025a). *Metadata Glossary CO<sub>2</sub> emissions (metric tons per capita)*. Databank.Worldbank.Org. <https://databank.worldbank.org/metadataglossary/world-development-indicators/series/EN.ATM.CO2E.PC?>

- World Bank. (2025b). *Metadata Glossary GDP per capita (constant 2015 US\$)*.  
Databank.Worldbank.Org.  
<https://databank.worldbank.org/metadataglossary/sustainable-development-goals-%28sdgs%29/series/NY.GDP.PCAP.KD?>
- York, R., Rosa, E. A., & Dietz, T. (2003). *METHODS STIRPAT , IPAT and ImPACT : analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts*. 46, 351–365. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(03\)00188-5](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(03)00188-5)

# LAMPIRAN

**Lampiran 1 : Data Penelitian**

Negara	ID	Tahun	CO2 per kapita (ton)	PDB per kapita (US\$)	Urbanisasi (%)	Akses listrik (%)	Covid-19
China	1	2000	2.90	2237.44	35.88	96.7	0
	1	2001	3.02	2405.89	37.09	97	0
	1	2002	3.24	2610.73	38.43	97.2	0
	1	2003	3.72	2857.04	39.78	97.4	0
	1	2004	4.26	3127.86	41.14	97.7	0
	1	2005	4.81	3465.82	42.52	97.9	0
	1	2006	5.30	3883.35	43.87	98.2	0
	1	2007	5.73	4409.76	45.20	98.5	0
	1	2008	5.88	4811.47	46.54	98.8	0
	1	2009	6.27	5237.77	47.88	99.1	0
	1	2010	6.83	5764.87	49.23	99.7	0
	1	2011	7.42	6275.91	50.51	99.9	0
	1	2012	7.60	6723.19	51.77	99.9	0
	1	2013	7.92	7198.07	53.01	100	0
	1	2014	7.96	7686.58	54.26	100	0
	1	2015	7.81	8175.33	55.50	100	0
	1	2016	7.79	8679.38	56.74	100	0
	1	2017	7.91	9221.51	57.96	100	0
	1	2018	8.25	9798.65	59.15	100	0
	1	2019	8.42	10356.48	60.31	100	0
	1	2020	8.52	10573.64	61.43	100	1
	1	2021	8.94	11469.57	62.51	100	1
	1	2022	8.87	11830.60	63.56	100	1
1	2023	9.40	12484.16	64.57	100	1	
Amerikan Serikat	2	2000	21.01	48616.25	79.06	100	0
	2	2001	20.63	48597.42	79.23	100	0
	2	2002	19.91	48967.37	79.41	100	0
	2	2003	19.97	49905.52	79.58	100	0
	2	2004	20.08	51348.35	79.76	100	0
	2	2005	19.93	52649.57	79.93	100	0
	2	2006	19.41	53596.32	80.10	100	0
	2	2007	19.50	54152.83	80.27	100	0
	2	2008	18.71	53703.96	80.44	100	0
	2	2009	17.19	51863.62	80.61	100	0
2	2010	17.85	52812.68	80.77	100	0	

	2	2011	17.02	53215.54	80.94	100	0
	2	2012	16.19	54000.84	81.12	100	0
	2	2013	16.50	54728.86	81.30	100	0
	2	2014	16.43	55665.24	81.48	100	0
	2	2015	15.95	56849.47	81.67	100	0
	2	2016	15.51	57430.85	81.86	100	0
	2	2017	15.19	58435.97	82.06	100	0
	2	2018	15.58	59817.66	82.26	100	0
	2	2019	15.04	61047.96	82.46	100	0
	2	2020	13.47	59484.03	82.66	100	1
	2	2021	14.32	62986.66	82.87	100	1
	2	2022	14.33	64198.43	83.08	100	1
	2	2023	13.90	65505.26	83.30	100	1
	India	3	2000	0.94	3584217307.19	27.67	60.3
3		2001	0.94	5128093561.63	27.92	62	0
3		2002	0.96	5208967106.28	28.24	62.3	0
3		2003	0.97	3681984671.43	28.57	65.4	0
3		2004	1.03	5429250989.86	28.90	64.4	0
3		2005	1.05	7269407225.61	29.24	68.8	0
3		2006	1.11	20029119267.14	29.57	67.9	0
3		2007	1.19	25227740886.68	29.91	72.3	0
3		2008	1.24	43406277075.81	30.25	74.1	0
3		2009	1.34	35581372929.66	30.59	75	0
3		2010	1.40	27396885033.78	30.93	76.3	0
3		2011	1.47	36498654597.86	31.28	79.5	0
3		2012	1.58	23995685014.21	31.63	79.9	0
3		2013	1.61	28153031270.32	32.00	83.1	0
3		2014	1.71	34576643694.14	32.38	85.1	0
3		2015	1.70	44009492129.53	32.78	88	0
3		2016	1.71	44458571545.80	33.18	89.6	0
3		2017	1.79	39966091358.74	33.60	91.8	0
3		2018	1.87	42117450737.26	34.03	95.7	0
3		2019	1.83	50610647353.59	34.47	95.9	0
3	2020	1.65	64362364994.38	34.93	96.5	1	
3	2021	1.80	44727277562.88	35.39	99.6	1	
3	2022	1.92	49940258404.27	35.87	99.2	1	
3	2023	2.05	28078983530.40	36.36	99.5	1	
Rusia	4	2000	11.47	5323.67	73.35	97.8	0
	4	2001	11.54	5618.96	73.35	97.9	0
	4	2002	11.53	5910.17	73.34	97.9	0
	4	2003	12.01	6370.45	73.37	97.9	0
	4	2004	12.07	6856.68	73.42	98	0

	4	2005	12.12	7323.39	73.46	98	0	
	4	2006	12.42	7949.90	73.51	98.1	0	
	4	2007	12.46	8640.41	73.55	98.2	0	
	4	2008	12.36	9093.70	73.60	98.3	0	
	4	2009	11.64	8381.87	73.64	98.4	0	
	4	2010	12.23	8755.12	73.69	99.3	0	
	4	2011	12.81	9120.82	73.73	99.2	0	
	4	2012	12.69	9464.01	73.79	100	0	
	4	2013	12.27	9601.54	73.86	100	0	
	4	2014	12.13	9493.81	73.95	100	0	
	4	2015	12.15	9277.71	74.05	95.5	0	
	4	2016	11.96	9269.32	74.16	99.4	0	
	4	2017	12.14	9418.91	74.29	100	0	
	4	2018	12.66	9674.79	74.43	100	0	
	4	2019	13.13	9882.02	74.59	99.8	0	
	4	2020	12.59	9632.33	74.75	99.9	1	
	4	2021	13.53	10231.32	74.93	100	1	
	4	2022	14.04	10119.06	75.13	100	1	
	4	2023	14.39	10562.03	75.33	100	1	
	Jepang	5	2000	9.85	31430.63	78.65	100	0
		5	2001	9.71	31476.05	79.99	100	0
		5	2002	9.96	31416.12	81.65	100	0
5		2003	10.00	31830.22	83.20	100	0	
5		2004	9.95	32515.12	84.64	100	0	
5		2005	10.04	33098.55	85.98	100	0	
5		2006	9.86	33531.52	87.12	100	0	
5		2007	10.13	33990.04	88.15	100	0	
5		2008	9.57	33557.65	89.10	100	0	
5		2009	9.07	31651.08	89.99	100	0	
5		2010	9.53	32942.20	90.81	100	0	
5		2011	9.96	33011.13	91.07	100	0	
5		2012	10.27	33518.44	91.15	100	0	
5		2013	10.41	34239.89	91.23	100	0	
5		2014	10.03	34386.91	91.30	100	0	
5		2015	9.72	34960.64	91.38	100	0	
5		2016	9.70	35242.20	91.46	100	0	
5		2017	9.59	35861.97	91.54	100	0	
5		2018	9.30	36138.53	91.62	100	0	
5		2019	9.00	36043.78	91.70	100	0	
5		2020	8.49	34642.97	91.78	100	1	
5		2021	8.63	35741.16	91.87	100	1	
5	2022	8.07	36238.33	91.96	100	1		

