

**PENGARUH KETERBUKAAN PERDAGANGAN, POPULASI
PENDUDUK KOTA, SEKTOR MANUFAKTUR TERHADAP
EMISI GAS KARBON DIOKSIDA PADA NEGARA ANGGOTA
G20**

TESIS

Oleh

NOVITA DWI ANGGRAINI

NPM 2221021017



PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER ILMU EKONOMI

FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2026

**PENGARUH KETERBUKAAN PERDAGANGAN, POPULASI
PENDUDUK KOTA, SEKTOR MANUFAKTUR TERHADAP
EMISI GAS KARBON DIOKSIDA PADA NEGARA ANGGOTA
G20**

Oleh

NOVITA DWI ANGGRAINI

TESIS

**Sebagai Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER EKONOMI**

Pada

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



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

ABSTRAK

PENGARUH KETERBUKAAN PERDAGANGAN, POPULASI PENDUDUK KOTA, SEKTOR MANUFAKTUR TERHADAP EMISI GAS KARBON DIOKSIDA PADA NEGARA ANGGOTA G20

Oleh

NOVITA DWI ANGGRAINI

perkembangan sektor manufaktur berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂). Negara-negara G20 menyumbang sekitar 75% emisi gas rumah kaca global sehingga memiliki peran penting dalam upaya pengendalian emisi. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh keterbukaan perdagangan, populasi penduduk kota, dan sektor manufaktur terhadap emisi CO₂ pada 19 negara anggota G20 selama periode 2004–2023. Negara-negara tersebut dikelompokkan ke dalam kategori emisi tinggi dan emisi sedang. Data sekunder diperoleh dari World Bank dan dianalisis menggunakan regresi data panel dengan pendekatan Fixed Effect Model (FEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara simultan ketiga variabel berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂ pada kedua kelompok negara. Secara parsial, pada kelompok emisi tinggi, keterbukaan perdagangan, populasi penduduk kota, dan sektor manufaktur berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂. Sementara itu, pada kelompok emisi sedang, populasi penduduk kota dan sektor manufaktur berpengaruh positif dan signifikan, sedangkan keterbukaan perdagangan tidak berpengaruh signifikan. Temuan ini menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas ekonomi berpotensi meningkatkan emisi karbon apabila tidak diimbangi dengan efisiensi energi dan penerapan teknologi yang lebih ramah lingkungan.

Kata Kunci : Emisi Karbon Dioksida, Keterbukaan Perdagangan, Populasi Penduduk Kota, Sektor Manufaktur, G20, Data Panel, Environmental Kuznets Curve

ABSTRACT

THE IMPACT OF TRADE OPENNESS, URBAN POPULATION, AND MANUFACTURING ON CARBON DIOXIDE EMISSIONS IN G20 MEMBER COUNTRIES

By

NOVITA DWI ANGGRAINI

Increasing global economic activities through international trade, urbanization, and the expansion of the manufacturing sector have contributed to rising carbon dioxide (CO₂) emissions. G20 countries account for approximately 75% of global greenhouse gas emissions, making them key actors in emission mitigation efforts. This study aims to analyze the effects of trade openness, urban population, and the manufacturing sector on CO₂ emissions in 19 G20 member countries during the 2004–2023 period. The countries were classified into high-emission and medium-emission groups. Secondary data were obtained from the World Bank and analyzed using panel data regression with the Fixed Effect Model (FEM) approach. The results indicate that, simultaneously, all three variables significantly affect CO₂ emissions in both groups of countries. Partially, in the high-emission group, trade openness, urban population, and the manufacturing sector have a positive and significant effect on CO₂ emissions. In the medium-emission group, urban population and the manufacturing sector have a positive and significant effect, while trade openness has no significant effect. These findings suggest that increasing economic activity may lead to higher carbon emissions if not accompanied by energy efficiency improvements and the adoption of environmentally friendly technologies.

Keywords: Carbon Dioxide Emissions, Trade Openness, Urban Population, Manufacturing, G20, Panel Data, Environmental Kuznets Curve

Judul Tesis : **PENGARUH KETERBUKAAN
PERDAGANGAN, POPULASI PENDUDUK
KOTA, SEKTOR MANUFAKTUR
TERHADAP EMISI GAS KARBON
DIOKSIDA PADA NEGARA ANGGOTA G20**

Nama Mahasiswa : Novita Dwi Anggraini

Nomor Pokok Mahasiswa : 2221021017

Program Studi : Ilmu Ekonomi

Fakultas : Ekonomi Dan Bisnis


MENYETUJUI
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I  Dr. Asih Murwiati, S.E., M.E NIP. 197404102008122001	Pembimbing II  Dr. Arivina Ratih Yulihar T, S.E., M.M NIP. 198007052006042002
--	--

2. Ketua Program Studi Magister Ilmu Ekonomi

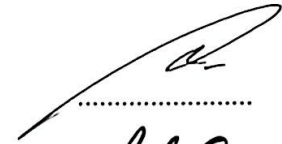

Dr. Asih Murwiati, S.E., M.E
NIP. 197404102008122001

MENGESAHKAN

I. Komisi Penguji

1.1. Ketua Komisi Penguji

(Ketua Penguji) : Dr. Asih Murwiati, S.E., M.E



1.2. Anggota Komisi Penguji

(Penguji I) : Dr. Arivina Ratih Yulihar T, S.E., M.M



1.3. Anggota Komisi Penguji

(Penguji II) : Dr. Neli Aida S.E, M.Si



1.4. Sekretaris

(Sekertaris Penguji) : Dr. Dedy Yuliawan, S.E., M.Si



II. Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis

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

III. Direktur Program Pascasarjana

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

Tanggal Lulus Ujian : 03 Juni 2026

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa TESIS ini telah ditulis dengan sungguh-sungguh dan bukan merupakan penjiplakan hasil karya orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman atau sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.



Lampung, 25 Mei 2026

Novita Dwi Anggraini

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Novita Dwi Anggraini, lahir di Lampung pada tanggal 2 November 1977. Penulis bertempat tinggal di Korpri Raya, Bandar Lampung. Pendidikan formal penulis diawali di SMA Negeri 2 Bandar Lampung dan diselesaikan pada tahun 1996. Selanjutnya, penulis melanjutkan pendidikan pada Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung, dan memperoleh gelar Sarjana pada tahun 2003. Untuk meningkatkan kompetensi akademik dan profesional, penulis melanjutkan pendidikan pada Program Magister Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung. Dalam perjalanan karier, penulis bekerja di Bank Indonesia. Pengalaman bekerja di lembaga bank sentral tersebut memberikan kesempatan kepada penulis untuk memperluas wawasan serta mengembangkan kompetensi di bidang ekonomi, keuangan, dan kebijakan publik. Berbagai tugas dan tanggung jawab yang dijalankan menjadi bagian penting dalam pengembangan profesionalisme dan kapasitas penulis. Ketertarikan terhadap bidang ekonomi dan pembangunan mendorong penulis untuk terus meningkatkan pengetahuan dan kemampuan melalui pendidikan formal maupun pengalaman kerja. Oleh karena itu, penulis menempuh pendidikan Magister Ilmu Ekonomi sebagai upaya untuk memperdalam pemahaman akademik dan meningkatkan kontribusi dalam pengembangan ilmu ekonomi serta pembangunan. Demikian riwayat hidup ini dibuat sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari penulisan tesis.

MOTTO

QS Al-Insyirah (Kelapangan)

Ayat 1-8

Cinta mengubah kekasaran menjadi kelembutan, Mengubah orang tak berpendirian
menjadi teguh berpendirian, mengubah pengecut menjadi pemberani, mengubah
penderitaan menjadi kebahagiaan, dan cinta membawa perubahan-perubahan bagai
siang dan malam

“Jalaluddin Rumi”

Masa depan adalah milik mereka yang percaya dengan mimpi-nya dan jangan pernah
biarkan mimpimu direndahkan oleh orang lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur Penulis Ucapkan Kepada Allah SWT, Karena atas Rahmat dan Karunia dan Hidayah-nya Tesis ini dapat terselesaikan. TESIS Berjudul “ PENGARUH KETERBUKAAN PERDAGANGAN, POPULASI PENDUDUK KOTA, SEKTOR MANUFAKTUR TERHADAP EMISI GAS KARBON DIOKSIDA PADA NEGARA ANGGOTA G20“ adalah salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Magister Ekonomi di Universitas Lampung.

1. Allah SWT yang telah melimpahkan segala berkah dan rahmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan TESIS ini dengan baik.
2. Kepada suami dan anakku, serta orang tua dan adikku, penulis mengucapkan banyak terimakasih karena senantiasa selalu memberi dukungan kepada penulis serta memberikan do'a, semangat dan pengorbanan yang tidak terhingga.
3. Kepada teman-teman yang selalu memberi dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan TESIS ini dengan baik.
4. Ucapan terima kasih untuk diri sendiri, karena telah berjuang sampai disaat ini. Dan bisa menerima keadaan diri disaat terpuruk hingga harus bangkit kembali untuk menerima semua hal yang telah terjadi. Dibuktikan dengan selesainya TESIS ini merupakan suatu hal yang patut dibanggakan.

SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Puji Syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, karena atas berkat rahmat serta hidayah-Nya, penulis masih bisa merasakan segala nikmat dan anugerah yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul ” **PENGARUH KETERBUKAAN PERDAGANGAN, POPULASI PENDUDUK KOTA, SEKTOR MANUFAKTUR TERHADAP EMISI GAS KARBON DIOKSIDA PADA NEGARA ANGGOTA G20**”

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

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung.
3. Bapak Prof. Dr. Nairobi S.E., M.Si. selaku Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Asih Murwiati, S.E., M.E., selaku pembimbing 1 Ketua Program Studi Magister Ilmu Ekonomi, Universitas Lampung yang telah memberikan saran dan nasehat yang bermanfaat bagi penulis.
5. Ibu Dr. Arivina Ratih, S.E., M.M., selaku Dosen Pembimbing II yang begitu sabar dan selalu mendukung dalam memberikan kritik, ilmu dan sumbangan pemikiran dalam proses penyelesaian tesis ini.

6. Ibu Dr. Neli Aida.,S.E.,M.Si., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan saran dan nasehat yang bermanfaat bagi penulis.
7. Bapak Dr. Dedy Yuliawan., S.E.,M.Si., Selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan saran perbaikan dan nasehat yang bermanfaat bagi penulis.
8. Bapak dan Ibu dosen Magister Ilmu Ekonomi Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan membantu selama penulis menyelesaikan masa pendidikan.
9. Mbak Ita sebagai admin Magister Ilmu Ekonomi yang telah membantu penulis selama perkuliahan dan tesis, serta seluruh staf dan pegawai Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
10. Suamiku tercinta “papa Djoko” dan anakku tersayang “Tata” yang begitu luar biasa dan selalu memberikan dukungan demi kesuksesan penulis.
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini dari awal hingga akhir.

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

Bandar Lampung, Mei 2026

Novita Dwi Anggraini

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
MENGESAHKAN.....	vi
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
MOTTO	ix
UCAPAN TERIMA KASIH.....	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	10
1.3. Tujuan Penelitian.....	11
1.4. Manfaat Penelitian.....	11
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Emisi Gas Karbon Dioksida (CO ₂)	13
2.1.1 Konsep Emisi Gas Dioksida (CO ₂).....	13
2.1.2 Teori Emisi Gas Karbon Dioksida (CO ₂)	13
2.2 Keterbukaan Perdagangan.....	18
2.2.1 Pengertian Keterbukaan Perdagangan	18
2.2.2 Teori Keterbukaan Perdagangan.....	18
2.2.3 Pengukuran Keterbukaan Perdagangan	19
2.3 Populasi Penduduk.....	19
2.3.1 Pengertian Urbanisasi Penduduk Kota	19
2.3.2 Teori Urbanisasi Penduduk Kota	20

2.3.3 Pengukuran Populasi Penduduk.....	21
2.4 Sektor Manufaktur	21
2.4.1 Pengertian Sektor Manufaktur	21
2.4.2 Teori Sektor Manufaktur.....	22
2.5 Teori Hubungan Antar Variabel	22
2.5.1 Emisi gas karbon dioksida Dioksida dan Populasi Penduduk	22
2.5.2 Emisi Gas Karbon Dioksida Dioksida dan Keterbukaan Perdagangan.....	23
2.5.3 Emisi Gas Karbon Dioksida dan Sektor Manufaktur	23
2.6 Tinjauan Empiris.....	25
2.7 Kerangka Pemikiran.....	29
2.8 Hipotesis.....	30
III. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Jenis Data dan Sumber Data.....	32
3.2 Definisi Operasional Variabel	33
3.2.1 Variabel Terikat (<i>Dependent Variable</i>).....	33
3.2.2 Variabel Bebas (<i>Independent Variable</i>).....	34
3.3 Spesifikasi Model Penelitian	35
3.4 Metode Analisis Data	36
3.4.1 Pendekatan <i>Comman Effect Model</i>	37
3.4.2 Pendekatan <i>Fixed Effect Model</i>	37
3.4.3 Pendekatan <i>Random Effect Model</i>	38
3.5 Uji Spesifikasi Model.....	39
3.5.1 Uji Chow	39
3.5.2 Uji Hausman.....	39
3.5.3 Uji Lagrange Multiplier (LM).....	40
3.6 Pengujian Asumsi Klasik	40
3.6.1 Uji Normalitas.....	40
3.6.2 Uji Autokorelasi.....	41
3.6.2 Uji Heteroskedastisitas.....	41

3.6.4 Uji Multikolinearitas	42
3.7 Uji Hipotesis	42
3.7.1 Uji Parsial (Uji t)	42
3.7.2 Uji F Statistik	44
3.7.3 Uji Koefisiensi Determinasi (R^2)	44
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Statistik Deskriptif	45
4.2 Uji Spesifikasi Model	47
4.2.1 Uji Chow	47
4.2.2 Uji Hausman	48
4.3 Hasil Uji Asumsi Klasik	48
4.3.1 Uji Normalitas	48
4.3.2 Uji Heteroskedastisitas.....	49
4.3.3 Deteksi Multikolineritas.....	50
4.3.4 Uji Autokorelasi.....	51
4.4 Hasil Pengujian	52
4.4.1 Hasil Uji t-statistik	52
4.4.2 Hasil Uji F Statistik.....	55
4.5 Individual Efek.....	55
4.6 Pembahasan.....	57
4.6.1 Pengaruh Keterbukaan Perdagangan Terhadap Emisi Karbon Pada Kelompok Dengan Emisi Tinggi	57
4.6.2 Pengaruh Populasi Penduduk Kota Terhadap Emisi Karbon Pada Kelompok Dengan Emisi Tinggi	59
4.6.3 Pengaruh Sektor Manufaktur Kota Terhadap Emisi Karbon Pada Kelompok Dengan Emisi Tinggi	61
4.6.4 Pengaruh Populasi Penduduk Kota Terhadap Emisi Karbon Pada Kelompok Dengan Emisi Sedang	63
4.6.5 Pengaruh Sektor Manufaktur Terhadap Emisi Karbon Pada Kelompok Sedang.....	65