	5	2023	7.59	36952.52	92.04	100	1
Indonesia	6	2000	1.38	1828.10	42.00	86.3	0
	6	2001	1.46	1868.59	42.78	86.3	0
	6	2002	1.46	1926.37	43.57	87.6	0
	6	2003	1.57	1991.92	44.36	87.9	0
	6	2004	1.58	2065.71	45.15	89	0
	6	2005	1.57	2155.45	45.94	84.8	0
	6	2006	1.64	2244.08	46.74	90.6	0
	6	2007	1.70	2355.15	47.54	91.1	0
	6	2008	1.65	2464.60	48.34	92.7	0
	6	2009	1.69	2546.22	49.13	93.6	0
	6	2010	1.80	2670.81	49.91	94.2	0
	6	2011	2.00	2799.62	50.60	94.8	0
	6	2012	2.00	2930.52	51.28	96	0
	6	2013	1.86	3055.24	51.96	96.5	0
	6	2014	1.95	3170.72	52.64	97	0
	6	2015	1.96	3288.22	53.31	97.5	0
	6	2016	1.92	3416.81	53.99	97.6	0
	6	2017	2.00	3553.52	54.66	98.1	0
	6	2018	2.21	3701.32	55.33	98.5	0
	6	2019	2.34	3850.90	55.99	98.9	0
	6	2020	2.16	3739.45	56.64	97	1
	6	2021	2.24	3850.69	57.29	99.2	1
	6	2022	2.36	4024.91	57.93	100	1
6	2023	2.40	4192.65	58.57	99.4	1	
Iran	7	2000	5.33	3885.30	64.04	97.9	0
	7	2001	5.46	3917.30	64.76	98.1	0
	7	2002	5.65	4198.95	65.47	98.1	0
	7	2003	5.90	4511.43	66.17	98.2	0
	7	2004	6.19	4607.45	66.87	98.3	0
	7	2005	6.53	4650.36	67.56	98.4	0
	7	2006	6.89	4778.79	68.24	98.4	0
	7	2007	7.22	5084.72	68.86	98.7	0
	7	2008	7.35	5035.94	69.46	98.8	0
	7	2009	7.49	5023.89	70.05	99.7	0
	7	2010	7.45	5249.06	70.63	99.4	0
	7	2011	7.47	5321.76	71.20	99.5	0
	7	2012	7.46	5058.65	71.76	99.5	0
	7	2013	7.62	4916.97	72.30	99.8	0
	7	2014	7.81	5093.20	72.83	100	0
	7	2015	7.62	4952.73	73.36	100	0
7	2016	7.66	5312.62	73.88	100	0	

	7	2017	7.84	5381.19	74.39	99.9	0
	7	2018	7.68	5215.35	74.90	100	0
	7	2019	8.00	5000.99	75.39	100	0
	7	2020	8.12	5127.96	75.87	100	1
	7	2021	8.35	5325.55	76.35	100	1
	7	2022	8.50	5460.69	76.81	100	1
	7	2023	8.60	5667.53	77.26	100	1
Jerman	8	2000	10.60	35087.09	74.97	100	0
	8	2001	10.76	35601.36	75.17	100	0
	8	2002	10.55	35460.41	75.37	100	0
	8	2003	10.64	35252.97	75.58	100	0
	8	2004	10.47	35670.49	75.78	100	0
	8	2005	10.21	36006.86	75.98	100	0
	8	2006	10.39	37437.39	76.18	100	0
	8	2007	10.05	38570.91	76.38	100	0
	8	2008	10.11	38996.14	76.58	100	0
	8	2009	9.38	36927.19	76.77	100	0
	8	2010	9.97	38517.44	76.97	100	0
	8	2011	9.82	40712.66	77.16	100	0
	8	2012	9.95	40829.03	77.17	100	0
	8	2013	10.15	40875.03	77.18	100	0
	8	2014	9.62	41588.08	77.19	100	0
	8	2015	9.61	41911.01	77.20	100	0
	8	2016	9.59	42528.06	77.22	100	0
	8	2017	9.38	43520.19	77.26	100	0
	8	2018	9.01	43874.01	77.31	100	0
	8	2019	8.39	44207.63	77.38	100	0
	8	2020	7.73	42362.65	77.45	100	1
	8	2021	8.15	43898.77	77.54	100	1
	8	2022	7.87	44180.43	77.65	100	1
8	2023	6.95	44008.13	77.77	100	1	
Korea Selatan	9	2000	10.09	16995.56	79.62	100	0
	9	2001	10.19	17684.05	79.94	100	0
	9	2002	10.31	18940.38	80.30	100	0
	9	2003	10.35	19435.49	80.65	100	0
	9	2004	10.73	20364.76	81.00	100	0
	9	2005	10.70	21197.20	81.35	100	0
	9	2006	10.77	22196.21	81.53	100	0
	9	2007	10.95	23365.14	81.63	100	0
	9	2008	11.08	23887.06	81.73	100	0
	9	2009	11.18	23952.81	81.84	100	0
	9	2010	12.07	25455.62	81.94	100	0

	9	2011	12.59	26191.64	81.92	100	0
	9	2012	12.59	26680.28	81.85	100	0
	9	2013	12.47	27399.62	81.78	100	0
	9	2014	12.29	28100.01	81.71	100	0
	9	2015	12.60	28737.44	81.63	100	0
	9	2016	12.88	29467.12	81.56	100	0
	9	2017	13.00	30312.89	81.50	100	0
	9	2018	13.00	31059.27	81.46	100	0
	9	2019	12.58	31645.95	81.43	100	0
	9	2020	11.85	31378.16	81.41	100	1
	9	2021	12.19	32771.07	81.41	100	1
	9	2022	11.38	33690.38	81.43	100	1
	9	2023	11.09	34121.02	81.46	100	1
	Saudi Arabia	10	2000	16.40	22247.86	79.85	100
10		2001	16.18	21193.09	80.08	100	0
10		2002	16.40	20025.43	80.30	100	0
10		2003	16.41	20765.94	80.53	100	0
10		2004	16.63	21545.89	80.75	100	0
10		2005	16.85	21838.19	80.98	100	0
10		2006	17.09	21616.34	81.20	100	0
10		2007	17.34	21196.79	81.43	100	0
10		2008	18.06	21629.84	81.65	100	0
10		2009	18.33	20577.55	81.87	100	0
10		2010	20.30	21830.14	82.08	100	0
10		2011	20.29	23314.57	82.30	100	0
10		2012	20.61	23643.03	82.52	100	0
10		2013	19.81	23057.36	82.74	100	0
10		2014	20.70	23404.73	82.96	100	0
10		2015	20.51	23256.15	83.18	100	0
10		2016	19.69	22783.04	83.40	99.9	0
10		2017	19.48	23035.12	83.62	100	0
10		2018	19.21	24393.52	83.84	99.9	0
10		2019	19.31	24905.66	84.07	100	0
10		2020	18.09	22827.67	84.29	100	1
10		2021	18.99	24922.67	84.51	100	1
10		2022	18.81	26706.92	84.73	100	1
10	2023	18.48	25634.82	84.95	100	1	
Afrika Selatan	11	2000	7.36	4700.88	56.89	72.4	0
	11	2001	7.51	4786.48	57.37	70.2	0
	11	2002	7.72	4916.81	57.90	76.7	0
	11	2003	8.12	5011.62	58.45	78.8	0
	11	2004	8.69	5187.36	58.99	80.6	0

	11	2005	8.82	5406.08	59.54	80.8	0
	11	2006	8.81	5650.99	60.08	80.7	0
	11	2007	9.10	5891.42	60.62	82	0
	11	2008	9.55	6009.72	61.15	81.9	0
	11	2009	8.83	5847.06	61.69	82.6	0
	11	2010	8.87	5953.95	62.22	82.8	0
	11	2011	8.39	6067.12	62.75	83.6	0
	11	2012	8.57	6121.56	63.27	85.2	0
	11	2013	8.65	6170.88	63.79	85.2	0
	11	2014	8.71	6155.01	64.31	85.9	0
	11	2015	8.11	6112.27	64.83	85.3	0
	11	2016	8.04	6095.30	65.34	83.9	0
	11	2017	8.15	6125.69	65.85	84.4	0
	11	2018	8.08	6117.27	66.36	84.7	0
	11	2019	8.03	6032.83	66.86	85	0
	11	2020	6.91	5569.58	67.35	90	1
	11	2021	6.97	5756.20	67.85	89.3	1
	11	2022	6.56	5783.86	68.34	86.5	1
	11	2023	6.29	5747.42	68.82	87.7	1
	12	2000	4.02	9581.97	74.72	98	0
	12	2001	3.94	9398.35	75.05	97.1	0
	12	2002	3.95	9242.28	75.37	97.9	0
	12	2003	4.09	9222.00	75.68	97.4	0
	12	2004	4.12	9421.29	76.00	98.6	0
	12	2005	4.23	9491.52	76.31	98.9	0
	12	2006	4.33	9813.83	76.62	99.1	0
	12	2007	4.33	9877.70	76.92	97.9	0
	12	2008	4.28	9826.34	77.22	98.9	0
	12	2009	4.12	9074.12	77.52	98.3	0
	12	2010	4.20	9389.07	77.82	99.2	0
Meksiko	12	2011	4.22	9575.93	78.11	99	0
	12	2012	4.33	9782.52	78.41	99.1	0
	12	2013	4.17	9738.71	78.70	99.1	0
	12	2014	4.01	9862.48	78.99	99.2	0
	12	2015	4.05	10021.24	79.29	99	0
	12	2016	4.06	10100.50	79.58	99.5	0
	12	2017	4.06	10193.77	79.87	100	0
	12	2018	3.82	10296.87	80.16	99.5	0
	12	2019	3.86	10159.44	80.44	99.6	0
	12	2020	3.37	9234.64	80.73	99.4	1
	12	2021	3.55	9728.06	81.02	100	1
	12	2022	3.62	10013.37	81.30	100	1