V. SARAN DAN SIMPULAN.....	68
5.1 Simpulan	68
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tinjauan Empiris.....	25
Tabel 3. 1 Variabel, Simbol, Satuan, dan Sumber Data.....	32
Tabel 3. 2 Klasifikasi Emisi Karbon Dioksida.....	33
Tabel 4. 1 Analisis Statistik Deskriptif	45
Tabel 4. 2 Uji Chow	47
Tabel 4. 3 Uji Hausman	48
Tabel 4. 4 Uji Normalitas.....	48
Tabel 4. 5 Uji Heteroskedastisitas Emisi Karbon Tinggi.....	49
Tabel 4. 6 Uji Heteroskedastisitas Emisi Karbon Sedang.....	49
Tabel 4. 7 Deteksi Multikolineritas.....	50
Tabel 4. 8 Uji Autokorelasi Emisi Tinggi.....	51
Tabel 4. 9 Uji Autokorelasi Emisi Tinggi.....	51
Tabel 4. 10 Uji Autokorelasi Emisi Sedang.....	52
Tabel 4. 11 Uji t-statistik.....	52
Tabel 4. 12 Hasil Model Fixed Effect Model (FEM) Regresi Klasifikasi Emisi Karbon Sedang	54
Tabel 4. 13 Hasil Uji Individual Effect Individual Effect Kelompok Negara Emisi Karbon Tinggi	55
Tabel 4. 14 Individual Effect Kelompok Negara Emisi Karbon Sedang.....	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 CO ₂ dan GDP Negara Anggota G20	3
Gambar 2. 1 Kurva Keeling	14
Gambar 2. 2 Environmental Kuznets Curve (EKC).....	16
Gambar 2. 3 Kerangka Pemikiran.....	30

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pemanasan global adalah satu dari sejumlah isu lingkungan yang diperhatikan secara serius tidak hanya oleh satu atau dua negara, tetapi juga menjadi fokus dari kajian regulasi di banyak negara. Peningkatan aktivitas perekonomian dalam suatu negara menjadi faktor yang berpengaruh secara signifikan dan memiliki kontribusi terhadap angka emisi gas rumah kaca (Ojaghlou et al., 2023). Jika dihitung dari keseluruhannya, emisi gas rumah kaca disumbangkan secara terbanyak oleh karbon dioksida, yaitu sebesar 74%, dan jumlah tersebut diprediksi akan selalu meningkat tiap tahunnya apabila tidak diberlakukan regulasi yang efisien untuk menanggulangnya (Crippa et al., 2019). Banyak negara yang merespons dan menyusun kesepakatan dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca melalui Konferensi Paris.

Konferensi Paris yang dilakukan pada tahun 2015 silam, yang di mana sekitar 196 negara bersepakat dalam upaya pengurangan hasil emisi gas rumah kaca guna menekan suhu bumi supaya tidak sampai melebihi ambang batas 2°C. Meningkatnya suhu bumi dapat berdampak pada terjadinya perubahan iklim sehingga akan memberi dampak fatal terhadap aktivitas perekonomian di masa depan. Contohnya adalah bagaimana berkepanjangannya musim kemarau atau tidak menentunya musim hujan yang terjadi sehingga memberikan dampak pada produk hasil panen serta dapat mengancam ketahanan pangan sehingga terjadi krisis pangan. Menurut *Climate Transparency Report 2020* yang dipublikasikan Germanwatch menyebutkan bahwa negara-negara anggota G20 memiliki tanggung jawab atas 75% dari keseluruhan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan. Negara-negara G20

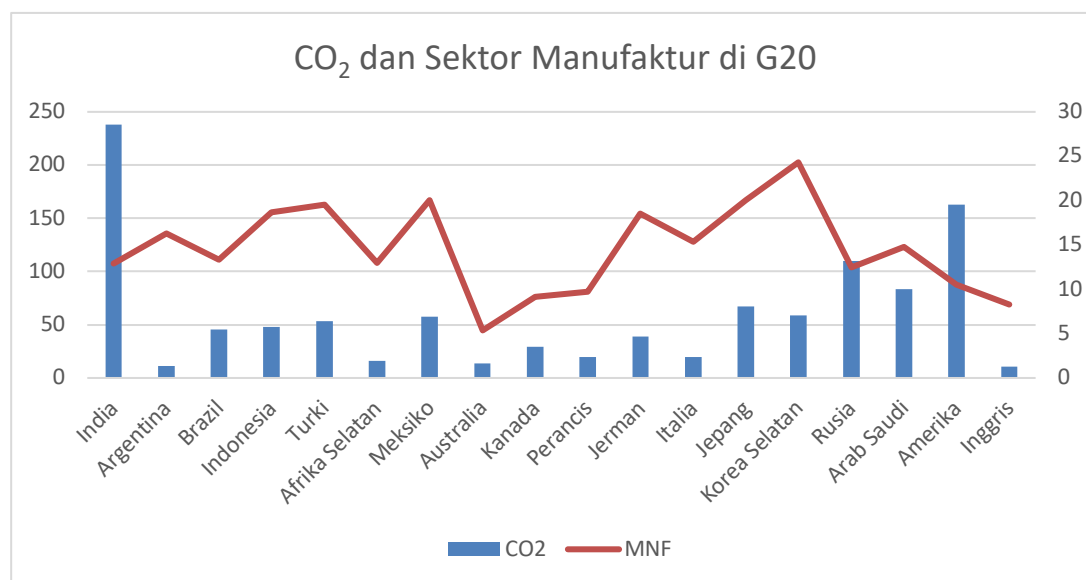
memiliki peran yang sangat krusial dan dibutuhkan dalam upaya mengurangi emisi gas karbon dioksida yang dihasilkan guna mencegah terjadinya pemanasan global atau perubahan iklim (World Bank, 2021).

Sebagai kelompok negara terbesar di dunia yang memberikan kontribusi ekonomi, G20 juga berkontribusi secara signifikan terhadap emisi karbon global. Sebagian besar disumbang oleh kegiatan industri yang diproyeksikan dalam penelitian ini dengan Sektor Manufaktur. Menurut *International Labour Organization* (ILO), Sektor Manufaktur adalah proses industri yang dimana pengolahan bahan baku mentah menjadi produk barang yang siap pakai untuk dijual. Pada era perkembangan teknologi, negara-negara beralih pada sektor industrialisasi sehingga tidak dapat terhindarkan adanya eksternalisasi positif dalam pertumbuhan ekonomi dan eksternalisasi negatif bagi lingkungan. Sektor Manufaktur adalah salah satu faktor utama yang mempengaruhi tingkat emisi karbon negara (Subramanian & Abdulrahman, 2017).

Terjadinya kerusakan serta penurunan kualitas lingkungan hidup yang ditimbulkan seiring dengan peningkatan kegiatan ekonomi atau pendapatan negara (Ojaghlou et al., 2023). Menurut teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC), pada tahap awal pembangunan ekonomi, termasuk industrialisasi dan Sektor Manufaktur, emisi karbon akan meningkat. Setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu, emisi mulai menurun karena pergeseran ke teknologi bersih dan sektor jasa. Dalam hal tersebut, dalam upaya negara meningkatkan ekspansi ekonomi suatu negara pada awal pembangunan ekonomi, salah satu yang didorong adalah Sektor Manufaktur sehingga terjadinya eksploitasi sumber daya yang akan mengakibatkan degradasi lingkungan dan peningkatan polusi. Namun setelah pendapatan negara semakin meningkat, *trend*-nya justru akan menjadi berbalik (Grossman & Krueger, 1991).

Banyak studi yang menyatakan Sektor Manufaktur meningkatkan emisi gas karbon dioksida atau berpengaruh positif terhadap CO₂ (Dong et al., 2020; Gokmenoglu et al., 2015; Lin et al., 2014). Misalnya, output industri menyumbang lebih dari 80%

emisi gas karbon dioksida di beberapa negara (Arslan et al., 2023). Berdasarkan pada Gambar 1.1 bahwasanya CO₂ dan Sektor Manufaktur di tahun 2023, memiliki kesesuaian dengan kegiatan Sektor Manufaktur yang dilakukan oleh negara G20 dengan hasil emisi karbon yang dihasilkan.



Gambar 1. 1 CO2 dan Sektor Manufaktur Negara Anggota G20

Sumber : World Bank

Berdasarkan Gambar 1.1 yang menunjukkan hubungan CO₂ dan sektor manufaktur negara anggota G20, terdapat perbedaan menarik pada India dan Argentina. Di India, meskipun kontribusi Sektor Manufaktur relatif tidak selalu dominan, emisi karbon tetap tinggi. Hal ini terutama disebabkan oleh tingginya urbanisasi dan jumlah penduduk perkotaan yang mencapai lebih dari 522 juta jiwa (World Bank, 2023). Besarnya populasi perkotaan meningkatkan konsumsi energi pada sektor transportasi, rumah tangga, dan industri, ditambah ketergantungan India pada batu bara sebagai sumber energi utama (IEA, 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa faktor urbanisasi lebih dominan dalam mendorong emisi dibanding Sektor Manufaktur, sejalan dengan temuan Sadorsky (2014) dan Martínez-Zarzoso & Maruotti (2011) yang menegaskan bahwa urbanisasi meningkatkan konsumsi energi dan emisi karbon. Namun di negara Argentina meskipun Sektor Manufaktur relatif

lebih aktif, emisi karbon tetap lebih rendah. Hal ini didukung oleh kebijakan lingkungan yang lebih ketat serta transisi energi yang terus dikembangkan, seperti Law No. 27.191 yang mendorong energi terbarukan hingga 20% dan pengembangan proyek green hydrogen di Patagonia. Selain itu, Argentina juga meningkatkan efisiensi energi dalam sektor industri melalui modernisasi teknologi. Menurut World Bank (2022), kebijakan ini berhasil menekan intensitas karbon sektor industri. Kondisi ini sesuai dengan teori efek teknik Antweiler et al. (2001) yang menyatakan bahwa inovasi teknologi dan regulasi lingkungan dapat menurunkan emisi meskipun aktivitas industri meningkat.

Menurut Avenyo & Tregenna (2022) bahwa industrialisasi Sektor Manufaktur memang mendorong pertumbuhan ekonomi, namun juga menjadi kontributor utama emisi CO₂, terutama pada negara berkembang yang masih bergantung pada Sektor Manufaktur berteknologi rendah. Penelitian lain juga menemukan bahwa peningkatan aktivitas Sektor Manufaktur berkorelasi dengan naiknya emisi karbon, khususnya akibat konsumsi bahan bakar fosil dalam proses produksi, meskipun intensitas emisinya dapat ditekan melalui efisiensi energi dan inovasi teknologi (Constantia, 2022). Sehingga hal ini menjadi dasar bahwasanya aktivitas dari Sektor Manufaktur mempengaruhi tingkat emisi karbon.

Emisi gas karbon dioksida juga dapat disebabkan oleh pertumbuhan populasi penduduk di perkotaan ditandai dengan aktivitas meningkatnya mobilitas dan ketergantungan pada transportasi. Pertumbuhan populasi menyebabkan lebih banyak kendaraan di jalan, yang pada gilirannya meningkatkan emisi gas karbon dioksida terkait lalu lintas (C. Liu et al., 2020). Hal ini menyebabkan peningkatan konsumsi energi dan bahan bakar fosil yang menjadi sumber utama emisi gas karbon dioksida. Selain itu, urbanisasi yang pesat sering kali disertai dengan deforestasi dan pengurangan ruang hijau akibat penambahan populasi yang terus menerus untuk membangun perumahan dan fasilitas lainnya, yang berakibat pada berkurangnya kapasitas alam untuk menyerap karbon dioksida (Pandit, 2024). Pertumbuhan populasi di kota-kota besar tidak hanya menimbulkan tantangan dalam penyediaan

infrastruktur, tetapi juga memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap lingkungan, khususnya dalam hal peningkatan emisi gas karbon dioksida.

Urbanisasi cepat yang terjadi di negara-negara anggota G20 telah menghasilkan konsentrasi populasi yang signifikan di kota-kota besar, menciptakan tantangan dan peluang besar. Sebagai contoh, kota-kota seperti Tokyo, Mumbai, São Paulo, dan Istanbul telah tumbuh menjadi pusat ekonomi global dengan populasi jutaan orang (United Nation, 2018). Fenomena ini disebabkan oleh migrasi internal yang didorong oleh pencarian pekerjaan, pendidikan, dan fasilitas kesehatan yang lebih baik. Namun, pertumbuhan cepat ini juga membawa berbagai tantangan, seperti kemacetan lalu lintas, polusi udara, dan kesenjangan sosial-ekonomi yang semakin meningkat (Satterthwaite, 2007). Kota-kota ini harus beradaptasi dengan perkembangan teknologi dan infrastruktur untuk menjaga keberlanjutan dan kualitas hidup penduduknya.

Menurut laporan oleh *International Energy Agency (IEA)*, kota-kota menyumbang lebih dari 70% emisi gas karbon dioksida global, dan negara-negara G20, dengan kota-kota besar dan padat penduduknya, menjadi kontributor utama (IEA, 2021). Pertumbuhan populasi perkotaan juga sering kali disertai dengan peningkatan konsumsi dan limbah, yang pada gilirannya meningkatkan emisi dari sektor-sektor lain seperti pengelolaan limbah dan produksi barang konsumsi. Maka, upaya pengurangan emisi gas karbon dioksida di negara-negara G20 harus mencakup strategi yang efektif untuk mengelola pertumbuhan populasi perkotaan dan mempromosikan praktik berkelanjutan di sektor energi, transportasi, dan pembangunan infrastruktur.

Menurut Paul Ehrlich (1971), salah satu tokoh penting dalam teori neo-Malthus, mengemukakan teori kependudukan terkait lingkungan dalam bukunya "Principle Bomb" yang diterbitkan pada tahun 1971. Berdasarkan teori tersebut, bahwa Paul mengemukakan yang terlalu banyak populasi di muka bumi maka akan menyebabkan ketersediaan pangan yang sangat terbatas dan lingkungan yang

semakin rusak akibat bertambahnya populasi manusia.