	12	2023	3.75	10253.53	81.58	99.7	1
Brazil	13	2000	2.01	6817.78	81.19	94.4	0
	13	2001	1.99	6823.03	81.55	96	0
	13	2002	1.97	6944.62	81.88	96.7	0
	13	2003	1.92	6941.44	82.20	97	0
	13	2004	2.00	7258.78	82.52	96.8	0
	13	2005	2.00	7409.57	82.83	97.1	0
	13	2006	2.00	7622.04	83.14	97.6	0
	13	2007	2.08	8003.25	83.45	98.1	0
	13	2008	2.17	8330.76	83.75	98.5	0
	13	2009	2.01	8246.10	84.04	98.9	0
	13	2010	2.27	8792.63	84.34	98.6	0
	13	2011	2.37	9067.99	84.63	99.3	0
	13	2012	2.53	9167.50	84.92	99.5	0
	13	2013	2.64	9366.74	85.21	99.6	0
	13	2014	2.73	9338.34	85.49	99.7	0
	13	2015	2.57	8936.20	85.77	99.7	0
	13	2016	2.37	8577.84	86.04	99.7	0
	13	2017	2.42	8628.25	86.31	99.8	0
	13	2018	2.28	8722.34	86.57	99.7	0
	13	2019	2.26	8771.44	86.82	99.8	0
	13	2020	2.14	8435.01	87.07	99.7	1
	13	2021	2.41	8799.23	87.32	99.5	1
	13	2022	2.28	9032.08	87.56	100	1
13	2023	2.27	9288.03	87.79	99.8	1	
Turki	14	2000	3.47	6325.10	64.74	99.9	0
	14	2001	3.12	5887.69	65.34	99.9	0
	14	2002	3.24	6192.19	65.97	99.8	0
	14	2003	3.39	6473.46	66.60	99.8	0
	14	2004	3.44	7028.76	67.23	99.7	0
	14	2005	3.55	7579.37	67.84	99.7	0
	14	2006	3.91	8023.15	68.45	99.7	0
	14	2007	4.28	8414.25	69.05	99.7	0
	14	2008	4.22	8376.15	69.65	99.7	0
	14	2009	4.18	7862.87	70.24	99.7	0
	14	2010	4.27	8396.92	70.83	100	0
	14	2011	4.48	9201.34	71.40	100	0
	14	2012	4.58	9519.82	71.97	100	0
	14	2013	4.38	10195.85	72.53	100	0
	14	2014	4.60	10556.12	73.08	100	0
14	2015	4.70	11050.00	73.61	100	0	
14	2016	4.93	11264.61	74.13	100	0	

	14	2017	5.39	11953.67	74.64	100	0
	14	2018	5.27	12148.29	75.14	100	0
	14	2019	5.01	12073.87	75.63	100	0
	14	2020	5.07	12179.66	76.11	100	1
	14	2021	5.47	13449.93	76.57	100	1
	14	2022	5.10	14055.10	77.02	100	1
	14	2023	5.14	14713.57	77.46	100	1
Australia	15	2000	18.60	45859.52	84.24	100	0
	15	2001	18.70	46191.31	84.10	100	0
	15	2002	18.91	47486.28	84.22	100	0
	15	2003	18.67	48394.13	84.34	100	0
	15	2004	19.16	49902.02	84.46	100	0
	15	2005	19.04	50853.20	84.58	100	0
	15	2006	19.08	51553.97	84.70	100	0
	15	2007	19.24	52531.76	84.82	100	0
	15	2008	19.03	53336.10	84.94	100	0
	15	2009	18.91	53237.01	85.06	100	0
	15	2010	18.85	53578.81	85.18	100	0
	15	2011	18.48	54111.36	85.30	100	0
	15	2012	18.18	55257.57	85.40	100	0
	15	2013	17.54	55728.02	85.50	100	0
	15	2014	16.88	56327.85	85.60	100	0
	15	2015	16.82	56739.03	85.70	100	0
	15	2016	16.89	57401.07	85.80	100	0
	15	2017	16.71	57750.65	85.90	100	0
	15	2018	16.39	58530.78	86.01	100	0
	15	2019	16.10	58924.73	86.12	100	0
	15	2020	15.30	58132.80	86.24	100	1
	15	2021	14.98	59276.50	86.36	100	1
	15	2022	14.41	61009.81	86.49	100	1
15	2023	14.02	61598.18	86.62	100	1	
Inggris	16	2000	9.37	38921.90	78.65	100	0
	16	2001	9.52	39769.87	78.75	100	0
	16	2002	9.21	40312.98	79.05	100	0
	16	2003	9.40	41390.61	79.34	100	0
	16	2004	9.35	42167.36	79.63	100	0
	16	2005	9.26	43023.23	79.92	100	0
	16	2006	9.20	43724.90	80.20	100	0
	16	2007	8.97	44524.57	80.48	100	0
	16	2008	8.64	44065.62	80.76	100	0
	16	2009	7.76	41712.83	81.03	100	0
	16	2010	7.98	42311.43	81.30	100	0

	16	2011	7.26	42459.96	81.57	100	0
	16	2012	7.55	42794.78	81.84	100	0
	16	2013	7.33	43274.34	82.10	100	0
	16	2014	6.66	44324.39	82.37	100	0
	16	2015	6.39	44983.89	82.63	100	0
	16	2016	6.00	45485.65	82.89	100	0
	16	2017	5.78	46439.86	83.14	100	0
	16	2018	5.63	46862.97	83.40	100	0
	16	2019	5.36	47379.80	83.65	100	0
	16	2020	4.78	42429.19	83.90	100	1
	16	2021	5.07	45902.83	84.15	100	1
	16	2022	4.84	47682.76	84.40	100	1
	16	2023	4.41	47251.44	84.64	100	1
	Thailand	17	2000	2.77	3514.72	31.39	82.1
17		2001	2.88	3599.03	32.55	90.4	0
17		2002	3.03	3783.75	33.73	91	0
17		2003	3.13	4018.16	34.94	91.6	0
17		2004	3.38	4232.77	36.17	92.2	0
17		2005	3.47	4372.26	37.41	92.8	0
17		2006	3.50	4551.53	38.67	99.1	0
17		2007	3.54	4760.67	39.95	94.1	0
17		2008	3.53	4805.76	41.24	94.8	0
17		2009	3.40	4737.46	42.54	99	0
17		2010	3.59	5059.36	43.86	99.7	0
17		2011	3.57	5070.24	44.70	99.3	0
17		2012	3.81	5403.88	45.45	99.1	0
17		2013	3.95	5516.61	46.19	99.4	0
17		2014	3.88	5541.47	46.94	99.5	0
17		2015	3.97	5688.85	47.69	99.6	0
17		2016	3.90	5857.78	48.45	99.9	0
17		2017	3.89	6076.74	49.20	99.9	0
17		2018	3.85	6314.20	49.95	99.8	0
17		2019	3.98	6434.54	50.69	99.9	0
17		2020	3.83	6035.19	51.43	100	1
17		2021	3.73	6121.53	52.16	100	1
17		2022	3.85	6278.79	52.89	99.9	1
17		2023	3.82	6408.41	53.61	100	1
Italia	18	2000	7.99	32609.67	67.22	100	0
	18	2001	7.97	33243.60	67.28	100	0
	18	2002	8.08	33267.45	67.38	100	0
	18	2003	8.38	33110.17	67.50	100	0
	18	2004	8.52	33348.97	67.62	100	0

	18	2005	8.48	33407.68	67.74	100	0
	18	2006	8.36	33873.05	67.86	100	0
	18	2007	8.18	34159.91	67.97	100	0
	18	2008	7.86	33550.63	68.09	100	0
	18	2009	6.96	31587.06	68.21	100	0
	18	2010	7.09	31928.55	68.33	100	0
	18	2011	6.91	32039.50	68.44	100	0
	18	2012	6.56	30953.41	68.68	100	0
	18	2013	6.00	30330.02	68.98	100	0
	18	2014	5.69	30325.03	69.27	100	0
	18	2015	5.88	30639.88	69.57	100	0
	18	2016	5.81	31077.68	69.86	100	0
	18	2017	5.77	31635.52	70.14	100	0
	18	2018	5.66	31819.40	70.44	100	0
	18	2019	5.57	32180.43	70.74	100	0
	18	2020	4.98	29469.80	71.04	100	1
	18	2021	5.65	32267.71	71.35	100	1
	18	2022	5.64	33891.89	71.66	100	1
	18	2023	5.18	34146.02	71.97	100	1
Vietnam	19	2000	0.73	1212.20	24.37	88.2	0
	19	2001	0.80	1273.81	24.94	88.9	0
	19	2002	0.93	1340.52	25.51	89.1	0
	19	2003	0.98	1418.74	26.09	90.3	0
	19	2004	1.14	1510.94	26.68	91	0
	19	2005	1.24	1609.96	27.28	96.1	0
	19	2006	1.25	1699.68	27.89	96	0
	19	2007	1.37	1788.95	28.50	93.1	0
	19	2008	1.48	1856.01	29.13	93.8	0
	19	2009	1.63	1927.13	29.76	96.1	0
	19	2010	1.79	2027.58	30.42	97.4	0
	19	2011	1.77	2132.90	31.08	99	0
	19	2012	1.74	2224.11	31.75	97.9	0
	19	2013	1.80	2320.08	32.43	98.5	0
	19	2014	1.95	2439.29	33.12	99.2	0
	19	2015	2.16	2577.57	33.81	99.3	0
	19	2016	2.39	2715.58	34.51	99.2	0
	19	2017	2.42	2868.14	35.21	100	0
	19	2018	2.95	3048.28	35.92	100	0
	19	2019	3.49	3241.08	36.63	99.4	0
19	2020	3.59	3303.17	37.34	99.8	1	
19	2021	3.45	3358.22	38.05	100	1	
19	2022	3.26	3617.66	38.77	100	1	

	19	2023	3.72	3775.46	39.48	99.8	1
Prancis	20	2000	6.59	33255.14	75.87	100	0
	20	2001	6.61	33640.67	76.13	100	0
	20	2002	6.47	33753.58	76.38	100	0
	20	2003	6.50	33840.62	76.63	100	0
	20	2004	6.47	34557.15	76.88	100	0
	20	2005	6.46	34946.04	77.13	100	0
	20	2006	6.25	35645.42	77.38	100	0
	20	2007	6.10	36322.17	77.62	100	0
	20	2008	5.95	36257.37	77.87	100	0
	20	2009	5.72	35052.85	78.12	100	0
	20	2010	5.81	35578.20	78.37	100	0
	20	2011	5.58	36269.96	78.62	100	0
	20	2012	5.58	36161.29	78.88	100	0
	20	2013	5.47	36256.09	79.14	100	0
	20	2014	4.95	36444.39	79.39	100	0
	20	2015	5.00	36702.43	79.66	100	0
	20	2016	5.03	36920.53	79.92	100	0
	20	2017	5.07	37580.60	80.18	100	0
	20	2018	4.89	38062.44	80.44	100	0
	20	2019	4.79	38705.21	80.71	100	0
	20	2020	4.25	35709.20	80.98	100	1
	20	2021	4.71	38030.86	81.24	100	1
	20	2022	4.56	38881.22	81.51	100	1
20	2023	4.14	39117.48	81.78	100	1	
Uni Emirat Arab	21	2000	25.32	57365.40	80.24	100	0
	21	2001	27.19	54574.81	80.66	100	0
	21	2002	26.16	52607.66	81.07	100	0
	21	2003	25.96	54020.47	81.47	100	0
	21	2004	25.97	56027.61	81.87	100	0
	21	2005	26.25	55777.90	82.26	100	0
	21	2006	25.39	57053.79	82.65	100	0
	21	2007	24.38	52428.07	83.02	100	0
	21	2008	26.06	48281.35	83.39	100	0
	21	2009	24.65	42991.55	83.74	100	0
	21	2010	25.03	42645.64	84.09	100	0
	21	2011	24.95	43800.16	84.42	100	0
	21	2012	25.03	42868.10	84.75	100	0
	21	2013	25.34	43269.84	85.07	100	0
	21	2014	24.56	43023.19	85.38	100	0
	21	2015	24.29	43535.00	85.67	100	0
21	2016	23.75	43745.29	85.97	100	0	

	21	2017	22.15	42690.21	86.25	100	0
	21	2018	20.01	42679.75	86.52	100	0
	21	2019	20.92	42700.13	86.79	100	0
	21	2020	20.79	40776.63	87.05	100	1
	21	2021	21.03	41778.58	87.30	100	1
	21	2022	20.54	42687.72	87.54	100	1
	21	2023	19.65	42507.79	87.78	100	1
Kazakhstan	22	2000	8.53	4269.33	56.10	99.6	0
	22	2001	8.38	4822.53	56.17	99.7	0
	22	2002	9.29	5267.70	56.24	99.8	0
	22	2003	10.30	5724.43	56.32	99.9	0
	22	2004	11.01	6233.29	56.39	100	0
	22	2005	11.75	6787.41	56.46	100	0
	22	2006	13.05	7450.40	56.54	99.8	0
	22	2007	13.51	8036.88	56.61	100	0
	22	2008	15.80	8216.52	56.68	100	0
	22	2009	13.92	8218.40	56.76	100	0
	22	2010	14.84	8704.71	56.83	100	0
	22	2011	15.72	9223.30	56.90	99.8	0
	22	2012	15.44	9531.91	56.97	100	0
	22	2013	16.30	9959.73	57.05	100	0
	22	2014	13.04	10226.71	57.12	100	0
	22	2015	11.36	10196.12	57.19	100	0
	22	2016	11.75	10151.42	57.26	100	0
	22	2017	12.21	10404.27	57.34	100	0
	22	2018	12.09	10670.21	57.43	100	0
	22	2019	11.29	10989.68	57.54	100	0
	22	2020	11.54	10565.04	57.67	100	1
	22	2021	12.40	10873.39	57.82	100	1
	22	2022	11.99	11058.35	57.99	100	1
22	2023	11.80	11453.40	58.18	100	1	
Polandia	23	2000	8.18	7401.58	61.72	100	0
	23	2001	8.10	7494.96	61.76	100	0
	23	2002	7.91	7640.99	61.79	100	0
	23	2003	8.25	7915.55	61.68	99.9	0
	23	2004	8.31	8323.39	61.56	99.9	0
	23	2005	8.31	8598.58	61.45	99.8	0
	23	2006	8.67	9137.66	61.34	99.8	0
	23	2007	8.66	9760.70	61.23	99.8	0
	23	2008	8.51	10187.20	61.12	99.8	0
	23	2009	8.16	10446.53	61.00	100	0
	23	2010	8.66	10808.40	60.89	100	0

	23	2011	8.59	11370.31	60.78	100	0
	23	2012	8.40	11542.24	60.65	100	0
	23	2013	8.28	11628.23	60.53	100	0
	23	2014	7.96	12093.16	60.40	100	0
	23	2015	8.05	12637.52	60.28	100	0
	23	2016	8.34	13026.19	60.18	100	0
	23	2017	8.70	13695.65	60.11	100	0
	23	2018	8.68	14551.09	60.06	100	0
	23	2019	8.22	15221.31	60.04	100	0
	23	2020	7.91	15090.22	60.04	100	1
	23	2021	8.76	16368.62	60.08	100	1
	23	2022	8.62	17303.64	60.13	100	1
	23	2023	7.82	17410.38	60.22	100	1
	Malaysia	24	2000	5.69	6455.61	61.98	98.6
24		2001	5.88	6334.93	62.92	98.6	0
24		2002	6.08	6516.91	63.86	98.6	0
24		2003	6.34	6732.92	64.78	98.7	0
24		2004	6.72	7025.35	65.69	98.7	0
24		2005	7.01	7234.02	66.59	98.7	0
24		2006	7.11	7469.81	67.48	98.8	0
24		2007	7.59	7769.60	68.36	98.9	0
24		2008	7.84	7976.12	69.23	99	0
24		2009	7.04	7700.46	70.08	99.3	0
24		2010	7.52	8118.92	70.91	99.5	0
24		2011	7.49	8400.32	71.61	99.5	0
24		2012	7.41	8710.53	72.28	99.8	0
24		2013	7.86	8964.81	72.93	99.6	0
24		2014	8.19	9341.73	73.58	99.7	0
24		2015	8.10	9648.68	74.21	99.9	0
24		2016	7.79	9901.48	74.84	99.9	0
24		2017	7.35	10293.76	75.45	100	0
24		2018	7.73	10610.20	76.04	100	0
24		2019	7.63	10902.98	76.61	100	0
24		2020	7.48	10171.47	77.16	100	1
24		2021	7.55	10388.27	77.70	100	1
24		2022	7.91	11174.21	78.21	100	1
24		2023	8.07	11429.59	78.72	100	1
Spanyol	25	2000	7.72	24106.88	76.26	100	0
	25	2001	7.68	24878.38	76.34	100	0
	25	2002	8.00	25205.32	76.53	100	0
	25	2003	8.05	25481.17	76.78	100	0
	25	2004	8.28	25825.31	77.02	100	0

	25	2005	8.49	26294.45	77.26	100	0
	25	2006	8.14	26899.09	77.50	100	0
	25	2007	8.28	27338.80	77.74	100	0
	25	2008	7.47	27112.53	77.98	100	0
	25	2009	6.55	25860.81	78.21	100	0
	25	2010	6.25	25766.25	78.44	100	0
	25	2011	6.27	25510.56	78.67	100	0
	25	2012	6.14	24763.57	78.90	100	0
	25	2013	5.59	24498.56	79.13	100	0
	25	2014	5.55	24947.85	79.37	100	0
	25	2015	5.93	25982.44	79.60	100	0
	25	2016	5.74	26719.24	79.84	100	0
	25	2017	6.05	27426.28	80.08	100	0
	25	2018	5.88	27956.72	80.32	100	0
	25	2019	5.47	28301.44	80.57	100	0
	25	2020	4.62	25077.02	80.81	100	1
	25	2021	5.01	26705.36	81.06	100	1
	25	2022	4.93	28152.47	81.30	100	1
	25	2023	4.49	28569.84	81.55	100	1
	26	2000	11.30	34890.08	100.00	100	0
	26	2001	11.09	33597.87	100.00	100	0
	26	2002	10.83	34598.83	100.00	100	0
	26	2003	10.31	36709.80	100.00	100	0
	26	2004	10.69	39856.64	100.00	100	0
	26	2005	9.78	41798.49	100.00	100	0
	26	2006	9.54	44159.41	100.00	100	0
	26	2007	9.45	46178.81	100.00	100	0
	26	2008	8.87	44601.58	100.00	100	0
	26	2009	8.77	43331.87	100.00	100	0
	26	2010	9.63	48752.05	100.00	100	0
Singapura	26	2011	9.90	50713.53	100.00	100	0
	26	2012	9.44	51679.35	100.00	100	0
	26	2013	9.75	53298.97	100.00	100	0
	26	2014	9.85	54681.93	100.00	100	0
	26	2015	9.97	55645.61	100.00	100	0
	26	2016	9.45	56986.79	100.00	100	0
	26	2017	10.14	59485.30	100.00	100	0
	26	2018	9.62	61250.35	100.00	100	0
	26	2019	9.80	61345.53	100.00	100	0
	26	2020	9.48	59189.70	100.00	100	1
	26	2021	10.21	67731.26	100.00	100	1
	26	2022	9.89	68218.81	100.00	100	1