Kemudian dalam bukti empiris, Darsono (2013) menyatakan bahwa tumbuhnya populasi penduduk secara masif akan berpengaruh terhadap kebutuhan bahan bakar, kebutuhan sandang dan pangan, serta jumlah limbah residu sehingga berdampak dalam kurun waktu singkat terhadap permasalahan lingkungan hidup. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa populasi penduduk kota berpengaruh positif terhadap emisi gas karbon dioksida (Caocao et al., 2014; Chen et al., 2022; Fragkias et al., 2013; Ohlan, 2015; Yi et al., 2022). Sedangkan terdapat beberapa studi Hong et al., (2022) dan X. Liu et al., (2020) yang menunjukkan populasi penduduk kota tidak diikuti dengan peningkatan emisi gas karbon dioksida kota yang lebih besar bisa lebih efisien dalam penggunaan energi seperti lebih banyak transportasi umum dan banyaknya usia yang lebih tua dalam kota tersebut sehingga konsumsi energi yang tidak terlalu banyak.

Di era modern ini, pastinya tidak terlepas dari perdagangan internasional yang dilakukan oleh negara-negara untuk memenuhi kebutuhan pasar dalam negeri. Dengan adanya perdagangan internasional mendorong adanya keterbukaan perdagangan baik dalam ekspor dan impor. Keterbukaan perdagangan di suatu negara sering kali dihubungkan dengan peningkatan emisi gas karbon dioksida melalui peningkatan produksi dan transportasi yang lebih intensif. Menurut Copeland & Taylor (2004) peningkatan aktivitas perdagangan internasional dapat menyebabkan pertumbuhan ekonomi dan industrialisasi yang cepat di negara-negara berkembang. Ketika permintaan global terhadap produk meningkat, pabrik dan industri domestik cenderung meningkatkan kapasitas produksinya untuk memenuhi permintaan tersebut. Proses produksi ini biasanya memerlukan lebih banyak energi, yang sering kali berasal dari bahan bakar fosil, sehingga meningkatkan emisi gas karbon dioksida. Selain itu, transportasi internasional yang digunakan untuk mengangkut barang-barang ini, baik melalui laut, udara, maupun darat, juga menyumbang emisi gas karbon dioksida yang signifikan (Cristea et al., 2013).

Teori yang mengkaitkan antara keterbukaan perdagangan dengan emisi gas karbon dioksida dikemukakan oleh Gene M. Grossman dan Alan B. Krueger yaitu Teori Teknik Efek (*Technique Effect*) yang di dalam tulisannya "*Environmental Impacts of A North American Free Trade Agreement*" (1991) menyatakan bahwa penurunan hambatan perdagangan akibat adanya perjanjian internasional (dalam hal ini adalah NAFTA) akan berdampak negatif ke lingkungan berupa polutan yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena bertambahnya skala aktivitas ekonomi baik komposisi ekonominya maupun teknik produksinya.

Keterbukaan perdagangan juga dapat memicu pergeseran produksi ke negara-negara dengan regulasi lingkungan yang lebih lemah, fenomena yang dikenal sebagai "*carbon leakage*." Berdasarkan penelitian Brunel (2017), menunjukkan bahwa perusahaan multinasional sering kali memindahkan produksi mereka ke negara-negara dengan standar lingkungan yang lebih rendah untuk mengurangi biaya operasional. Hal ini mengakibatkan emisi gas karbon dioksida yang sebenarnya dikurangi di negara-negara dengan regulasi ketat justru dipindahkan ke negara-negara dengan regulasi yang lebih longgar. Akibatnya, meskipun keterbukaan perdagangan dapat mendukung pertumbuhan ekonomi, hal ini juga membawa tantangan serius terhadap upaya global untuk mengurangi emisi gas karbon dioksida dan mengatasi perubahan iklim.

Negara-negara anggota G20 secara keseluruhan memainkan peran kunci dalam perdagangan global, mencerminkan keterbukaan perdagangan mereka yang tinggi. Keterbukaan perdagangan ini ditandai dengan tingginya volume ekspor dan impor barang serta jasa, yang berkontribusi pada lebih dari 75% perdagangan dunia (Kemenkeu, 2022). Dengan adanya keterbukaan perdagangan banyak negara anggota G20 memiliki sektor transportasi yang sangat aktif, yang termasuk transportasi laut dan udara untuk mengirimkan barang-barang antar negara. Transportasi ini adalah salah satu kontributor utama emisi gas karbon dioksida karena penggunaan bahan bakar fosil.

Perdagangan internasional menyumbang sekitar 22% dari emisi gas karbon dioksida global, dengan negara-negara G20 menjadi pemain utama dalam aktivitas perdagangan tersebut (Peters et al., 2011). Fenomena ini juga diperburuk oleh adanya "*carbon leakage*," di mana produksi dipindahkan ke negara-negara dengan regulasi lingkungan yang lebih longgar di dalam G20 untuk mengurangi biaya, yang justru meningkatkan emisi gas karbon dioksida secara keseluruhan (Brunel, 2017). Hal ini menunjukkan perlu adanya kebijakan perdagangan yang lebih ramah lingkungan dan harmonisasi standar lingkungan antar negara G20 untuk mengurangi dampak negatif keterbukaan perdagangan terhadap emisi gas karbon dioksida.

Data keterbukaan perdagangan juga dikumpulkan dari *World Bank*. Berdasarkan banyak penelitian empiris sebelumnya, emisi gas karbon dioksida, khususnya karbon yang terkandung, dapat mencerminkan dampak perdagangan internasional terhadap kualitas lingkungan (Arto & Dietzenbacher, 2014; Jakob & Marschinski, 2013). Setelah berdirinya Organisasi Perdagangan Dunia pada tahun 1995, karbon yang terkandung dalam perdagangan internasional tumbuh dengan kecepatan 3% setiap tahunnya (Tian et al., 2015). Banyak penelitian terbaru menunjukkan bahwa perdagangan internasional memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap lingkungan dan melepaskan lebih banyak gas rumah kaca dan polutan dibandingkan sebelumnya (Hao & Liu, 2015; Managi et al., 2009). BRIIAT (Brasil, Rusia, India, Indonesia, dan Turki) mendominasi intensitas karbon yang terkandung dalam ekspor, dan pada saat yang sama NAFTA (AS, Kanada, dan Meksiko) merupakan kelompok terbesar dengan intensitas karbon yang terkandung dalam impor (Tian et al., 2015). Banyak studi yang menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan berpengaruh positif terhadap emisi gas karbon dioksida (Chen et al., 2021; Duodu & Mpuure, 2023; Ertugrul et al., 2016; Goswami et al., 2023; Oh & Bhuyan, 2018; Tan et al., 2023; Yu & Du, 2023). Sedangkan ada beberapa studi yang menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan berpengaruh negatif terhadap emisi gas karbon dioksida (Sun et al., 2019; Wang & Zhang, 2021; Zhang et al., 2017).

Berdasarkan penelitian Goswami et al., (2023) yang sebagai refrensi utama pada

penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa dalam jangka pendek, emisi CO₂ pada lag sebelumnya, pertumbuhan ekonomi, dan keterbukaan perdagangan berkorelasi negatif dengan emisi CO₂, sedangkan konsumsi energi dan urbanisasi menunjukkan korelasi positif. Dalam jangka panjang, konsumsi energi, urbanisasi, dan keterbukaan perdagangan berkorelasi positif dengan emisi CO₂, sedangkan pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ pada lag sebelumnya menunjukkan korelasi negatif.

Penelitian Goswami et al., (2023) menggunakan data time series yaitu hanya data negara India dan menggunakan metode ARDL. Sedangkan pada penelitian ini memiliki perbedaan objek penelitian yang lebih luas yaitu negara anggota G20 dengan alasan negara anggota G20 memiliki fenomena dimana menurut sebuah laporan oleh *International Energy Agency (IEA)*, kota-kota di negara anggota G20 menyumbang lebih dari 70% emisi gas karbon dioksida global. Sehingga hal ini lebih mencerminkan emisi gas karbon dioksida yang terjadi, yang polusinya akan berdampak di sebagian luas muka bumi.

Berdasarkan penelitian Goswami et al., (2023) juga menggunakan metode ARDL yang cocok untuk analisis kointegrasi dalam data *time series*, sementara penelitian ini menggunakan regresi data panel dikarenakan melibatkan banyak *cross section* yang akan diteliti. Kemudian G20 merupakan representasi lebih dari 60% populasi bumi, 75% perdagangan global, dan 80% PDB dunia (Kemenkeu, 2022). Sehingga penelitian ini menggunakan variabel yaitu keterbukaan perdagangan, populasi penduduk kota dan Sektor Manufaktur sebagai variabel bebas yang dikaitkan dengan emisi gas karbon dioksida sebagai variabel terikat. Berdasarkan variabel keterbukaan perdagangan mempercepat aliran barang dan jasa antar negara, yang berarti peningkatan aktivitas transportasi internasional dan produksi industri global, sehingga menambah jumlah emisi gas karbon dioksida. Sementara itu, populasi penduduk kota yang semakin padat meningkatkan permintaan akan transportasi, listrik, dan infrastruktur, yang juga berkontribusi pada emisi gas karbon dioksida. Dan variabel Sektor Manufaktur menunjukkan adanya dampak yang langsung

terhadap emisi gas karbon dioksida akibat dari aktivitas ekonomi berupa pertumbuhan ekonomi seringkali disertai dengan peningkatan produksi industri dan konsumsi energi, yang cenderung meningkatkan emisi gas karbon dioksida dari pembakaran bahan bakar fosil. Kombinasi dari ketiga faktor ini mempercepat akumulasi gas rumah kaca di atmosfer, memperparah pemanasan global dan perubahan iklim.

Sehingga berdasarkan teori dan perbedaan penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan terjadinya hubungan satu arah antara populasi penduduk kota, keterbukaan perdagangan dan Sektor Manufaktur terhadap emisi gas karbon dioksida serta memiliki dampak langsung juga terhadap emisi gas karbon dioksida. Dan dengan bukti bahwa G20 merupakan representasi lebih dari 60% populasi bumi, 75% perdagangan global, dan 80% PDB dunia menjadi objek yang menarik untuk diteliti. Namun dikarenakan perbedaan karakteristik di setiap negara G20, maka peneliti mengklasifikasikan dengan *proxy* dalam tiga kategori yaitu kelompok negara yang memiliki emisi karbon dioksida yang tinggi, kelompok negara yang memiliki emisi karbon dioksida yang sedang, dan kelompok negara yang memiliki emisi karbon dioksida yang rendah.

1.2. Rumusan Masalah

Didasarkan atas latar belakang yang sudah diuraikan sebelumnya, penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh keterbukaan perdagangan terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 pada kelompok negara emisi tinggi, dan sedang ?
2. Bagaimana pengaruh populasi penduduk kota terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 pada kelompok negara emisi tinggi dan sedang ?
3. Bagaimana pengaruh Sektor Manufaktur terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 pada kelompok negara emisi tinggi dan sedang ?

4. Bagaimana pengaruh keterbukaan perdagangan, populasi penduduk kota dan Sektor Manufaktur secara bersama-sama terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 pada kelompok negara emisi tinggi dan sedang?

1.3. Tujuan Penelitian

Jika didasarkan dari rumusan masalah yang telah diuraikan, maka penelitian ini memiliki tujuan berupa sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana keterbukaan perdagangan terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 pada kelompok negara emisi tinggi dan sedang.
2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh populasi penduduk kota terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 pada kelompok negara emisi tinggi dan sedang.
3. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh Sektor Manufaktur terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 pada kelompok negara emisi tinggi dan sedang.
4. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh keterbukaan perdagangan, populasi penduduk kota dan Sektor Manufaktur secara bersama-sama terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 pada kelompok negara emisi tinggi dan sedang.

1.4. Manfaat Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah serta tujuan penelitian yang telah diuraikan sebelumnya, maka penelitian ini memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Penelitian ini memiliki fungsi sebagai sarana penambahan informasi serta berkontribusi terhadap pengembangan penelitian mengenai pengaruh keterbukaan perdagangan, pouplasi penduduk kota dan Sektor Manufaktur terhadap emisi gas karbon dioksida pada negara G20.
2. Penelitian ini memiliki manfaat sebagai objek referensi penelitian mendatang

dalam rangka untuk mengembangkan ilmu pengetahuan, terutama dalam bidang studi ekonomi lingkungan.

3. Penelitian ini memiliki manfaat sebagai referensi atau masukan yang dapat diimplementasikan oleh pembuat kebijakan atau pemerintah sebagai upaya dalam menjaga kondisi lingkungan hidup yang berkualitas supaya dapat memanifestasikan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development*), serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂)

2.1.1 Konsep Emisi Gas Dioksida (CO₂)

Emisi gas karbon dioksida (CO₂) merupakan pelepasan gas karbon dioksida ke atmosfer sebagai hasil dari berbagai aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam, serta deforestasi. Emisi ini berperan signifikan dalam peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer, yang pada gilirannya mempengaruhi perubahan iklim global. Menurut Jones et al., (2023), peningkatan emisi CO₂ sejak era pra-industri telah menyebabkan peningkatan suhu rata-rata global, yang berdampak pada pola cuaca ekstrem, kenaikan permukaan laut, dan berbagai perubahan ekosistem yang merugikan.

Pentingnya pengurangan emisi CO₂ telah menjadi fokus utama dalam berbagai inisiatif internasional, termasuk Konferensi Paris, yang bertujuan untuk membatasi pemanasan global hingga di bawah 2 derajat Celsius dibandingkan dengan level pra-industri. Menurut Salimi et al., (2023) menekankan bahwa transisi menuju energi terbarukan, peningkatan efisiensi energi, dan pelaksanaan kebijakan pengurangan emisi yang ketat adalah langkah-langkah kritis dalam mengurangi dampak negatif dari emisi gas karbon dioksida terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.