	26	2023	9.64	66167.36	100.00	100	1
Mesir	27	2000	1.75	2458.61	42.80	97.7	0
	27	2001	1.89	2492.03	42.84	97.4	0
	27	2002	1.90	2498.48	42.89	97.5	0
	27	2003	1.90	2524.80	42.94	98.8	0
	27	2004	2.02	2574.42	42.98	97.8	0
	27	2005	2.20	2635.70	43.03	99.4	0
	27	2006	2.28	2761.62	43.07	99	0
	27	2007	2.40	2902.07	43.08	98.4	0
	27	2008	2.35	3052.21	43.06	99.8	0
	27	2009	2.40	3135.10	43.04	98.9	0
	27	2010	2.37	3233.85	43.02	99.4	0
	27	2011	2.41	3222.38	43.00	99.4	0
	27	2012	2.50	3220.99	42.95	99.7	0
	27	2013	2.40	3216.38	42.89	99.9	0
	27	2014	2.39	3235.66	42.84	99.8	0
	27	2015	2.40	3306.98	42.79	99.3	0
	27	2016	2.46	3381.22	42.73	100	0
	27	2017	2.53	3452.91	42.71	100	0
	27	2018	2.43	3568.64	42.70	100	0
	27	2019	2.20	3701.24	42.73	100	0
	27	2020	2.07	3770.87	42.78	100	1
	27	2021	2.25	3837.32	42.86	100	1
	27	2022	2.19	4029.78	42.97	100	1
27	2023	2.18	4111.31	43.10	100	1	
Pakistan	28	2000	0.72	1049.54	32.98	72.8	0
	28	2001	0.72	1057.87	33.18	73.9	0
	28	2002	0.69	1059.04	33.38	74.9	0
	28	2003	0.70	1090.28	33.58	76	0
	28	2004	0.77	1147.00	33.78	77	0
	28	2005	0.76	1201.23	33.98	78.1	0
	28	2006	0.81	1243.94	34.18	79.1	0
	28	2007	0.88	1265.36	34.39	80.2	0
	28	2008	0.83	1258.05	34.59	81.4	0
	28	2009	0.82	1269.07	34.79	82.5	0
	28	2010	0.78	1256.69	35.00	87.1	0
	28	2011	0.76	1261.83	35.20	87.8	0
	28	2012	0.76	1275.49	35.41	88.6	0
	28	2013	0.76	1309.70	35.61	89.3	0
	28	2014	0.79	1343.31	35.82	90.1	0
	28	2015	0.82	1380.47	36.03	91	0
28	2016	0.89	1452.19	36.23	91.8	0	

	28	2017	0.96	1495.26	36.44	92.7	0
	28	2018	0.89	1561.68	36.67	93.4	0
	28	2019	0.86	1573.83	36.91	93.9	0
	28	2020	0.95	1526.01	37.17	94.5	1
	28	2021	0.99	1595.03	37.44	94.9	1
	28	2022	0.90	1642.28	37.73	95	1
	28	2023	0.81	1616.40	38.04	95.6	1
Argentina	29	2000	3.68	10631.65	89.14	95.7	0
	29	2001	3.49	10051.94	89.33	95.5	0
	29	2002	3.26	8861.56	89.51	96.1	0
	29	2003	3.52	9545.53	89.69	96.3	0
	29	2004	3.86	10302.45	89.86	96.5	0
	29	2005	3.92	11099.75	90.03	96.7	0
	29	2006	4.10	11870.28	90.20	97	0
	29	2007	4.33	12811.90	90.37	97.2	0
	29	2008	4.44	13197.36	90.53	97.5	0
	29	2009	4.04	12285.38	90.69	97.8	0
	29	2010	4.30	13387.16	90.85	98.8	0
	29	2011	4.43	14040.62	90.99	99	0
	29	2012	4.48	13754.43	91.12	99.1	0
	29	2013	4.54	13946.10	91.25	99.3	0
	29	2014	4.42	13456.13	91.38	100	0
	29	2015	4.51	13679.63	91.50	99.7	0
	29	2016	4.42	13265.89	91.63	99.9	0
	29	2017	4.32	13520.11	91.75	100	0
	29	2018	4.25	13058.33	91.87	100	0
	29	2019	4.08	12706.40	91.99	100	0
	29	2020	3.76	11393.05	92.11	100	1
	29	2021	4.21	12549.28	92.23	100	1
	29	2022	4.26	13182.79	92.35	100	1
29	2023	4.04	12933.25	92.46	100	1	
Iraq	30	2000	3.64	4172.78	68.50	96.8	0
	30	2001	3.99	4116.09	68.55	96.9	0
	30	2002	3.65	3660.93	68.60	97.1	0
	30	2003	3.09	2250.07	68.66	97.2	0
	30	2004	3.28	3354.27	68.71	97.3	0
	30	2005	3.07	3310.86	68.77	97.4	0
	30	2006	2.97	3471.99	68.82	97.6	0
	30	2007	2.76	3565.58	68.87	98.1	0
	30	2008	3.13	3781.78	68.93	97.9	0
	30	2009	3.22	3768.17	68.98	98.1	0
	30	2010	3.59	3881.94	69.10	98.4	0

	30	2011	3.60	4030.02	69.27	98	0
	30	2012	3.95	4387.90	69.43	99.3	0
	30	2013	4.09	4504.83	69.60	99	0
	30	2014	3.78	4446.97	69.76	99.2	0
	30	2015	3.67	4440.14	69.92	99.4	0
	30	2016	3.96	4932.93	70.09	99.7	0
	30	2017	4.21	4736.33	70.28	99.9	0
	30	2018	4.43	4749.01	70.47	99.9	0
	30	2019	4.70	4898.15	70.68	100	0
	30	2020	4.05	4214.00	70.89	100	1
	30	2021	4.06	4182.50	71.12	100	1
	30	2022	4.32	4413.00	71.35	100	1
	30	2023	4.28	4337.09	71.60	100	1
	Belanda	31	2000	11.11	40665.34	76.80	100
31		2001	11.31	41297.32	77.83	100	0
31		2002	11.26	41135.42	79.11	100	0
31		2003	11.36	40981.85	80.34	100	0
31		2004	11.47	41663.15	81.51	100	0
31		2005	11.16	42411.35	82.63	100	0
31		2006	10.87	43841.12	83.64	100	0
31		2007	10.92	45445.52	84.54	100	0
31		2008	10.94	46227.21	85.40	100	0
31		2009	10.57	44304.41	86.29	100	0
31		2010	11.20	44659.27	87.13	100	0
31		2011	10.43	45239.73	87.88	100	0
31		2012	10.24	44631.87	88.59	100	0
31		2013	10.08	44487.03	89.19	100	0
31		2014	9.59	45042.07	89.69	100	0
31		2015	10.00	45793.81	90.17	100	0
31		2016	10.03	46655.04	90.64	100	0
31		2017	9.81	47670.11	91.08	100	0
31		2018	9.46	48463.03	91.49	100	0
31		2019	9.10	49254.02	91.88	100	0
31		2020	8.14	47086.58	92.24	100	1
31		2021	8.35	49780.84	92.57	100	1
31		2022	7.51	51777.54	92.89	100	1
31	2023	6.87	51305.63	93.18	100	1	
Aljazair	32	2000	2.85	3553.32	59.92	98.6	0
	32	2001	2.74	3610.01	60.71	98.6	0
	32	2002	2.82	3754.66	61.50	98.6	0
	32	2003	3.00	3945.90	62.28	98.6	0
	32	2004	2.96	4066.28	63.06	98.6	0

	32	2005	3.06	4223.60	63.83	98.6	0
	32	2006	3.14	4279.62	64.59	98.7	0
	32	2007	3.19	4339.25	65.35	98.7	0
	32	2008	3.27	4367.57	66.10	99.3	0
	32	2009	3.27	4336.10	66.83	98.8	0
	32	2010	3.28	4456.61	67.54	98.9	0
	32	2011	3.38	4501.35	68.24	99	0
	32	2012	3.73	4518.44	68.92	98.8	0
	32	2013	3.79	4543.23	69.58	99.2	0
	32	2014	3.95	4634.10	70.22	99.3	0
	32	2015	4.12	4685.06	70.85	99.4	0
	32	2016	3.94	4768.73	71.46	99.4	0
	32	2017	4.00	4742.90	72.05	99.5	0
	32	2018	4.11	4717.00	72.63	99.6	0
	32	2019	4.20	4672.66	73.19	99.5	0
	32	2020	3.90	4363.69	73.73	99.7	1
	32	2021	4.02	4456.75	74.26	99.8	1
	32	2022	4.10	4544.47	74.77	100	1
	32	2023	3.91	4660.41	75.27	100	1
Filipina	33	2000	0.93	1793.35	46.14	74.7	0
	33	2001	0.88	1807.71	46.05	75.7	0
	33	2002	0.88	1837.25	45.97	76.7	0
	33	2003	0.88	1892.82	45.88	76.6	0
	33	2004	0.88	1978.34	45.80	87.6	0
	33	2005	0.90	2037.88	45.71	79.8	0
	33	2006	0.79	2110.42	45.63	80.2	0
	33	2007	0.84	2209.35	45.54	82	0
	33	2008	0.84	2264.95	45.46	83.3	0
	33	2009	0.83	2256.73	45.37	84.3	0
	33	2010	0.88	2373.14	45.33	85.5	0
	33	2011	0.86	2416.75	45.52	87.2	0
	33	2012	0.89	2533.74	45.71	87.1	0
	33	2013	0.95	2654.42	45.90	87.5	0
	33	2014	1.00	2776.92	46.09	89.8	0
	33	2015	1.07	2909.86	46.28	89.1	0
	33	2016	1.14	3076.34	46.48	92	0
	33	2017	1.25	3247.45	46.68	93	0
	33	2018	1.29	3410.94	46.91	94.2	0
	33	2019	1.33	3575.88	47.15	95.3	0
33	2020	1.21	3198.67	47.41	96.4	1	
33	2021	1.29	3350.98	47.68	97.5	1	
33	2022	1.32	3577.70	47.98	94.8	1	

	33	2023	1.40	3744.70	48.29	98	1
Qatar	34	2000	49.23	52234.42	96.31	100	0
	34	2001	47.84	51633.96	96.51	100	0
	34	2002	50.90	52752.71	96.69	100	0
	34	2003	51.39	52255.38	96.87	100	0
	34	2004	53.24	59990.31	97.09	100	0
	34	2005	52.77	60416.78	97.40	100	0
	34	2006	50.35	64676.40	97.67	100	0
	34	2007	46.46	61423.09	97.92	100	0
	34	2008	43.35	61213.79	98.14	100	0
	34	2009	39.76	60781.87	98.34	100	0
	34	2010	44.66	72333.98	98.50	100	0
	34	2011	51.20	81608.57	98.60	100	0
	34	2012	53.60	80621.86	98.70	100	0
	34	2013	53.29	76486.97	98.79	100	0
	34	2014	51.48	71756.06	98.87	100	0
	34	2015	48.66	68985.29	98.95	100	0
	34	2016	46.04	67294.46	99.02	100	0
	34	2017	44.82	64497.70	99.08	100	0
	34	2018	44.52	64410.82	99.14	100	0
	34	2019	44.60	63430.46	99.19	100	0
	34	2020	41.26	57769.60	99.24	100	1
	34	2021	47.09	65488.51	99.28	100	1
	34	2022	44.68	64315.63	99.32	100	1
34	2023	48.16	65111.03	99.35	100	1	
Bangladesh	35	2000	0.20	620.56	23.59	32	0
	35	2001	0.24	641.29	24.10	35	0
	35	2002	0.25	655.67	24.76	37.8	0
	35	2003	0.26	676.83	25.43	40.5	0
	35	2004	0.27	702.66	26.11	40.6	0
	35	2005	0.28	739.20	26.81	44.2	0
	35	2006	0.30	779.42	27.52	50.5	0
	35	2007	0.31	825.51	28.24	46.5	0
	35	2008	0.34	866.46	28.97	54.3	0
	35	2009	0.37	901.73	29.71	57.1	0
	35	2010	0.40	943.66	30.46	55.3	0
	35	2011	0.43	995.58	31.23	59.6	0
	35	2012	0.45	1050.39	31.99	65.5	0
	35	2013	0.46	1103.16	32.76	61.5	0
	35	2014	0.49	1159.41	33.54	62.4	0
35	2015	0.54	1224.39	34.31	74	0	
35	2016	0.58	1299.83	35.08	75.9	0	

	35	2017	0.62	1373.75	35.86	88	0
	35	2018	0.65	1462.25	36.63	86.9	0
	35	2019	0.66	1564.21	37.41	92.2	0
	35	2020	0.62	1604.67	38.18	96.2	1
	35	2021	0.70	1702.08	38.95	99	1
	35	2022	0.73	1804.35	39.71	99.4	1
	35	2023	0.73	1885.38	40.47	99.5	1
	36	2000	0.79	1421.68	34.84	43.2	0
	36	2001	0.82	1465.46	35.67	43.9	0
	36	2002	0.73	1644.40	36.51	44.6	0
	36	2003	0.78	1717.21	37.36	52.2	0
	36	2004	0.74	1824.80	38.21	46.1	0
	36	2005	0.71	1889.25	39.07	46.8	0
	36	2006	0.62	1949.16	39.94	47.6	0
	36	2007	0.55	2020.83	40.82	50.1	0
	36	2008	0.58	2098.28	41.70	50.3	0
	36	2009	0.50	2204.61	42.59	50	0
	36	2010	0.57	2315.47	43.48	48	0
	36	2011	0.61	2370.98	44.37	55.9	0
	36	2012	0.58	2403.65	45.25	53	0
	36	2013	0.64	2495.34	46.12	55.6	0
	36	2014	0.66	2583.62	46.98	54.2	0
	36	2015	0.62	2585.73	47.84	52.5	0
	36	2016	0.62	2481.81	48.68	59.3	0
	36	2017	0.59	2441.71	49.52	54.4	0
	36	2018	0.61	2431.78	50.34	56.5	0
	36	2019	0.62	2431.54	51.16	55.4	0
	36	2020	0.57	2337.58	51.96	55.4	1
	36	2021	0.60	2372.57	52.75	59.5	1
	36	2022	0.58	2398.99	53.52	60.5	1
	36	2023	0.56	2416.36	54.28	61.2	1
	37	2000	12.19	35878.32	97.13	100	0
	37	2001	12.24	36148.29	97.19	100	0
	37	2002	11.47	36600.86	97.24	100	0
	37	2003	11.89	36826.27	97.30	100	0
	37	2004	11.71	37976.70	97.35	100	0
	37	2005	11.37	38645.26	97.40	100	0
	37	2006	11.02	39371.09	97.45	100	0
	37	2007	10.64	40520.08	97.51	100	0
	37	2008	10.68	40380.91	97.56	100	0
	37	2009	9.95	39293.64	97.60	100	0
	37	2010	10.55	39991.56	97.65	100	0

	37	2011	9.47	40236.96	97.70	100	0
	37	2012	9.28	40074.49	97.74	100	0
	37	2013	9.36	40007.90	97.79	100	0
	37	2014	8.72	40533.91	97.83	100	0
	37	2015	9.08	40893.80	97.88	100	0
	37	2016	8.94	41172.89	97.92	100	0
	37	2017	8.76	41619.33	97.96	100	0
	37	2018	8.76	42208.36	98.00	100	0
	37	2019	8.69	43006.40	98.04	100	0
	37	2020	8.00	40769.02	98.08	100	1
	37	2021	8.31	43121.94	98.12	100	1
	37	2022	7.68	44596.79	98.15	100	1
	37	2023	7.15	44722.20	98.19	100	1
	Uzbekistan	38	2000	5.27	1269.72	46.13	99.6
38		2001	5.26	1306.61	46.61	99.6	0
38		2002	5.36	1341.96	47.09	99.7	0
38		2003	4.98	1381.83	47.57	99.5	0
38		2004	5.04	1466.61	48.05	99.5	0
38		2005	4.73	1549.05	48.54	99.4	0
38		2006	4.99	1643.15	49.02	99.5	0
38		2007	4.78	1773.76	49.51	99.5	0
38		2008	4.93	1904.46	49.99	99.5	0
38		2009	4.39	2025.04	50.47	99.5	0
38		2010	4.78	2144.64	50.96	99.6	0
38		2011	4.80	2271.01	51.15	99.7	0
38		2012	4.19	2395.84	51.05	99.7	0
38		2013	4.06	2530.68	50.95	99.8	0
38		2014	3.73	2659.99	50.85	99.8	0
38		2015	3.49	2803.19	50.75	99.9	0
38		2016	3.64	2918.68	50.65	99.9	0
38		2017	3.71	2995.77	50.55	100	0
38		2018	3.76	3108.16	50.48	100	0
38		2019	3.80	3259.37	50.43	100	0
38		2020	3.66	3249.05	50.42	100	1
38		2021	3.90	3442.72	50.43	99.9	1
38		2022	3.98	3576.72	50.47	100	1
38	2023	3.87	3725.67	50.53	100	1	
Turkmenistan	39	2000	8.58	2255.01	45.91	99.6	0
	39	2001	8.62	2306.30	46.14	99.6	0
	39	2002	9.06	2266.63	46.36	99.6	0
	39	2003	9.90	2295.30	46.59	99.6	0
	39	2004	10.35	2364.27	46.81	99.5	0