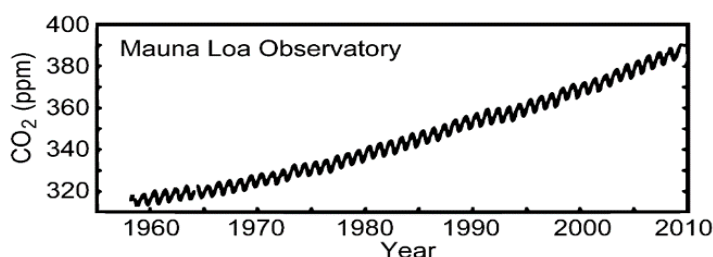
2.1.2 Teori Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂)

2.1.2.1 Kurva Keeling

Kurva Keeling adalah grafik yang menunjukkan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer selama periode waktu yang panjang. Kurva ini dicetuskan oleh Charles

David Keeling, seorang ilmuwan yang pertama kali mengukur dan mendokumentasikan peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer sejak akhir tahun 1950-an. Kemudian Charles David Keeling memulai pengukuran konsentrasi CO₂ di Observatorium Mauna Loa. Pilihan lokasi ini karena ketinggiannya yang lebih dari 3.400 meter di atas permukaan laut, yang memungkinkan pengukuran atmosfer yang lebih representatif dan kurang terpengaruh oleh aktivitas lokal. Keeling menggunakan alat yang disebut manometer inframerah untuk mengukur konsentrasi CO₂ (Harris, 2010).

Keeling dan timnya mencatat peningkatan konsentrasi CO₂ yang terus menerus setiap tahunnya. Data ini menunjukkan adanya siklus musiman yang terkait dengan pertumbuhan tanaman, di mana konsentrasi CO₂ menurun selama musim semi dan musim panas di belahan bumi utara karena fotosintesis, dan meningkat selama musim gugur dan musim dingin karena dekomposisi tanaman. Namun, tren jangka panjang menunjukkan peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun. Sehingga Kurva Keeling memberikan bukti kuat pertama mengenai peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer akibat aktivitas manusia, khususnya pembakaran bahan bakar fosil dan deforestasi. Data ini menjadi dasar bagi banyak studi tentang perubahan iklim dan mempengaruhi kebijakan lingkungan di seluruh dunia. Kurva Keeling juga menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi CO₂ berhubungan langsung dengan kenaikan suhu global, yang mendukung teori efek rumah kaca (Harris, 2010).



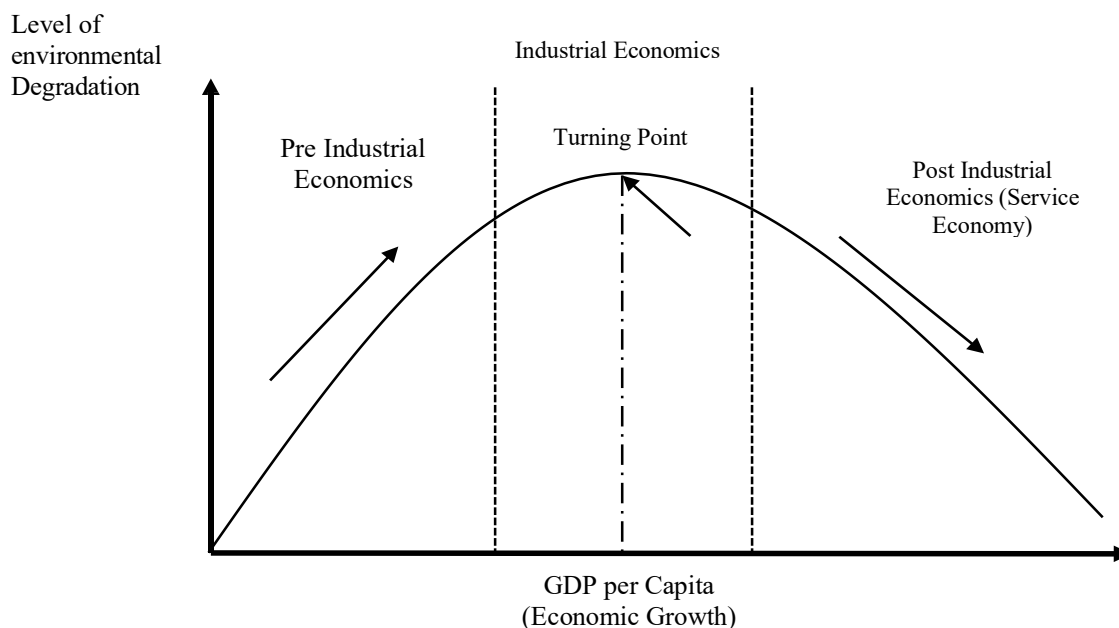
Gambar 2. 1Kurva Keeling

Sumber : Harris, 2010

2.1.2.2 Environmental Kuznets Curve (EKC)

Environmental Kuznets Curve (EKC) adalah sebuah teori dengan pengkajian mengenai hubungan antara perekonomian dengan lingkungan. Konsep *Environmental Kuznets Curve* (EKC) menyatakan bahwasanya degradasi lingkungan hidup terjadi sejalan dengan terjadinya pendapatan yang meningkat. Walaupun demikian, ada pula suatu titik balik ketika pengaruh dari pendapatan nantinya akan memberi perubahan arah yang berpengaruh pada lingkungan. Teori Kuznets juga mengemukakan bahwa disparitas pendapatan akan semakin meningkat bersamaan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi. Kemudian, ketika *Turning Point* tercapai, kesenjangan pendapatan yang terjadi justru akan menurun bersamaan dengan terwujudnya pembangunan ekonomi yang sudah efisien. Grossman dan Krueger menjadi dua orang yang pertama kali menyejajarkan teori lingkungan dengan kurva Kuznets. Walaupun demikian, teori EKC sendiri pertama kali dicetuskan oleh Panayotou (1993) dalam risetnya yang berjudul *Economic Growth and The Environment*.

Dalam Gambar 2.3 terlihat bahwa dalam tahapan awal dari pembangunan (*pre-industrial*) perekonomian yang berbasis sumber daya alam sebagai sektor primer masih bersifat dominan di masyarakat. Hal tersebut diperlihatkan dengan adanya sektor pertanian yang dominan selaku kontributor dalam pertumbuhan ekonomi. Dalam fase tersebut, kerusakan lingkungan yang terjadi adalah dampak atas dilakukannya kegiatan ekonomi yang masih bergantung pada sumber daya sehingga permasalahan lingkungan yang dihadapi pada tahap ini adalah semakin berkurangnya ketersediaan sumber daya alam.



Gambar 2. 2 Environmental Kuznets Curve (EKC)

Sumber: Panayotou, 1993

Lalu, pada fase selanjutnya atau *Industrial Economics*, pertumbuhan ekonomi yang masif pun tidak terlepas dari kerusakan lingkungan yang cenderung terjadi dalam waktu singkat. Hal tersebut terjadi karena adanya peralihan mata pencaharian atau sumber pendapatan dari sektor pertanian menuju sektor perindustrian atau sekunder yang lebih menimbulkan pencemaran sehingga menghasilkan limbah. Dalam fase ini, sektor industri merupakan sumber penghasil terbesar yang paling berpengaruh terhadap meningkatnya pendapatan nasional. Berkurangnya jumlah sumber daya alam yang disertai dengan meningkatnya angka pencemaran berdampak pada bagaimana kerusakan lingkungan yang terjadi semakin cepat dalam kurun waktu yang relatif singkat.

Terakhir, dalam tahapan pembangunan yang lebih lanjut (*Post-Industrial Economics*), suatu perubahan struktural pun terjadi sehingga sektor perekonomian pun cenderung mengarah pada sektor jasa tersier (Panayotou, 1993). Peralihan struktural dari sektor industri menuju sektor jasa dalam fase ini menimbulkan

bagaimana meningkatnya pendapatan justru disertai dengan turunnya level degradasi lingkungan yang terdampak. Di tahap ini, sektor tersier cenderung mendominasi aktivitas perekonomian dan memiliki suatu nilai tambah dengan eksistensi inovasi. Sektor ini tidak memiliki dampak yang terlihat jelas secara umum terhadap lingkungan mengingat sektor ini cenderung didominasi oleh produk yang tidak berwujud jelas. Tang (2017) menyatakan bahwa pelaku ekonomi dalam sektor jasa ini mampu melakukan inovasi guna mengimplementasikan konsep kontinuitas sebagai upaya untuk mengurangi dampak kerusakan lingkungan hidup dalam aktivitas perekonomiannya.

Kesimpulan yang dapat ditarik dari pemaparan sebelumnya adalah *Environmental Kuznets Curve* atau EKC adalah konsep yang mengkaji mengenai relasi antara perekonomian dengan lingkungan hidup dengan hipotesis berupa degradasi lingkungan yang cenderung dialami oleh negara-negara berkembang yang memiliki pendapatan per kapita rendah. Kerusakan lingkungan tersebut terjadi karena ketika memasuki fase awal pertumbuhan, negara berkembang akan fokus pada peningkatan pertumbuhan ekonomi yang ditandai dengan tingginya proses industrialisasi tanpa memikirkan dampak akibat adanya aktivitas industri tersebut terhadap lingkungan hidup. Teori ini juga menyatakan bahwa apabila suatu negara masih berada pada tingkat pendapatan yang rendah, maka negara cenderung akan berfokus terhadap bagaimana cara untuk meningkatkan pendapatan tanpa memperhatikan masalah lainnya yang dapat merusak lingkungan.

Sebagai akibat, pertumbuhan pendapatan nantinya diikuti oleh kenaikan degradasi yang kemudian kembali menurun dalam keadaan tetap berjalannya pertumbuhan. Teori ini dikaji berdasarkan permintaan terhadap peningkatan pengawasan dan regulasi pemerintah mengenai penjagaan kelestarian lingkungan sehingga kesejahteraan masyarakat akan meningkat (Mason, 2022). Di samping itu, riset yang dikerjakan oleh Grossman dan Krueger (1991) mengenai analisis hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan degradasi lingkungan dengan mengestimasi variabel SO₂, SPM, serta materi gelap selaku dampak atas terjadinya perjanjian North

America Free Trade Agreement (NAFTA) serta penggunaan analisis regresi PDB per kapita, juga penggunaan variabel kontrol berupa keterbukaan perdagangan serta tingkat populasi masyarakat menyimpulkan suatu hasil berupa SPM akan selalu menurun walaupun tingkatan pendapatan negara dan masyarakatnya masih termasuk rendah.

2.2 Keterbukaan Perdagangan

2.2.1 Pengertian Keterbukaan Perdagangan

Keterbukaan Perdagangan yang dinyatakan pada data *trade* (% dari PDB) adalah ratio jumlah ekspor dan impor barang dan jasa dengan negara lain yang diukur sebagai bagian dari Produk Domestik Bruto (PDB). Menurut OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) ratio perdagangan terhadap PDB atau yang disebut dengan keterbukaan perdagangan digunakan untuk mengukur hubungan transaksi internasional terhadap rata-rata dari total perdagangan (jumlah ekspor dan impor barang dan jasa) yang berkaitan dengan PDB. Pada dasarnya setiap negara bergantung pada negara lain dalam memenuhi segala kebutuhan domestiknya karena tidak semua produk dan jasa yang dibutuhkan bisa diproduksi oleh setiap negara, maka terjadilah perdagangan internasional (Case & Fair, 2014). Nopirin (1999) mengungkapkan bahwa pada prinsipnya ada dua faktor utama yang menyebabkan terjadinya perdagangan internasional yaitu faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan dan penawaran.

2.2.2 Teori Keterbukaan Perdagangan

Teori Heckscher-Ohlin (H-O) merupakan salah satu teori utama dalam ekonomi internasional yang memperluas konsep keunggulan komparatif dengan memasukkan faktor endowment atau ketersediaan faktor produksi. Dalam model teori Heckscher-Ohlin menjelaskan bahwa suatu negara akan mengekspor komoditas yang mana untuk memproduksinya lebih banyak menyerap faktor produksi yang relatif lebih murah dan berlimpah di negara tersebut, serta mengimpor komoditas yang untuk memproduksinya membutuhkan sumber daya yang relatif mahal dan langka di

negara tersebut. Krugman (2000) menjelaskan bahwa negara yang terintegrasi secara global dalam sistem perekonomian terbuka akan melakukan keterbukaan perdagangan internasional berusaha untuk meningkatkan daya saing dengan tujuan untuk mendapatkan keuntungan perdagangan dan peningkatan pertumbuhan ekonomi. Keterbukaan ekonomi melalui perdagangan internasional dapat dilihat dari dua komponen yaitu ekspor dan impor.

2.2.3 Pengukuran Keterbukaan Perdagangan

Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder yang dipublikasikan oleh World Bank yaitu data keterbukaan perdagangan atau *Trade Oppenes*. Adapun rumus dari keterbukaan perdagangan sebagai berikut :

$$Trade\ Oppen = \frac{X\ (constan\ 2015\ US\$) + M\ (constan\ 2015\ US\$)}{GDP\ (constan\ 2015\ US\$)} \times 100\%$$

Keterangan pada rumus diatas yaitu X adalah ekspor dan M adalah impor.

2.3 Populasi Penduduk

2.3.1 Pengertian Urbanisasi Penduduk Kota

Definisi urbanisasi erat kaitannya dengan perkembangan dan pembentukan kota atau wilayah urban. Indikator untuk mengukur urbanisasi relatif beragam dengan kemungkinan perbedaan konteks antar negara terutama dalam kriteria wilayah urban (World Bank, 2011). Dalam penelitian ini menggunakan data sekunder yang dipublikasikan oleh Wolrd Bank dengan data Urban atau populasi penduduk kota. Menurut World Bank, populasi perkotaan mengacu pada orang yang tinggal di daerah perkotaan sebagaimana didefinisikan oleh statistik nasional. Indikator ini dihitung menggunakan estimasi populasi Bank Dunia dan rasio perkotaan dari Prospek Urbanisasi Dunia Perserikatan Bangsa-Bangsa. Untuk memperkirakan populasi perkotaan, rasio PBB untuk populasi perkotaan terhadap total populasi diterapkan pada estimasi total populasi Bank Dunia.

Negara-negara memiliki cara yang berbeda dalam mengklasifikasikan populasi sebagai "perkotaan" atau "pedesaan." Populasi kota atau wilayah metropolitan bergantung pada batas-batas yang dipilih. Namun relevansi populasi penduduk kota terhadap pembangunan yaitu pertumbuhan kota yang pesat di seluruh dunia menandakan transisi demografi dari pedesaan ke perkotaan, dan dikaitkan dengan pergeseran dari ekonomi berbasis pertanian ke industri, teknologi, dan layanan massal (World Bank, 2018).

Sebagaimana definisi urban dan ukuran indikator urbanisasi untuk menentukan area urban yang digunakan setiap negara pada praktiknya berbeda-beda (UNSTAT, 2005). Kanada merupakan negara yang mendasarkan kriteria urban berdasarkan *threshold* kepadatan penduduk tertentu, Jepang mendasarkan pada kriteria bangunan rumah dan jenis pekerjaan penduduk sebagian besar di Sektor Manufaktur, sementara negara-negara di Afrika lebih mendasarkan *threshold* total populasi tertentu yang umumnya bervariasi antar satu negara dengan negara lainnya.

2.3.2 Teori Urbanisasi Penduduk Kota

Teori Konsentrasi dan Sentralisasi (Central Place Theory) atau Teori Sentral yang dikembangkan oleh Walter Christaller pada tahun 1933, berfokus pada bagaimana kota dan pemukiman berkembang sebagai pusat kegiatan ekonomi dan layanan. Teori ini didasarkan pada konsep bahwa permukiman yang lebih besar, atau "tempat sentral," akan menyediakan lebih banyak barang dan jasa yang tidak tersedia di pemukiman yang lebih kecil di sekitarnya. Tempat sentral ini berkembang menjadi pusat-pusat ekonomi yang melayani area hinterland atau wilayah sekitarnya. Menurut teori ini, kota-kota besar bertindak sebagai pusat bagi layanan yang lebih kompleks dan jarang dibutuhkan, sementara kota-kota kecil menyediakan layanan dasar yang lebih sering dibutuhkan oleh penduduk sekitar.

Teori Sentral juga menjelaskan pola distribusi pemukiman dan bagaimana skala ekonomi mempengaruhi lokasinya. Christaller mengusulkan bahwa pemukiman tersebar dalam pola heksagonal yang efisien, di mana setiap pusat layanan berada

pada jarak yang optimal untuk memaksimalkan aksesibilitas dan mengurangi biaya transportasi. Dalam konteks modern, teori ini memberikan kerangka kerja untuk memahami dinamika urbanisasi dan pengembangan wilayah, serta bagaimana kota-kota berkembang sebagai pusat aktivitas ekonomi, politik, dan budaya.

2.3.3 Pengukuran Populasi Penduduk

Data yang dipergunakan untuk kepentingan penelitian ini ialah data persentase populasi penduduk kota yang diperoleh dari populasi penduduk kota dibagi dengan total penduduk pada suatu negara. Data tersebut bersumber dari World Bank pada tahun 2004-2023 pada negara anggota G20.

Satuan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah persen (%) dengan rumus sebagai berikut:

$$URB = \frac{\text{Populasi Penduduk Kota}}{\text{Total Penduduk}} \times 100$$

2.4 Sektor Manufaktur

2.4.1 Pengertian Sektor Manufaktur

Menurut World Bank, Sektor Manufaktur adalah kegiatan industri yang mencakup proses transformasi fisik atau kimia dari bahan mentah, komponen, atau material menjadi produk baru yang memiliki nilai tambah lebih tinggi. Dalam klasifikasi ISIC (International Standard Industrial Classification), Sektor Manufaktur termasuk industri yang mengolah bahan baku menjadi barang jadi maupun setengah jadi, seperti industri makanan, tekstil, kimia, logam, mesin, hingga kendaraan. World Bank juga menjelaskan bahwa nilai tambah Sektor Manufaktur merupakan output bersih yang diperoleh setelah total output produksi dikurangi dengan input antara yang digunakan dalam proses produksi. Maka, Sektor Manufaktur tidak hanya berperan sebagai proses produksi barang, tetapi juga sebagai sektor penting yang mendorong pertumbuhan ekonomi, penciptaan lapangan kerja, serta peningkatan produktivitas suatu negara.

2.4.2 Teori Sektor Manufaktur

Berdasarkan Teori EKC, pada fase *Industrial Economics*, pertumbuhan ekonomi merusak lingkungan yang cenderung terjadi dalam waktu singkat. Hal tersebut terjadi karena adanya peralihan mata pencaharian atau sumber pendapatan dari sektor pertanian menuju sektor perindustrian atau sekunder yang lebih menimbulkan pencemaran sehingga menghasilkan limbah. Dalam fase ini, sektor industri merupakan sumber penghasil terbesar yang paling berpengaruh terhadap meningkatnya pendapatan nasional. Berkurangnya jumlah sumber daya alam yang disertai dengan meningkatnya angka pencemaran berdampak pada kerusakan lingkungan yang terjadi semakin cepat dalam kurun waktu yang relatif singkat.

2.5 Teori Hubungan Antar Variabel

2.5.1 Emisi gas karbon dioksida Dioksida dan Populasi Penduduk

Teori yang menunjukkan hubungan antara emisi gas karbon dioksida dan populasi penduduk salah satunya adalah Teori Malthusian yang dicetuskan oleh Thomas Malthus yang berpendapat bahwa populasi akan terus bertambah secara eksponensial, sedangkan sumber daya termasuk lingkungan akan bertambah secara linier. Ketika populasi bertambah, tekanan pada sumber daya akan meningkat, termasuk tekanan pada lingkungan yang menyebabkan peningkatan emisi gas karbon dioksida. Dalam konteks urbanisasi, peningkatan populasi kota dapat mempercepat konsumsi energi dan emisi gas karbon dioksida karena kebutuhan akan transportasi, pemanas, pendingin, dan kegiatan industri.

Kemudian Teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC) juga menyatakan bahwa pada tahap awal pembangunan ekonomi, emisi gas karbon dioksida akan meningkat seiring dengan peningkatan populasi dan kegiatan ekonomi. Namun, setelah mencapai tingkat pendapatan tertentu, masyarakat akan mulai menginvestasikan lebih banyak dalam teknologi bersih dan regulasi lingkungan, yang pada akhirnya akan menurunkan emisi gas karbon dioksida. Kota-kota yang lebih maju cenderung memiliki teknologi dan kebijakan yang lebih baik untuk mengelola emisi gas karbon

dioksida dibandingkan dengan kota-kota yang sedang berkembang.

2.5.2 Emisi Gas Karbon Dioksida Dioksida dan Keterbukaan Perdagangan

Teori yang menghubungkan adalah Teori *Pollution Haven Hypothesis* (PHH) berargumen bahwa perusahaan multinasional cenderung memindahkan produksi mereka ke negara-negara dengan regulasi lingkungan yang lebih lemah untuk mengurangi biaya produksi yang berkaitan dengan pemenuhan standar lingkungan yang ketat di negara asal (Millimet & Roy, 2016). Hipotesis ini pertama kali diperkenalkan dalam konteks perdebatan mengenai dampak globalisasi dan perdagangan internasional terhadap lingkungan. Studi oleh Walter J. Lenzen dan Jeffrey A. Frankel telah menguji dan mendukung aspek-aspek dari hipotesis ini, menunjukkan bahwa beberapa negara berkembang telah menjadi "surga polusi" karena menarik investasi asing dari industri-industri yang intensif polusi (Millimet & Roy, 2016).

2.5.3 Emisi Gas Karbon Dioksida dan Sektor Manufaktur

Environmental Kuznets Curve atau EKC adalah konsep yang mengkaji mengenai relasi antara perekonomian dengan lingkungan hidup dengan hipotesis berupa degradasi lingkungan yang cenderung dialami oleh negara-negara berkembang yang memiliki pendapatan per kapita rendah. Kerusakan lingkungan tersebut terjadi karena ketika memasuki fase awal pertumbuhan, negara berkembang akan fokus pada peningkatan pertumbuhan ekonomi yang ditandai dengan tingginya proses industrialisasi tanpa memikirkan dampak akibat adanya aktivitas industri tersebut terhadap lingkungan hidup. Teori ini juga menyatakan bahwa apabila suatu negara masih berada pada tingkat pendapatan yang rendah, maka negara cenderung akan berfokus terhadap bagaimana cara untuk meningkatkan pendapatan tanpa memperhatikan masalah lainnya yang dapat merusak lingkungan. Sebagai akibat, pertumbuhan pendapatan nantinya diikuti oleh kenaikan degradasi yang kemudian kembali menurun dalam keadaan tetap berjalannya pertumbuhan.

Menurut teori *Environmental Kuznets Curve* (EKC), hubungan antara aktivitas

Sektor Manufaktur dan emisi karbon bersifat dinamis sesuai tingkat pembangunan ekonomi. Pada tahap awal pertumbuhan, ekspansi Sektor Manufaktur yang masih bergantung pada energi fosil menyebabkan peningkatan konsumsi energi dan menghasilkan emisi karbon yang tinggi. Namun, ketika pendapatan dan kapasitas teknologi meningkat, terjadi pergeseran menuju produksi yang lebih efisien dan penggunaan teknologi bersih sehingga intensitas emisi per unit output Sektor Manufaktur mulai menurun. Maka, EKC menjelaskan bahwa hubungan emisi karbon dan Sektor Manufaktur cenderung mengikuti pola U terbalik, di mana peningkatan produksi Sektor Manufaktur pada fase awal memperburuk kualitas lingkungan, tetapi pada tahap pembangunan yang lebih tinggi, inovasi teknologi, regulasi lingkungan, dan perubahan struktur industri dapat menurunkan emisi meskipun produksi Sektor Manufaktur tetap berkembang. Sehingga dalam tahap awal pembangunan ekonomi akan banyak menimbulkan eksternalitas.

Eksternalitas berdasarkan Pindyck dan Rubinfeld (2018) adalah sebuah kegiatan yang dilakukan baik itu oleh produsen maupun oleh konsumen kemudian memengaruhi produsen dan konsumen lainnya dengan mengabaikan biaya pasar (*market cost*) yang muncul. Eksternalitas yang dihasilkan bisa positif dan negatif. Ketika pertumbuhan ekonomi di suatu negara dalam keadaan meningkat maka akan menunjukkan aktivitas ekonomi yang meningkat baik secara aktivitas industri, perdagangan barang dan jasa dll. Sehingga dengan meningkatnya aktivitas perekonomian akan menimbulkan eksternalitas lingkungan secara negatif seperti limbah, polusi, *global warming* atau bisa menjadi eksternalitas positif jika aktivitas perekonomian diikuti dengan regulasi penjagaan lingkungan.

2.6 Tinjauan Empiris

Tabel 2. 1 Tinjauan Empiris

Peneliti	Judul	Alat Analisis	Hasil
Goswami, Arvind Kapoor, Harmanpreet Singh Jangir dkk (2023)	<i>Impact of Economic Growth, Trade Openness, Urbanization and Energy Consumption on Carbon Emissions: A Study of India</i>	Variabel : Emisi Karbon Pertumbuhan Ekonomi, Keterbukaan Perdagangan, Urbanisasi, Konsumsi Energi Metode : ARDL Model	Dalam jangka pendek, pertumbuhan ekonomi, keterbukaan perdagangan, dan emisi CO ₂ pada berkorelasi negatif dengan emisi CO ₂ , sementara konsumsi energi dan urbanisasi berkorelasi positif. Dalam jangka panjang, konsumsi energi, urbanisasi, dan keterbukaan perdagangan berkorelasi positif dengan emisi CO ₂ , sementara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO ₂ berkorelasi negatif.
Michail Fragkias, José Lobo, Deborah Strumsky, Karen C Seto, (2013)	<i>Does size matter? Scaling of CO₂ emissions and US urban areas</i>	Variabel : Populasi, Skala kota, emisi karbon Metode : Analisis Skala	Emisi gas karbon dioksida (CO ₂) dalam kota-kota Amerika Serikat (U.S.) menunjukkan hubungan proporsional dengan ukuran populasi kota. Analisis menunjukkan bahwa emisi CO ₂ tidak lebih efisien dalam kota-kota besar dibandingkan dengan kota-kota kecil. Hasil analisis menunjukkan bahwa

Peneliti	Judul	Alat Analisis	Hasil
			setiap 1% peningkatan populasi kota akan menyebabkan peningkatan emisi CO ₂ sekitar 0,93%
Yanchun Yi, Ji Chen Qi, Dong (2022)	<i>Impact of population agglomeration in big cities on carbon emissions</i>	Variabel : Teknologi, Struktur Industri, Populasi, Transportasi dan emisi karbon Metode : Data Panel	Hasil analisis mekanisme menunjukkan bahwa aglomerasi populasi ke kota-kota besar meningkatkan emisi karbon melalui saluran efek struktur industri dan transportasi. Saluran efek inovasi teknologi menurunkan emisi karbon tetapi tidak mengimbangi pertumbuhan emisi karbon yang disebabkan oleh efek struktur industri dan transportasi.
Ramphul Ohlan (2015)	<i>The impact of population density, energy consumption, economic growth and trade openness on CO₂ emissions in India</i>	Variabel : Populasi penduduk, pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi, keterbukaan perdagangan dan emisi karbon Metode : Autoregressive Distributed Lag	Studi menemukan bahwa kepadatan penduduk, konsumsi energi, dan pertumbuhan ekonomi memiliki efek positif yang signifikan secara statistik terhadap emisi CO ₂ baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Di antara ketiga pendorong ini, kepadatan penduduk terbukti menjadi