	39	2005	10.47	2622.62	47.05	99.5	0
	39	2006	10.68	2856.77	47.31	99.8	0
	39	2007	11.59	3114.06	47.58	99.6	0
	39	2008	11.59	3504.35	47.87	99.6	0
	39	2009	10.02	3645.44	48.17	99.7	0
	39	2010	11.08	3900.14	48.49	100	0
	39	2011	11.64	4379.75	48.83	99.8	0
	39	2012	11.76	4761.08	49.18	99.9	0
	39	2013	10.99	5131.17	49.54	99.9	0
	39	2014	10.40	5533.04	49.92	100	0
	39	2015	10.54	5759.50	50.32	100	0
	39	2016	10.31	5977.84	50.73	100	0
	39	2017	10.08	6222.56	51.15	100	0
	39	2018	9.73	6460.94	51.59	100	0
	39	2019	9.62	6718.17	52.05	99.9	0
	39	2020	9.60	6965.11	52.52	100	1
	39	2021	9.21	7248.71	53.00	100	1
	39	2022	9.21	7551.04	53.49	100	1
	39	2023	8.96	7880.45	54.00	100	1
	40	2000	27.87	31341.98	99.00	100	0
	40	2001	28.64	30573.43	99.91	100	0
	40	2002	29.17	30702.22	100.00	100	0
	40	2003	29.94	35169.63	100.00	100	0
	40	2004	31.16	37918.54	100.00	100	0
	40	2005	33.72	40451.26	100.00	100	0
	40	2006	33.01	41137.97	100.00	100	0
	40	2007	30.43	41113.87	100.00	100	0
	40	2008	30.82	39852.51	100.00	100	0
	40	2009	29.88	35124.09	100.00	100	0
	40	2010	29.39	32568.50	100.00	100	0
	40	2011	28.69	33545.35	100.00	100	0
	40	2012	27.20	33578.33	100.00	100	0
	40	2013	26.56	32311.18	100.00	100	0
	40	2014	24.90	31073.15	100.00	100	0
	40	2015	24.69	29882.21	100.00	100	0
	40	2016	24.28	29454.44	100.00	100	0
	40	2017	23.15	27048.37	100.00	100	0
	40	2018	22.67	26706.02	100.00	100	0
	40	2019	22.25	26580.23	100.00	100	0
	40	2020	22.41	25541.41	100.00	100	1
	40	2021	24.34	26203.26	100.00	100	1
	40	2022	23.84	26579.83	100.00	100	1

	40	2023	23.00	24716.20	100.00	100	1
Kolombia	41	2000	1.60	4016.81	73.96	95.2	0
	41	2001	1.57	4020.51	74.38	98.5	0
	41	2002	1.48	4058.28	74.80	94.9	0
	41	2003	1.45	4154.18	75.21	95.1	0
	41	2004	1.43	4311.92	75.62	95.3	0
	41	2005	1.45	4457.28	76.02	96.8	0
	41	2006	1.36	4694.03	76.42	95.7	0
	41	2007	1.40	4947.25	76.82	96	0
	41	2008	1.38	5048.57	77.20	96.8	0
	41	2009	1.44	5046.97	77.59	96.1	0
	41	2010	1.47	5214.25	77.96	96.8	0
	41	2011	1.56	5517.10	78.34	96.7	0
	41	2012	1.55	5675.76	78.70	97	0
	41	2013	1.75	5910.81	79.06	97.8	0
	41	2014	1.76	6121.84	79.42	97.8	0
	41	2015	1.78	6248.51	79.76	98.2	0
	41	2016	1.81	6316.07	80.11	98.4	0
	41	2017	1.62	6309.68	80.45	98.5	0
	41	2018	1.67	6353.55	80.78	98.5	0
	41	2019	1.66	6439.96	81.10	99.4	0
	41	2020	1.60	5891.96	81.43	99.7	1
	41	2021	1.72	6457.17	81.74	100	1
	41	2022	1.77	6856.73	82.05	100	1
41	2023	1.93	6828.60	82.35	98.7	1	
Oman	42	2000	11.53	19881.74	71.57	100	0
	42	2001	12.33	20546.06	71.55	100	0
	42	2002	13.03	20150.11	71.53	100	0
	42	2003	13.61	19485.64	71.51	100	0
	42	2004	13.21	19534.86	71.83	100	0
	42	2005	13.43	19629.05	72.40	99.9	0
	42	2006	16.76	20096.40	72.97	99.9	0
	42	2007	17.73	20642.75	73.53	100	0
	42	2008	17.03	22007.73	74.08	100	0
	42	2009	17.55	22819.20	74.62	100	0
	42	2010	18.67	22766.05	75.16	100	0
	42	2011	19.42	20993.91	76.18	100	0
	42	2012	19.01	19824.12	77.56	100	0
	42	2013	18.42	19299.94	78.88	100	0
	42	2014	18.75	18726.20	80.15	100	0
	42	2015	18.95	18808.31	81.35	100	0
42	2016	18.61	18830.61	82.50	100	0	

	42	2017	18.15	18277.95	83.56	100	0
	42	2018	18.56	18269.68	84.54	100	0
	42	2019	18.81	18089.59	85.44	100	0
	42	2020	18.18	17743.89	86.28	100	1
	42	2021	19.57	18291.34	87.04	100	1
	42	2022	19.23	18792.45	87.75	100	1
	42	2023	18.44	17814.02	88.40	100	1
Chile	43	2000	3.47	8465.35	86.07	97.9	0
	43	2001	3.29	8632.01	86.36	97.1	0
	43	2002	3.29	8810.69	86.61	97.3	0
	43	2003	3.38	9130.78	86.67	98.8	0
	43	2004	3.61	9642.37	86.73	97.5	0
	43	2005	3.62	10104.42	86.78	97.7	0
	43	2006	3.66	10611.61	86.84	99.4	0
	43	2007	4.06	11051.35	86.90	98	0
	43	2008	4.24	11356.09	86.96	98.2	0
	43	2009	4.01	11116.41	87.02	99.6	0
	43	2010	4.21	11649.29	87.07	99.5	0
	43	2011	4.56	12252.84	87.13	99.6	0
	43	2012	4.64	12882.83	87.19	100	0
	43	2013	4.83	13182.73	87.25	99.6	0
	43	2014	4.41	13285.95	87.30	100	0
	43	2015	4.67	13433.92	87.36	99.7	0
	43	2016	4.86	13505.10	87.42	100	0
	43	2017	4.83	13473.35	87.49	99.7	0
	43	2018	4.75	13763.01	87.56	100	0
	43	2019	4.96	13630.59	87.64	100	0
	43	2020	4.52	12679.02	87.73	100	1
	43	2021	4.58	14051.47	87.82	100	1
	43	2022	4.54	14283.15	87.91	100	1
43	2023	4.27	14280.35	88.01	100	1	
Ceko (Czechia)	44	2000	12.90	12543.94	73.99	100	0
	44	2001	12.94	12958.47	73.88	100	0
	44	2002	12.49	13179.99	73.81	100	0
	44	2003	12.82	13618.93	73.74	100	0
	44	2004	12.90	14259.63	73.67	100	0
	44	2005	12.64	15147.72	73.60	100	0
	44	2006	12.77	16107.30	73.53	100	0
	44	2007	12.85	16892.54	73.46	100	0
	44	2008	12.14	17190.65	73.39	100	0
	44	2009	11.46	16272.81	73.32	100	0
	44	2010	11.55	16665.93	73.26	100	0

	44	2011	11.25	16926.28	73.19	100	0
	44	2012	10.85	16772.35	73.20	100	0
	44	2013	10.42	16759.78	73.29	100	0
	44	2014	10.19	17118.04	73.38	100	0
	44	2015	10.27	17931.60	73.48	100	0
	44	2016	10.39	18359.10	73.57	100	0
	44	2017	10.42	19257.69	73.68	100	0
	44	2018	10.29	19736.63	73.79	100	0
	44	2019	9.68	20360.06	73.92	100	0
	44	2020	8.82	19233.15	74.06	100	1
	44	2021	9.44	20373.88	74.21	100	1
	44	2022	9.32	20627.35	74.38	100	1
	44	2023	8.33	20251.75	74.55	100	1
	45	2000	9.43	29413.49	91.20	100	0
	45	2001	9.20	28808.13	91.27	100	0
	45	2002	9.52	28195.87	91.33	100	0
	45	2003	9.61	28092.62	91.39	100	0
	45	2004	9.41	28883.25	91.46	100	0
	45	2005	8.94	29623.72	91.52	100	0
	45	2006	9.24	30734.96	91.58	100	0
	45	2007	9.41	32103.16	91.64	100	0
	45	2008	9.29	32554.04	91.70	100	0
	45	2009	8.97	32178.57	91.76	100	0
	45	2010	9.45	33344.72	91.83	100	0
	45	2011	9.17	34540.67	91.89	100	0
	45	2012	9.82	34738.66	91.96	100	0
	45	2013	8.48	35489.51	92.03	100	0
	45	2014	8.04	36129.31	92.10	100	0
	45	2015	8.12	36213.10	92.18	100	0
	45	2016	7.92	37093.79	92.26	100	0
	45	2017	7.80	37963.05	92.34	100	0
	45	2018	7.16	38729.64	92.42	100	0
	45	2019	7.23	39407.20	92.50	100	0
	45	2020	6.68	37935.54	92.59	100	1
	45	2021	6.52	40804.97	92.67	100	1
	45	2022	6.58	42516.39	92.76	100	1
	45	2023	6.22	42011.62	92.85	100	1
	46	2000	1.18	1957.14	53.34	69.8	0
	46	2001	1.28	2078.97	53.66	71.6	0
	46	2002	1.31	2127.51	53.99	73.3	0
	46	2003	1.29	2229.58	54.32	75.1	0
	46	2004	1.43	2301.08	54.64	78.2	0