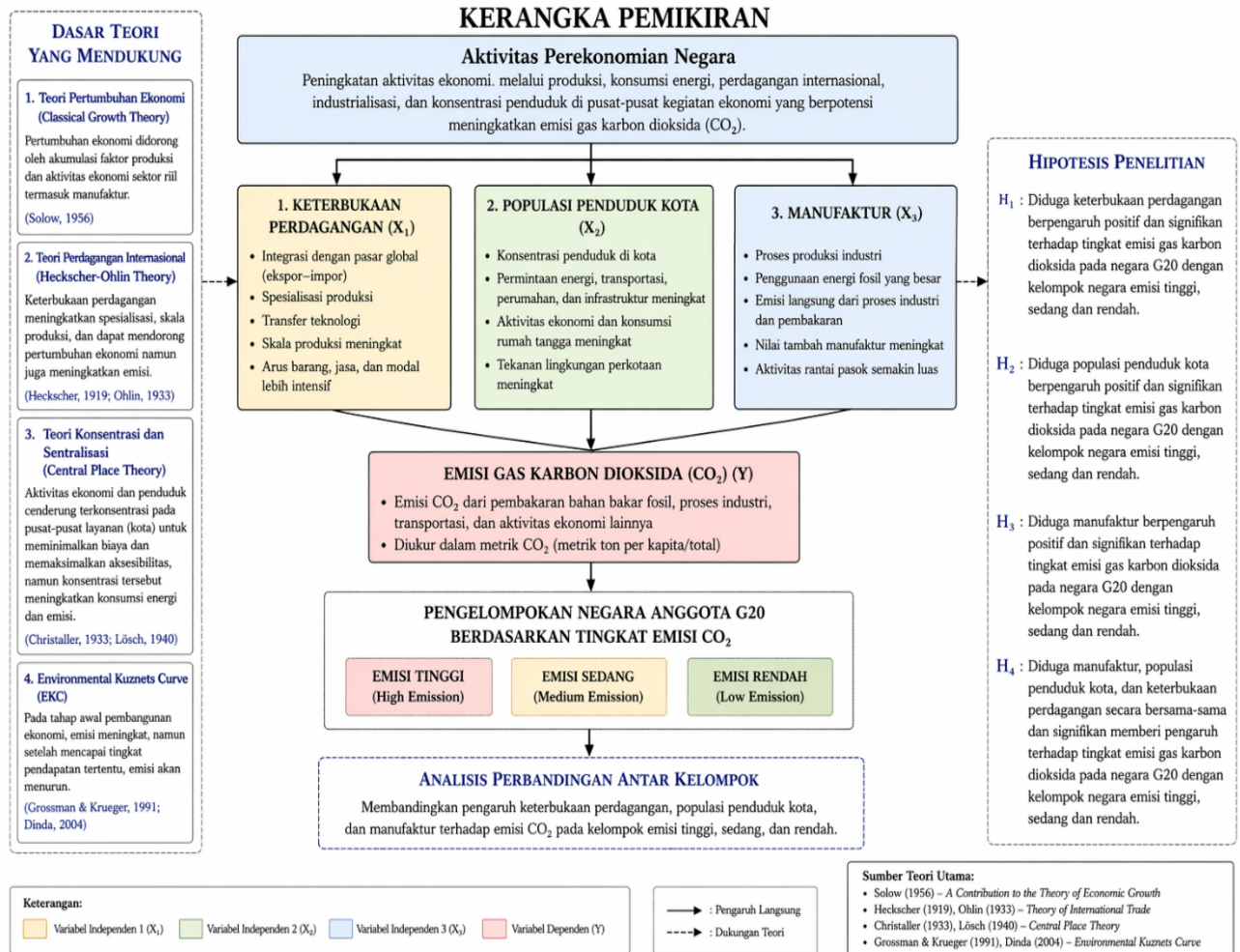
Peneliti	Judul	Alat Analisis	Hasil
			faktor utama yang memengaruhi perubahan emisi CO ₂ .
Hasan Murat Ertugrul, Hasan Murat Cetin, Fahri Seker, Eyup Dogan (2016)	<i>The impact of trade openness on global carbon dioxide emissions: Evidence from the top ten emitters among developing countries</i>	Variabel : Emisi karbon dioksida (CO ₂), keterbukaan perdagangan, pendapatan riil, dan konsumsi energi Metode : Zivot-Andrews unit root test dan VECM	Hasil empiris menunjukkan bahwa variabel yang dianalisis terkointegrasi untuk Thailand, Turki, India, Brasil, Tiongkok, Indonesia, dan Korea. Lalu pendapatan riil, konsumsi energi, dan keterbukaan perdagangan merupakan penentu utama emisi karbon dalam jangka panjang.
Keun-Yeob Oh, Iqbal Bhuyan (2018)	<i>Trade openness and CO₂ emissions: evidence of Bangladesh</i>	Variabel : Konsumsi energi, f kepadatan penduduk, keterbukaan perdagangan dan emisi karbon Metode : Autoregressive Distributed Lag (ARDL)	Hasilnya menunjukkan bahwa konsumsi energi memiliki efek positif yang signifikan secara statistik terhadap emisi CO ₂ baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Efek kepadatan penduduk signifikan dalam jangka panjang, tetapi tidak dalam jangka pendek. Koefisien yang diestimasi untuk pertumbuhan ekonomi dan

Peneliti	Judul	Alat Analisis	Hasil
			liberalisasi perdagangan adalah negatif dan tidak signifikan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.
Huaping Sun dkk (2019)	<i>Trade openness and carbon emissions: evidence from belt and road countries</i>	Variabel : Keterbukaan perdagangan, pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi dan emisi karbon Metode : VECM	Hasil studi menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan memiliki dampak positif dan negatif pada polusi lingkungan, tetapi dampaknya bervariasi di berbagai kelompok negara ini. Hasil kausalitas model koreksi kesalahan vektor (VECM) juga menunjukkan adanya efek kausalitas jangka panjang antara perdagangan, pertumbuhan ekonomi, konsumsi energi, dan pencemaran lingkungan di panel Belt and Road, Eropa, negara berpendapatan tinggi, menengah, dan rendah.
Biying Dong, Xiaojun Ma, Zhuolin Zhang, Hongbo Zhang, Ruimin Chen,	<i>Carbon emissions, the industrial structure and economic growth: Evidence from</i>	Variabel : Emisi karbon (CO ₂). Struktur industri dan pertumbuhan ekonomi	Proporsi nilai tambah pertanian, Sektor Manufaktur, dan transportasi berkorelasi negatif dengan emisi karbon, sedangkan proporsi

Peneliti	Judul	Alat Analisis	Hasil
Yanqi Song, Meichen Shen, Ruibing Xiang (2020)	<i>heterogeneous industries in China</i>	Metode : Data Panel	nilai tambah konstruksi, ritel dan akomodasi, serta industri lainnya berkorelasi positif dengan emisi karbon.
Korhan Gokm enoglu, Nesrin Ozatac, Baris Memduh Eren	<i>Relationship between Industrial Production, Financial Development and Carbon Emissions: The Case of Turkey</i>	Variabel : Emisi karbon (CO2). Produksi industri dan perkembangan keuangan (financial development) Metode : <i>Granger Causality</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi industri dan perkembangan keuangan memiliki hubungan positif terhadap emisi karbon. Peningkatan aktivitas industri mendorong kenaikan emisi CO2, sedangkan perkembangan sektor keuangan juga berkontribusi terhadap peningkatan konsumsi energi dan emisi lingkungan.

2.7 Kerangka Pemikiran

Penelitian ini mempergunakan variabel bebas seperti Sektor Manufaktur, populasi penduduk kota, serta keterbukaan perdagangan selaku bagian dari aktivitas ekonomi yang akan memengaruhi jumlah emisi gas karbon dioksida sebagai residu yang diproduksi oleh suatu negara. Permasalahan tersebut menjadi subjek perhatian yang serius ditanggapi oleh tiap pemerintahan negara di seluruh dunia untuk secara berkelanjutan menaikkan tingkat pertumbuhan ekonomi masing-masingnya, sekaligus memiliki *trade off* terhadap degradasi lingkungan.



Gambar 2. 3 Kerangka Pemikiran

2.8 Hipotesis

Didasarkan atas uraian latar belakang, tinjauan empiris, rumusan masalah serta tujuan dari penelitian ini, maka hipotesis sementara yang dapat dinyatakan atau dugaan sementara yang dapat diuraikan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Diduga keterbukaan perdagangan berpengaruh positif dan signifikan terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 dengan kelompok negara emisi tinggi dan sedang.

2. Diduga populasi penduduk kota berpengaruh positif dan signifikan terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 dengan kelompok negara emisi tinggi dan sedang.
3. Diduga Sektor Manufaktur berpengaruh positif dan signifikan terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 dengan kelompok negara emisi tinggi dan sedang.
4. Diduga Sektor Manufaktur, populasi penduduk kota, dan keterbukaan perdagangan secara bersama-sama memberi pengaruh signifikan terhadap tingkat emisi gas karbon dioksida pada negara G20 dengan kelompok negara emisi tinggi dan sedang.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Data dan Sumber Data

Penelitian ini terdiri atas variabel terikat serta variabel bebas, yang di mana variabel terikat dalam penelitian ini merupakan emisi gas karbon dioksida. Lalu, variabel bebas terdiri dari keterbukaan perdagangan, populasi penduduk kota, dan Sektor Manufaktur.

Tabel 3. 1 Variabel, Simbol, Satuan, dan Sumber Data

Variabel	Simbol	Satuan	Sumber Data
Emisi Gas Karbon dioksida	CO ₂	Metrik Ton Per Kapita	<i>World Bank</i>
Keterbukaan Perdagangan	TO	Persentase (%)	<i>World Bank</i>
Populasi Penduduk Kota	URB	Persentase (%)	<i>World Bank</i>
Sektor Manufaktur	MNF	Persentase (%)	<i>World Bank</i>

Penelitian ini memiliki ruang lingkup berupa negara-negara yang menjadi anggota G20 seperti Amerika Serikat, Jepang, Argentina, Perancis, Australia, China, Indonesia, Inggris, Jerman, Kanada, Afrika Selatan, Korea Selatan, Brazil, Meksiko, Italia, Rusia, India, Arab Saudi, serta Turki (19 negara) dalam kurun waktu 2004-2023, dengan mengecualikan Uni Eropa dikarenakan bukan sebagai negara

berdaulat tunggal akan tetapi organisasi yang merupakan gabungan antar negara.

Kemudian, data yang dipakai selama penelitian ini merupakan gabungan data dari data *cross section* serta data *time series* yang disebut pula sebagai data panel. Data sekunder yang dipergunakan selama penelitian ini berasal dari *World Bank* sebagai sumber sekunder. Data pada penelitian ini dibagi menjadi tiga klasifikasi yaitu emisi karbon dioksida tinggi, emisi karbon dioksida sedang, dan emisi karbon dioksida rendah sesuai dengan data yang tersedia. Dalam penelitian ini peneliti hanya fokus pada negara- negara dengan tingkat emisi tinggi dan sedang.

Tabel 3. 2 Klasifikasi Emisi Karbon Dioksida

Klasifikasi Emisi CO2	Rentang Nilai (Metrik Ton Per Kapita)
Emisi CO2 Tinggi	>60
Emisi CO2 Sedang	36 – 60
Emisi CO2 Rendah	0 – 35

Berikut adalah variabel, simbol, satuan, serta sumber data yang dipergunakan selama proses penelitian.

3.2 Definisi Operasional Variabel

Supaya pemahaman pembaca mengenai variabel apa saja yang akan digunakan menjadi lebih jelas dan mudah, maka penulis akan memaparkan definisi variabel dalam penelitian ini dengan pemaparan sebagai berikut:

3.2.1 Variabel Terikat (*Dependent Variable*)

Emisi gas karbon dioksida (CO₂) menjadi variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini selaku proksi yang menjembatani terjadinya degradasi lingkungan, yakni adalah bagaimana zat polutan (CO₂) tersebut disebut sebagai emisi tertinggi dari pencemaran udara sebagai bagian dari komponen penyusun gas rumah kaca.

Satuan yang dipakai untuk mengukur tingkatan emisi gas karbon dioksida adalah metrik ton per kapita. Emisi gas karbon dioksida paling banyak diproduksi sebagai residu penggunaan bahan bakar fosil serta sebagai dampak dari deforestasi. Tingginya jumlah emisi gas karbon dioksida akan merusak lapisan udara sehingga mampu mengganggu berjalannya proses aktivitas ekonomi. Perhitungan tingkat emisi tersebut berasal dari adanya pembakaran yang terjadi dalam sektor industri, proses transportasi, di dalam gedung, serta proses pembakaran emisi lainnya. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data emisi gas karbondioksida per kapita dari negara-negara anggota G20 yang berasal dari *World Bank* sebagai sumber pada periode tahun 2004-2023.

3.2.2 Variabel Bebas (*Independent Variable*)

3.2.2.1 Keterbukaan Perdagangan

Keterbukaan perdagangan merujuk pada tingkatan ketika ekonomi pada suatu negara mengizinkan atau melakukan transaksi ekonomi internasional dengan negara lainnya. Jika suatu negara semakin banyak bertransaksi dengan negara lainnya, maka negara tersebut semakin terbuka perekonomiannya. Peningkatan keterbukaan perdagangan memungkinkan terjadinya kompetisi dalam aktivitas produksi, serta akan meningkatkan emisi gas karbon dioksida dari hasil produksi. Pada penelitian ini tingkat keterbukaan perdagangan diukur menggunakan total perdagangan negara (*trade*). Menurut definisi *World Bank*, perdagangan (*trade*) merupakan jumlah dari ekspor-impor barang serta jasa yang diukur selaku bagian dari PDB. Dalam proses penelitian ini, data yang dipergunakan berasal dari data keterbukaan perdagangan dari negara anggota G20 dengan sumber dari *World Bank* dalam periode tahun 2004 – 2023.

3.2.2.2 Populasi Penduduk Kota

Populasi penduduk kota adalah angka dari sekelompok individu dengan karakteristik serupa dan hidup di tempat yang sama. Pertumbuhan angka populasi penduduk yang masif akan meningkatkan jumlah kebutuhan bahan bakar, kebutuhan sandang serta pangan, juga limbah yang dihasilkan sehingga memberi pengaruh dalam kurun

waktu singkat pada permasalahan lingkungan hidup. Data yang dipergunakan untuk kepentingan penelitian ini ialah data persentase populasi penduduk kota yang diperoleh dari populasi penduduk kota dibagi dengan total penduduk pada suatu negara. Data tersebut bersumber dari *World Bank* pada tahun 2004-2023 pada negara anggota G20.

3.2.2.3 Sektor Manufaktur

Menurut World Bank, Sektor Manufaktur adalah sektor ekonomi yang mencakup seluruh kegiatan produksi fisik yang mengubah bahan mentah, komponen, atau barang setengah jadi menjadi produk baru. Nilai tambah Sektor Manufaktur (manufacturing value added) didefinisikan sebagai output bersih Sektor Manufaktur, yaitu total nilai produksi dikurangi konsumsi barang dan jasa perantara yang digunakan selama proses produksi. Indikator ini umumnya digunakan untuk mengukur kontribusi Sektor Manufaktur terhadap perekonomian suatu negara, misalnya dalam bentuk persentase terhadap Produk Domestik Bruto (GDP), sehingga menunjukkan peranan dan produktivitas sektor industri dalam struktur ekonomi nasional.

3.3 Spesifikasi Model Penelitian

Model yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah regresi linear berganda. Analisis dengan model tersebut dipergunakan untuk mencari tahu apakah Sektor Manufaktur, populasi penduduk kota, serta keterbukaan perdagangan memberi pengaruh terhadap emisi gas karbon dioksida pada negara-negara anggota G20 dari tahun 2004-2023. Adapun model analisis dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$CO_{2it} = \beta_0 + \beta_1 TO_{it} + \beta_2 URB_{it} + \beta_3 MNF_{it} + \varepsilon_{it}$$

Keterangan :

CO_{2it} = Emisi Gas Karbon dioksida
 TO_{it} = Keterbukaan Perdagangan
 URB_{it} = Populasi Penduduk Kota

MNF_{it}	= Manufaktur
β_0	= Konstanta
$\beta_{1,2,3}$	= Koefisien
ε	= <i>Residual (error term)</i>
i	= Negara Anggota G20
t	= Waktu

Didapatkan suatu perbedaan satuan serta besaran dalam variabel bebas dalam penelitian ini sehingga persamaan regresi pun disusun dalam bentuk model logaritma. Menurut Gujarati (2006), penggunaan model logaritma ini terpilih dan dilakukan guna menghindari terjadinya *heteroskedastisitas*, mencari tahu koefisien yang menampilkan elastisitas, serta memperdekat skala data. Pemilihan model logaritma ini memberikan keuntungan berupa guna menyamakan satuan serta meminimalisasi adanya kemungkinan *heteroskedastisitas* mengingat perubahan yang menempatkan skala guna pengukuran variabel, serta koefisien kemiringan β_i langsung bisa menunjukkan elastisitas Y terhadap X_i , yakni persentase perubahan dalam Y sebagai dampak dari terjadinya persentase perubahan dalam X_i .

3.4 Metode Analisis Data

Penelitian ini mengimplementasikan teknik pengolahan data yang mengimplementasikan model ekonometrika persamaan linear berganda dan mengintegrasikan data *cross section* (data penampang) dan *time series* (deret waktu) ini disebut sebagai data panel (*panel pooled data*). Proses pembuatan data panel melibatkan penggabungan unit deret waktu dan data penampang untuk menghasilkan kumpulan data. Terdapat berbagai manfaat yang dapat diambil dengan diimplementasikannya data panel. Data panel yang menggabungkan dua jenis data *time series* dan *cross section* menawarkan jumlah data yang lebih besar sehingga meningkatkan hasil *degree of freedom* yang lebih besar pula. Kemudian, Widarjono (2005) menyatakan bahwa mengintegrasikan informasi *time series* dan *cross section* dapat secara efektif mengatasi permasalahan yang akan datang.

3.4.1 Pendekatan *Common Effect Model*

Common Effect Model (CEM) atau yang dikenal juga sebagai *Pooled Least Square* (PLS) menjadi salah satu metode yang mudah untuk diaplikasikan. Metode ini dilakukan dengan hanya mengintegrasikan secara langsung data *time series* dan *cross section* dan tidak perlu mempertimbangkan dimensi waktu ataupun individu sehingga dengan kata lain, bagaimana perilaku data yang akan serupa dalam berbagai jangka waktu dapat diasumsikan.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \varepsilon_{it}$$

Keterangan:

Y	: Variabel terikat
X_1, X_2	: Variabel bebas
β_0	: Konstanta
β_1, β_2	: Parameter atau koefisien regresi

Model OLS digunakan sebagai model dalam penelitian sehingga pengujian asumsi klasik perlu untuk dilakukan. Dalam penggunaan model regresi berganda, pengujian asumsi klasik yang dilakukan terdiri atas *uji normalitas*, *uji heteroskedastisitas*, serta *deteksi multikolineritas*.

3.4.2 Pendekatan *Fixed Effect Model*

Fixed Effect Model (FEM) yang disebut juga sebagai *Least Squares Dummy Variable* (LSDV) adalah pendekatan yang meninjau perbedaan antar-individu dan bisa diakomodasi dari perbedaan *intersep* memakai variabel *dummy*.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 D_{1i} + \beta_4 D_{2i} + \varepsilon_{it}$$

Keterangan:

Y	: Variabel terikat
X_1, X_2	: Variabel bebas
D_1, D_2	: Variabel <i>Dummy</i>

β_0	: Konstanta
β_1, β_2	: Parameter atau koefisien regresi

Metode *Fixed Effect Model* (FEM) memberikan hasil berupa praduga parameter yang cenderung tidak bias dan efisien. Walaupun demikian, pendekatan ini pun memiliki kelemahan, yaitu angka unit observasi yang tinggi sehingga dapat menurunkan angka derajat bebas model serta menurunkan tingkatan akurasi model.

3.4.3 Pendekatan *Random Effect Model*

Terimplementasikannya variabel *dummy* dalam model *fixed effect* memiliki tujuan guna mewakili ketidaktauhan mengenai model yang sesungguhnya. Walaupun demikian, hal tersebut pun akan menurunkan angka derajat kebebasan (*degree of freedom*). Supaya dapat mengurangi efisiensi parameter, variabel gangguan (error terms) atau *random effect* dapat dipergunakan. *Random Effect Model* (REM) yang dikatakan pula sebagai *Error Component Model* (ECM) didefinisikan sebagai pendekatan yang meng-input efek dimensi individu serta waktu.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \varepsilon_{it}$$

Keterangan:

Y	: Variabel terikat
X_1, X_2	: Variabel bebas
β_0	: Konstanta
β_1, β_2	: Parameter atau koefisien regresi

Dengan didapatkannya diferensiasi antara variabel gangguan di dalam persamaan tersebut, maka pendekatan OLS tidak bisa diimplementasikan guna menunjukkan estimasi yang lebih efisien sehingga pendekatan yang akan efektif bila diimplementasikan dalam estimasi model *random effect* yaitu *Generalized Least Square (GLS)*.

3.5 Uji Spesifikasi Model

Widarjono (2005) menyatakan bahwasanya tiga metode uji yang dapat dilakukan untuk memilih regresi data panel yang akan digunakan antara lain yaitu:

3.5.1 Uji Chow

Metode uji ini diimplementasikan guna penentuan model terbaik antara *Fixed Effect Model* (FEM) dan *Common Effect Model* (CEM). Metode hipotesis pada uji *chow* yakni adalah:

H_0 : *Common Effect Model* (Prob > 0,05)

H_a : *Fixed Effect Model* (Prob < 0,05)

Jika hasil dari uji ini menunjukkan menerima hipotesis nol, kemudian model terbaik yang dapat dipergunakan *Common Effect Model*. Sebaliknya, jika hasil dari uji ini menolak adanya hipotesis nol, kemudian model terbaik yang dapat dipergunakan yakni *Fixed Effect Model*. Setelah itu, tahapan dilanjutkan pada tahap uji *Hausman*.

3.5.2 Uji Hausman

Metode uji Hausman diimplementasikan guna menentukan model terbaik antara *Fixed Effect Model* (FEM) dengan *Random Effect Model* (REM). Cara hipotesis dalam uji *hausman* adalah sebagai berikut:

H_0 : *Random Effect Model* (Prob > 0,05)

H_a : *Fixed Effect Model* (Prob < 0,05)

Jika hasil dari uji ini menunjukkan menerima hipotesis nol, kemudian model terbaik yang dapat diimplementasikan yaitu *Random Effect Model*. Sebaliknya, jika hasil menunjukkan penolakan terhadap hipotesis nol, maka model terbaik yang dapat diimplementasikan yaitu *Fixed Effect Model*. Setelah uji *hausman* selesai, tahap pengujian pun berlanjut pada *Lagrange Multiplier* (LM).

3.5.3 Uji Lagrange Multiplier (LM)

Metode uji *Lagrange Multiplier* diimplementasikan guna menetapkan model terbaik antara *Common Effect Model* (CEM) dan *Random Effect Model* (REM). Cara hipotesis dalam uji *Lagrange Multiplier* (LM) yakni sebagai berikut:

H_0 : *Common Effect Model* (Prob > 0,05)

H_a : *Random Effect Model* (Prob < 0,05)

Jika hasil dari uji ini menunjukkan menerima hipotesis nol, maka model terbaik yang dapat diimplementasikan adalah *Common Effect Model*. Sebaliknya, jika hasil menunjukkan penolakan terhadap hipotesis nol, kemudian model terbaik yang dapat diimplementasikan adalah *Random Effect Model*. *Common Effect Model* (CEM) atau dikenal juga sebagai dengan Pooled Least Square (PLS) adalah satu dari berbagai pendekatan sederhana yang cukup mengkombinasikan data time series dan cross section tanpa memperhatikan dimensi waktu atau individu sehingga dapat diasumsikan bahwa perilaku data serupa dalam berbagai periode waktu.

3.6 Pengujian Asumsi Klasik

Dalam model regresi berganda, pengujian terhadap asumsi klasik dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

3.6.1 Uji Normalitas

Uji normalitas didefinisikan sebagai sebuah uji signifikansi variabel independen kepada variabel dependen dengan uji-t. Metode uji ini valid apabila *residual* terdistribusi secara normal. Widarjono (2005) menyatakan bahwa penggunaan histogram dan uji *Jarque-Bera* (*J-B*) untuk mengetahui apakah residual tersebar secara normal atau tidak.

H_0 : Residu terdistribusi normal

H_a : Residu tidak terdistribusi normal

Maka dari itu, cara mengambil keputusan dalam pengujian *normalitas* merupakan sebagai berikut:

$Jarque-Bera\ stat < x^2_{tabel}, Probability > \alpha = H_0$ diterima, dan H_a ditolak.

$Jarque-Bera\ stat > x^2_{tabel}, Probability < \alpha = H_0$ ditolak, dan H_a diterima.

3.6.2 Uji Autokorelasi

Keadaaan dimana terjadinya korelasi dari residual untuk pengamatan satu dengan pengamatan yang lain disusun menurut runtun waktu (Priyatno, 2013:61).

Tabel 3. 3 Pengambilan Keputusan

Kriteria	Keputusan
$0 < dw < dl$	Ada Autokorelasi Positif
$dl < dw < du$	Tidak ada Keputusan
$4-dl < dw < 4$	Ada Autokorelasi Negatif
$4-du < dw < 4-dl$	Tidak ada keputusan
$du < dw < 4-du$	Tidak ada Autokorelasi

Ket : du (durbin Watson upper), dl (durbin Watson lower).

Kriteria Keputusan:

- Bila nilai DW terletak antara batas atas atau *upper bound* (du) dan (4-du), maka koefisien autokorelasi sama dengan nol, berarti tidak ada autokorelasi.
- Bila nilai DW lebih rendah dari pada batas bawah atau *lowerbound* (dl), maka koefisien autokorelasi lebih besar daripada nol, berarti ada autokorelasi positif.
- Bila nilai DW lebih besar daripada (4-dl), maka koefisien autokorelasi lebih kecil daripada nol, berarti ada autokorelasi negatif.

3.6.2 Uji Heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas bertujuan untuk menguji apakah model regresi terjadi ketidaksamaan *variance* dari residual satu pengamatan ke pengamatan yang lain. Jika *varian* dari residual satu ke pengamatan yang lain tetap sama maka disebut homoskedastisitas. Cara untuk mendeteksi ada atau tidaknya heteroskedastisitas dengan melakukan uji Gletser. Uji ini dengan meregres nilai absolut residual terhadap

variabel independen. Jika nilai signifikansi antara variabel independen dengan absolut residual lebih dari 5% atau $> 0,05$ maka tidak terjadi masalah heteroskedastisitas (Sujarweni, 2024).

3.6.4 Uji Multikolinearitas

Nachrowi (2009) mendefinisikan deteksi *Multikolinearitas* sebagai eksistensi hubungan antar variabel-variabel bebas yang menjadikan interpretasi dari setiap koefisien regresi tidak lagi valid. Untuk efisiensi model regresi, semestinya jangan terdapat relasi antar variabel-variabel independen.

Walaupun demikian, hubungan yang terdapat di antara variabel-variabel bebas tidak berarti sepenuhnya tidak diperkenankan. Hanya *kolinearitas* yang sempurna atau *perfect collinearity* saja yang tidak diperkenankan. Kolinearitas sempurna merupakan fenomena di mana terjadi korelasi linear antara sesama variabel bebas. Di samping itu, sifat *kolinear* yang nyaris sempurna atau tidak berhubungan linear korelasi mendekati nol masih diperkenankan dan tidak dianggap ke dalam pelanggaran asumsi. Dalam penelitian ini, hipotesis Deteksi *Multikolinearitas* adalah sebagai berikut:

H_0 = Tidak terdapat *multikolinearitas*

H_a = Terdapat *multikolinearitas*

3.7 Uji Hipotesis

3.7.1 Uji Parsial (Uji t)

Metode ini diimplementasikan guna meninjau signifikansi atas dampak variabel independen pada variabel dependen dengan cara individual untuk memaparkan variabel terikat. Metode ini diperuntukkan supaya dapat meninjau probabilitas t hitung. Jika probabilitas kurang dari taraf signifikansi sejumlah 5%, maka variabel bebas disebut signifikan memengaruhi variabel terikat.

Hipotesis yang digunakan :

1) Hipotesis variabel Keterbukaan Perdagangan

$H_{01} : \beta_1 = 0$, keterbukaan perdagangan tidak berpengaruh terhadap emisi gas karbon dioksida di negara anggota G20 pada kelompok emisi tinggi dan sedang.

$H_{a1} : \beta_1 > 0$, keterbukaan perdagangan berpengaruh positif signifikan terhadap emisi gas karbon dioksida di negara anggota G20 pada kelompok emisi tinggi dan sedang.

2) Hipotesis variabel Populasi Penduduk Kota

$H_{02} : \beta_2 = 0$, populasi penduduk kota tidak berpengaruh terhadap emisi gas karbon dioksida di negara anggota G20 pada kelompok emisi tinggi dan sedang.

$H_{a2} : \beta_2 > 0$, populasi penduduk kota berpengaruh positif signifikan terhadap emisi gas karbon dioksida di negara anggota G20 pada kelompok emisi tinggi dan sedang.

3) Hipotesis variabel Sektor Manufaktur

$H_{03} : \beta_3 = 0$, Sektor Manufaktur tidak berpengaruh terhadap emisi gas karbon dioksida di negara anggota G20 pada kelompok emisi tinggi dan sedang.

$H_{a3} : \beta_3 > 0$, Sektor Manufaktur berpengaruh positif signifikan terhadap emisi gas karbon dioksida di negara anggota G20 pada kelompok emisi tinggi dan sedang.

Kriteria pengujian :

- a. Jika nilai t -hitung $>$ nilai t -tabel, kemudian H_0 ditolak atau menerima

H_a . Berarti variabel bebas memberi pengaruh signifikan kepada variabel terikat.

- b. Jika nilai t -hitung $<$ nilai t -tabel, kemudian H_0 diterima atau menolak H_a . Berarti variabel bebas tidaklah memberi pengaruh kepada variabel terikat.