	46	2005	1.47	2342.15	55.17	78.6	0
	46	2006	1.47	2489.99	55.75	96.5	0
	46	2007	1.48	2540.62	56.32	82.2	0
	46	2008	1.56	2648.59	56.89	84.1	0
	46	2009	1.53	2710.67	57.45	85.9	0
	46	2010	1.60	2767.04	58.02	95.7	0
	46	2011	1.71	2879.54	58.58	96.1	0
	46	2012	1.75	2927.45	59.14	96.4	0
	46	2013	1.73	3008.19	59.70	97.2	0
	46	2014	1.74	3051.46	60.26	97.3	0
	46	2015	1.77	3146.25	60.81	97.3	0
	46	2016	1.74	3124.43	61.36	97.8	0
	46	2017	1.80	3242.64	61.91	100	0
	46	2018	1.82	3304.71	62.45	98.1	0
	46	2019	1.98	3364.74	62.99	99.6	0
	46	2020	1.85	3090.89	63.53	100	1
	46	2021	1.98	3309.13	64.07	100	1
	46	2022	1.88	3325.56	64.60	100	1
	46	2023	1.85	3403.32	65.12	100	1
	47	2000	8.89	18002.91	72.72	100	0
	47	2001	9.03	18742.42	72.91	100	0
	47	2002	9.00	19548.37	73.30	100	0
	47	2003	9.32	20632.26	73.69	100	0
	47	2004	9.27	21688.11	74.07	100	0
	47	2005	9.43	21880.53	74.45	100	0
	47	2006	9.29	23220.53	74.83	100	0
	47	2007	9.59	23973.69	75.20	100	0
	47	2008	9.19	23923.88	75.57	100	0
	47	2009	8.66	22878.13	75.93	100	0
	47	2010	8.01	21547.72	76.29	100	0
Greece	47	2011	7.76	19448.26	76.65	100	0
	47	2012	7.38	17924.66	77.00	100	0
	47	2013	6.74	17644.88	77.36	100	0
	47	2014	6.52	17903.53	77.70	100	0
	47	2015	6.42	17980.73	78.05	100	0
	47	2016	6.32	18049.93	78.39	100	0
	47	2017	6.36	18352.09	78.72	100	0
	47	2018	6.20	18769.04	79.06	100	0
	47	2019	5.75	19216.68	79.39	100	0
	47	2020	4.90	17486.95	79.72	100	1
	47	2021	5.13	19232.97	80.04	100	1
	47	2022	5.26	20595.50	80.36	100	1

	47	2023	4.97	21139.19	80.67	100	1
Romania	48	2000	4.34	102548872691.52	53.00	94.4	0
	48	2001	4.72	107900062083.04	52.85	94.6	0
	48	2002	4.76	114053593614.45	52.78	94.9	0
	48	2003	4.99	116723756275.21	52.91	95.1	0
	48	2004	4.92	128895841498.56	53.04	95.3	0
	48	2005	4.90	134912890211.10	53.17	95.6	0
	48	2006	5.23	145744791283.30	53.31	95.9	0
	48	2007	5.13	156287689281.09	53.44	96.1	0
	48	2008	5.13	170834114652.89	53.57	96.5	0
	48	2009	4.21	161409698529.13	53.70	96.8	0
	48	2010	4.12	155105339843.99	53.83	97.1	0
	48	2011	4.46	162078238594.70	53.96	97.4	0
	48	2012	4.37	165163587446.02	53.97	97.8	0
	48	2013	3.98	165624017079.64	53.94	98.1	0
	48	2014	3.97	172441103432.38	53.90	98.4	0
	48	2015	4.05	177885131240.32	53.89	98.8	0
	48	2016	3.99	182972525962.28	53.90	99.1	0
	48	2017	4.18	197967999561.02	53.94	100	0
	48	2018	4.26	210085482250.70	54.00	99.8	0
	48	2019	4.19	218327690029.17	54.08	100	0
	48	2020	3.93	210305491425.99	54.19	100	1
	48	2021	4.20	221968423307.80	54.33	100	1
	48	2022	3.99	230770154206.93	54.49	100	1
48	2023	3.71	236318495899.18	54.67	100	1	
Peru	49	2000	1.09	87409379264.71	73.04	72.5	0
	49	2001	1.00	87949475111.06	73.45	72.1	0
	49	2002	1.03	92745825187.23	73.85	74.4	0
	49	2003	1.00	96608710264.56	74.25	74.4	0
	49	2004	1.14	101398766434.29	74.64	75.7	0
	49	2005	1.13	107771740073.59	75.03	77.2	0
	49	2006	1.11	115885765581.76	75.42	80.2	0
	49	2007	1.20	125757364463.20	75.80	82	0
	49	2008	1.36	137234696225.05	76.05	84.7	0
	49	2009	1.45	138738546494.97	76.24	86.4	0
	49	2010	1.58	150298879148.00	76.43	88.1	0
	49	2011	1.68	159808578409.16	76.62	89.7	0
	49	2012	1.66	169620385179.42	76.80	91.1	0
	49	2013	1.69	179547449111.36	76.99	92.1	0
	49	2014	1.77	183824551906.26	77.17	92.9	0
	49	2015	1.80	189802976285.62	77.36	93.9	0
49	2016	1.86	197306492869.14	77.54	94.2	0	

	49	2017	1.76	202276318741.55	77.72	94.8	0
	49	2018	1.73	210305376512.78	77.91	95.2	0
	49	2019	1.79	215017545590.32	78.10	95.6	0
	49	2020	1.45	191509018299.92	78.30	96.2	1
	49	2021	1.61	217099648514.38	78.50	95.6	1
	49	2022	1.70	223198050485.25	78.71	96.2	1
	49	2023	1.73	222298021864.38	78.92	96.2	1
zambia	50	2000	0.19	804.48	34.80	16.7	0
	50	2001	0.19	822.02	35.00	20.2	0
	50	2002	0.19	833.02	35.48	17.4	0
	50	2003	0.20	863.65	35.95	18.5	0
	50	2004	0.20	895.48	36.43	20.3	0
	50	2005	0.21	929.08	36.91	23.3	0
	50	2006	0.20	968.56	37.40	24.1	0
	50	2007	0.18	1013.09	37.88	18.5	0
	50	2008	0.18	1053.59	38.37	25.7	0
	50	2009	0.20	1110.72	38.86	26.6	0
	50	2010	0.21	1183.42	39.36	22	0
	50	2011	0.23	1208.46	39.85	28.3	0
	50	2012	0.29	1258.79	40.35	29.2	0
	50	2013	0.30	1280.77	40.87	30.1	0
	50	2014	0.32	1299.01	41.38	27.9	0
	50	2015	0.32	1295.88	41.91	31.1	0
	50	2016	0.34	1303.58	42.44	35.4	0
	50	2017	0.41	1308.77	42.98	40.3	0
	50	2018	0.45	1321.25	43.52	40.2	0
	50	2019	0.38	1301.18	44.07	43	0
	50	2020	0.39	1228.74	44.63	44.6	1
	50	2021	0.40	1269.11	45.19	46.7	1
	50	2022	0.39	1298.85	45.76	47.8	1
50	2023	0.39	1330.86	46.34	51.1	1	

## Lampiran 2 : Hasil Uji Multikolinearitas

. vif

Variable	VIF	1/VIF
accel	1.36	0.737869
urb	1.35	0.740101
covid19	1.01	0.989800
ln_Pdb	1.01	0.994913
Mean VIF	1.18	

### Lampiran 3: Hasil Estimasi Panel Quantile Regression

. xtqreg ln\_Co2 ln\_Pdb urb acel covid19, q(0.10, 0.25, 0.50, 0.75, 0.90)

MM-QR regression results

Number of obs = 1200

.1 Quantile regression

	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
ln_Pdb	.2681768	.0597523	4.49	0.000	.1510644	.3852891
urb	.0156301	.0043568	3.59	0.000	.0070911	.0241692
acel	.012462	.0021038	5.92	0.000	.0083386	.0165855
covid19	-.2191115	.0309155	-7.09	0.000	-.2797047	-.1585183

.25 Quantile regression

	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
ln_Pdb	.2428587	.0451562	5.38	0.000	.1543542	.3313632
urb	.0135731	.0032922	4.12	0.000	.0071206	.0200257
acel	.0128051	.0015893	8.06	0.000	.0096901	.01592
covid19	-.1869676	.0233973	-7.99	0.000	-.2328255	-.1411098

.5 Quantile regression

	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
ln_Pdb	.200023	.0287542	6.96	0.000	.1436659	.2563802
urb	.0100928	.0020989	4.81	0.000	.0059791	.0142065
acel	.0133854	.0010041	13.33	0.000	.0114175	.0153533
covid19	-.1325835	.0155057	-8.55	0.000	-.1629742	-.1021929

.75 Quantile regression

	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
ln_Pdb	.1597962	.0350339	4.56	0.000	.0911311	.2284614
urb	.0068245	.0025544	2.67	0.008	.001818	.011831
acel	.0139304	.0012321	11.31	0.000	.0115155	.0163453
covid19	-.0815116	.0182203	-4.47	0.000	-.1172228	-.0458004

.9 Quantile regression

	Coefficient	Std. err.	z	P> z	[95% conf. interval]	
ln_Pdb	.1413633	.0438148	3.23	0.001	.0554879	.2272387
urb	.0053269	.0031949	1.67	0.095	-.000935	.0115888
acel	.0141801	.0015427	9.19	0.000	.0111564	.0172038
covid19	-.0581092	.0226732	-2.56	0.010	-.1025478	-.0136706