3.7.2 Uji F Statistik

Uji F atau yang dijabarkan sebagai uji koefisien regresi diimplementasikan secara bersamaan guna mengetahui apakah variabel independen berpengaruh secara bersamaan juga signifikan pada variabel dependen atau tidak. Untuk menetapkan hasil hipotesis pada uji F, digunakan nilai F hitung serta F tabel dengan hipotesis berupa:

3.8 $H_0: \beta_1, \beta_2, \beta_3 = 0 \rightarrow$ Setidaknya salah satu variabel *independent* tidak mampu memengaruhi variabel *dependent* secara bersamaan.

3.9 $H_a : \beta_1, \beta_2, \beta_3 \neq 0 \rightarrow$ Setidaknya salah satu variabel *independent* mampu memengaruhi variabel *dependent* secara bersamaan.

Jika F hitung $>$ F tabel dengan α 5% maka H_0 ditolak dan menerima H_a dan kesimpulannya variabel bebas dengan bersamaan memberi pengaruh signifikan kepada variabel terikat. Berlaku jika F hitung $<$ F tabel dengan α 5%.

3.7.3 Uji Koefisiensi Determinasi (R^2)

Uji ini diimplementasikan guna memperlihatkan besarnya daya kompetensi memaparkan variabel bebas pada variabel terikat dalam model. Nilai R^2 berkisar antara $0 < R^2 < 1$ sehingga dapat disimpulkan bahwa :

- a) Nilai R^2 mendekati nol, disimpulkan bahwa kemampuan variabel bebas dalam memaparkan variabel-variabel terikat sangat terbatas.
- b) Nilai R^2 mendekati satu, disimpulkan bahwa kemampuan variabel bebas menyediakan semua informasi untuk memprediksi variasi variabel terikat.

V. SARAN DAN SIMPULAN

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis regresi data panel pada negara anggota G20 dengan klasifikasi emisi karbon tinggi selama periode 2004–2023, penelitian ini menyimpulkan bahwa model terbaik yang digunakan adalah Fixed Effect Model (FEM). Hasil tersebut menunjukkan adanya perbedaan karakteristik tetap (individual heterogeneity) antarnegara yang secara signifikan memengaruhi tingkat emisi karbon dioksida (CO₂). Secara simultan, variabel keterbukaan perdagangan (TO), populasi penduduk kota (URB), dan Sektor Manufaktur (MNF) terbukti berpengaruh signifikan terhadap emisi CO₂, sehingga model penelitian dinilai layak dan memiliki daya jelaskan yang kuat terhadap variasi emisi karbon di negara-negara G20 beremisi tinggi. Secara parsial, diperoleh beberapa temuan utama sebagai berikut:

1. Keterbukaan perdagangan berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi intensitas ekspor dan impor suatu negara, maka semakin besar pula kecenderungan peningkatan emisi karbon akibat ekspansi produksi, peningkatan konsumsi energi, serta aktivitas distribusi dan transportasi internasional yang masih didominasi energi berbasis fosil.
2. Populasi penduduk kota (urbanisasi) berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂. Peningkatan konsentrasi penduduk di wilayah perkotaan mendorong kenaikan kebutuhan energi, transportasi, infrastruktur, serta konsumsi rumah tangga, sehingga memperbesar tekanan terhadap lingkungan dan meningkatkan emisi karbon.
3. Sektor Manufaktur berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ dan signifikan pada tingkat signifikansi 10%. Hal ini menunjukkan bahwa sektor industri tetap menjadi salah satu sumber utama emisi karbon, meskipun tingkat signifikansinya relatif lebih lemah dibandingkan keterbukaan perdagangan

dan urbanisasi. Peningkatan aktivitas produksi industri cenderung diikuti oleh peningkatan konsumsi energi dan pelepasan emisi dari proses produksi.

4. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa dinamika perdagangan internasional dan pertumbuhan urbanisasi merupakan determinan utama peningkatan emisi CO₂ pada kelompok negara G20 beremisi tinggi, sementara Sektor Manufaktur tetap berperan sebagai sumber emisi penting dalam struktur ekonomi berbasis industrialisasi.

5.2 Saran

Berikut adalah saran penelitian dalam bentuk poin-poin paragraf:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa keterbukaan perdagangan berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi CO₂, pemerintah negara-negara G20 disarankan untuk mengintegrasikan kebijakan perdagangan dengan kebijakan lingkungan. Harmonisasi standar lingkungan internasional, penerapan pajak karbon, serta pengawasan terhadap aktivitas ekspor–impor yang berbasis energi fosil perlu diperkuat agar peningkatan perdagangan tidak selalu diikuti oleh kenaikan emisi karbon.
2. Mengingat populasi penduduk kota terbukti meningkatkan emisi CO₂ secara signifikan, pemerintah perlu mengembangkan kebijakan pembangunan perkotaan yang berorientasi pada konsep kota rendah karbon. Penguatan transportasi publik berbasis energi bersih, peningkatan efisiensi energi bangunan, pengembangan ruang terbuka hijau, serta tata kelola kota berkelanjutan menjadi langkah strategis untuk mengurangi tekanan lingkungan akibat urbanisasi yang pesat.
3. Hasil penelitian yang menunjukkan bahwa Sektor Manufaktur berpengaruh positif terhadap emisi CO₂ mengindikasikan perlunya transformasi industri menuju Sektor Manufaktur yang lebih ramah lingkungan. Pemerintah disarankan untuk mendorong adopsi teknologi bersih, meningkatkan

efisiensi energi dalam proses produksi, serta mempercepat transisi penggunaan energi fosil ke energi terbarukan agar pertumbuhan sektor industri tidak terus memperbesar emisi karbon.

4. Secara umum, negara-negara G20 perlu mempercepat transisi energi bersih sebagai strategi utama dalam menekan emisi karbon. Diversifikasi bauran energi, pengurangan subsidi bahan bakar fosil, serta investasi pada energi terbarukan menjadi kebijakan penting untuk mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan tanpa memperburuk degradasi lingkungan.
5. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar memasukkan variabel tambahan seperti konsumsi energi, energi terbarukan, pertumbuhan ekonomi, atau kebijakan lingkungan guna memperoleh hasil yang lebih komprehensif. Selain itu, penggunaan metode analisis yang lebih dinamis seperti Generalized Method of Moments (GMM) atau pendekatan nonlinear juga dapat dilakukan untuk menguji kemungkinan adanya hubungan jangka panjang dan titik balik sebagaimana dijelaskan dalam teori Environmental Kuznets Curve (EKC).

DAFTAR PUSTAKA

- Arslan, A., Qayyum, A., Tabash, M. I., Nair, K., AsadUllah, M., & Daniel, L. (2023). The impact of economic complexity, usage of energy, tourism, and economic growth on carbon emissions: empirical evidence of 102 countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 13(5), 315–324.
- Arto, I., & Dietzenbacher, E. (2014). Drivers of the growth in global greenhouse gas emissions. *Environmental Science & Technology*, 48(10), 5388–5394.
- Avenyo, E. K., & Tregenna, F. (2022). Greening manufacturing: Technology intensity and carbon dioxide emissions in developing countries. *Applied Energy*, 324, 119726.
- Brunel, C. (2017). Pollution offshoring and emission reductions in EU and US manufacturing. *Environmental and Resource Economics*, 68, 621–641.
- Caocao, C., Chun-lan, L., Hao, W., Jing, G., Long, C., Hai-hua, W., Ji-ping, Z., Zheng, L., & Xiao-Jie, L. (2014). Examining the impact factors of energy consumption related carbon footprints using the STIRPAT model and PLS model in Beijing. *China Environmental Science*, 34, 1622–1632. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:130475503>
- Chen, F., Jiang, G., & Kitila, G. M. (2021). Trade openness and CO2 emissions: The heterogeneous and mediating effects for the belt and road countries. *Sustainability*, 13(4), 1958.
- Chen, F., Liu, A., Lu, X., Zhe, R., Tong, J., & Akram, R. (2022). Evaluation of the effects of urbanization on carbon emissions: the transformative role of government effectiveness. *Frontiers in Energy Research*, 10, 848800.
- Constantia, M. (2022). Determinants of CO2 Emission Intensity: Manufacturing Firm-Level Evidence in Indonesia. *Jurnal Perencanaan Pembangunan: The Indonesian Journal of Development Planning*, 6(3), 402–419.
- Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2004). Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic Literature*, 42(1), 7–71.
- Cristea, A., Hummels, D., Puzzello, L., & Avetisyan, M. (2013). Trade and the greenhouse gas emissions from international freight transport. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65(1), 153–173.

- Dong, B., Ma, X., Zhang, Z., Zhang, H., Chen, R., Song, Y., Shen, M., & Xiang, R. (2020). Carbon emissions, the industrial structure and economic growth: Evidence from heterogeneous industries in China. *Environmental Pollution*, 262, 114322.
- Duodu, E., & Mpuure, D. M.-N. (2023). International trade and environmental pollution in sub-Saharan Africa: do exports and imports matter? *Environmental Science and Pollution Research*, 30(18), 53204–53220.
- Ertugrul, H. M., Cetin, M., Seker, F., & Dogan, E. (2016). The impact of trade openness on global carbon dioxide emissions: Evidence from the top ten emitters among developing countries. *Ecological Indicators*, 67, 543–555.
- Fragkias, M., Lobo, J., Strumsky, D., & Seto, K. C. (2013). Does size matter? Scaling of CO₂ emissions and US urban areas. *Plos One*, 8(6), e64727.
- Gokmenoglu, K., Ozatac, N., & Eren, B. M. (2015). Relationship between industrial production, financial development and carbon emissions: The case of Turkey. *Procedia Economics and Finance*, 25, 463–470.
- Goswami, A., Kapoor, H. S., Jangir, R. K., Ngigi, C. N., Nowrouzi-kia, B., & Chattu, V. K. (2023). Impact of Economic Growth, Trade Openness, Urbanization and Energy Consumption on Carbon Emissions: A Study of India. *Sustainability*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:259053520>
- Hao, Y., & Liu, Y.-M. (2015). Has the development of FDI and foreign trade contributed to China's CO₂ emissions? An empirical study with provincial panel data. *Journal of Environmental Economics and Management*, 76(3), 346–363.
- Harris, D. C. (2010). *Charles David Keeling and the story of atmospheric CO₂ measurements*. ACS Publications.
- Hong, S., Hui, E. C. M., & Lin, Y. (2022). Relationships between carbon emissions and urban population size and density, based on geo-urban scaling analysis: A multi-carbon source empirical study. *Urban Climate*, 46, 101337.
- Jakob, M., & Marschinski, R. (2013). Interpreting trade-related CO₂ emission transfers. *Nature Climate Change*, 3(1), 19–23.
- Jones, M. W., Peters, G. P., Gasser, T., Andrew, R. M., Schwingshackl, C., Gütschow, J., Houghton, R. A., Friedlingstein, P., Pongratz, J., & Le Quéré, C. (2023). National contributions to climate change due to historical emissions of carbon dioxide, methane, and nitrous oxide since 1850. *Scientific Data*, 10(1), 155.

- Lin, B., Moubarak, M., & Ouyang, X. (2014). Carbon dioxide emissions and growth of the manufacturing sector: Evidence for China. *Energy*, 76, 830–837.
- Liu, C., Wang, X., Lai, F., & Huang, Y. (2020). Empirical study on carbon emission measurement and influencing factors of urban traffic based on “Population-Economy-Environment.” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 601(1), 12049.
- Liu, X., Wang, M., Qiang, W., Wu, K., & Wang, X. (2020). Urban form, shrinking cities, and residential carbon emissions: Evidence from Chinese city-regions. *Applied Energy*, 261, 114409.
- Managi, S., Hibiki, A., & Tsurumi, T. (2009). Does trade openness improve environmental quality? *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(3), 346–363.
- Millimet, D. L., & Roy, J. (2016). Empirical tests of the pollution haven hypothesis when environmental regulation is endogenous. *Journal of Applied Econometrics*, 31(4), 652–677.
- Oh, K.-Y., & Bhuyan, I. (2018). Trade openness and CO₂ emissions: evidence of Bangladesh. *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 12(1), 30–36.
- Ohlan, R. (2015). The impact of population density, energy consumption, economic growth and trade openness on CO₂ emissions in India. *Natural Hazards*, 79, 1409–1428.
- Ojaghlou, M., Uğurlu, E., Kadłubek, M., & Thalassinou, E. I. (2023). Economic Activities and Management Issues for the Environment: An Environmental Kuznets Curve (EKC) and STIRPAT Analysis in Turkey. *Resources*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:258449047>
- Pandit, D. J. (2024). Environmental Change in Coastal Region of West Bengal: A District Level Study. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:267539629>
- Peters, G. P., Minx, J. C., Weber, C. L., & Edenhofer, O. (2011). Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21), 8903–8908.
- Salimi, M., Hosseinpour, M., & Dodange, B. (2023). Investigating the importance of renewable energy in the successful energy transition in Iran based on SWOT analysis. *Journal of Renewable and New Energy*, 10(1), 97–109.
- Satterthwaite, D. (2007). *The transition to a predominantly urban world and its*

underpinnings (Issue 4). Iied.

- Subramanian, N., & Abdulrahman, M. (2017). An examination of drivers and barriers to reducing carbon emissions in China's manufacturing sector. *The International Journal of Logistics Management*, 28(4), 1168–1195.
- Sun, H., Attuquaye Clottey, S., Geng, Y., Fang, K., & Clifford Kofi Amissah, J. (2019). Trade openness and carbon emissions: evidence from belt and road countries. *Sustainability*, 11(9), 2682.
- Tan, Y., Qamruzzaman, M., & Karim, S. (2023). An investigation of financial openness, trade openness, gross capital formation, urbanization, financial development, education and energy nexus in BRI: Evidence from the symmetric and asymmetric framework. *Plos One*, 18(12), e0290121.
- Tian, J., Liao, H., & Wang, C. (2015). Spatial-temporal variations of embodied carbon emission in global trade flows: 41 economies and 35 sectors. *Natural Hazards*, 78, 1125–1144.
- Wang, Q., & Zhang, F. (2021). The effects of trade openness on decoupling carbon emissions from economic growth—evidence from 182 countries. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123838.
- Yi, Y., Qi, J., & Chen, D. (2022). Impact of population agglomeration in big cities on carbon emissions. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(57), 86692–86706.
- Yu, Y., & Du, Y. (2023). Does ICT change the relationship between trade openness and CO₂ emissions? Evidence for RCEP countries. *Environment, Development and Sustainability*, 1–23.
- Zhang, S., Liu, X., & Bae, J. (2017). Does trade openness affect CO₂ emissions: evidence from ten newly industrialized countries? *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 17616–17625.