

**PERAN PENGGUNAAN ENERGI TERBARUKAN DAN EFISIENSI
ENERGI TERHADAP EMISI KARBON DIOKSIDA DI NEGARA-
NEGARA INDUSTRI BARU**

(Skripsi)

**Oleh
Ikhsan Abdullah**



**FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2020**

ABSTRACT

ROLE OF USE RENEWABLE ENERGY AND ENERGY EFFICIENCY ON EMISSIONS OF CARBON DIOXIDE IN NEWLY INDUSTRIALIZED COUNTRIES

**By
Ikhsan Abdullah**

Along with the times and advances in human civilization, global warming and climate change caused by the increase in greenhouse gases have become a global concern. The increase in carbon dioxide emissions is closely related to anthropogenic activities in the economic development process. This study aims to examine the effect of anthropogenic activity on changes in carbon dioxide emissions in newly industrialized countries. This study uses the STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology) model and concept by Thomas Dietz, Eugene Rosa, and Richard York. The data used in this study is secondary data, while the method is quantitative. The analytical tool used in this study is multiple regression with a random-effects model approach. The calculation results show there is conformity with STIRPAT theory, where the anthropogenic factors, in this study is the use of renewable energy resources, energy efficiency on economic activity, GDP per capita, and population, has an effect on changes in carbon dioxide emissions in newly industrialized countries.

Keywords: IPAT, STIRPAT, energy, carbon dioxide.

ABSTRAK

PERAN PENGGUNAAN ENERGI TERBARUKAN DAN EFISIENSI ENERGI TERHADAP EMISI KARBON DIOKSIDA DI NEGARA-NEGARA INDUSTRI BARU

**Oleh
Ikhsan Abdullah**

Seiring perkembangan zaman dan kemajuan peradaban manusia, pemanasan global dan perubahan iklim yang diakibatkan oleh peningkatan gas rumah kaca telah menjadi isu yang semakin menjadi perhatian global. Peningkatan emisi karbon dioksida sangat erat kaitannya dengan aktivitas antropogenik pada proses pembangunan ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menguji pengaruh aktivitas antropogenik terhadap perubahan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru. Penelitian ini menggunakan model dan konsep STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology*) yang diformulasikan oleh Thomas Dietz, Eugene Rosa, dan Richard York. Data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan data sekunder, sedangkan metode yang digunakan adalah kuantitatif. Alat analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah regresi berganda dengan pendekatan efek acak. Hasil perhitungan menunjukkan adanya kesesuaian dengan teori STIRPAT, dimana faktor-faktor antropogenik, dalam penelitian ini adalah penggunaan energi dengan sumber terbarukan, efisiensi energi terhadap aktivitas ekonomi, PDB per kapita, dan populasi penduduk, memiliki pengaruh terhadap perubahan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.

Kata kunci: IPAT, STIRPAT, energi, karbon dioksida.

**PERAN PENGGUNAAN ENERGI TERBARUKAN DAN EFISIENSI
ENERGI TERHADAP EMISI KARBON DIOKSIDA DI NEGARA-
NEGARA INDUSTRI BARU**

Oleh
Ikhsan Abdullah

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA EKONOMI

pada

Jurusan Ekonomi Pembangunan
Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung



**FAKULTAS EKONOMI DAN BISNIS
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2020**

Judul Skripsi : **PERAN PENGGUNAAN ENERGI TERBARUKAN
DAN EFISIENSI ENERGI TERHADAP EMISI
KARBON DIOKSIDA DI NEGARA-NEGARA
INDUSTRI BARU**

Nama Mahasiswa : **Ikhsan Abdullah**

No. Pokok Mahasiswa : 1411021052

Jurusan : Ekonomi Pembangunan

Fakultas : Ekonomi dan Bisnis



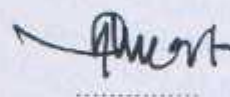
2. Ketua Jurusan Ekonomi Pembangunan

Dr. Neli Aida, S.E., M.Si.
19631215 198903 2 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Toto Gunarto, S.E., M.Si.**



Penguji I : **Dr. IWayan Suparta, S.E., M.Si.**



Penguji II : **Dr. Nairobi, S.E., M.Si.**



2. Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis



Dr. Nairobi, S.E., M.Si.

0660621199003 1 003

Tanggal lulus ujian: 6 Januari 2020

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi 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/sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Bandar Lampung, 1 Februari 2020

Penulis

ikhlan Abdullah

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Ikhsan Abdullah, lahir pada tanggal 4 September 1996 di Kabupaten Pringsewu. Penulis adalah anak tunggal dari pasangan Bapak Sumadi dan Ibu Siti Muhibah. Penulis memulai pendidikan formal di Sekolah Dasar (SD) Negeri 3 Sukoharjo pada 2002, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Sukoharjo pada 2008 dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 1 Pringsewu yang diselesaikan pada 2014.

Pada jenjang perguruan tinggi, penulis melanjutkan pendidikannya di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung dengan mengambil jurusan Ekonomi Pembangunan pada 2014. Selama masa kuliah penulis pernah aktif sebagai anggota dan pengurus Kelompok Studi Pasar Modal (KSPM) periode 2015/2016 dan 2016/2017. Pada 2017, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata Program Pengabdian kepada Masyarakat (KKN PPM Unila) di Pulau Sebesi, Kecamatan Rajabasa, Kabupaten Lampung Selatan. Di samping kegiatan akademik dan sampai tulisan ini diselesaikan, penulis juga bekerja sebagai desainer grafis lepas yang tergabung dalam tim Arcana Visual, yang berspesialisasi pada *visual brand identity* dan telah membantu bisnis kecil dan menengah, baik dari dalam dan luar negeri, dalam mengembangkan identitas merek mereka.

PERSEMBAHAN

Dengan segenap puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala kasih sayang dan karunianya yang senantiasa diberikan kepada seluruh alam dan seisinya, karya tulis ini dipersembahkan dengan segala ketulusan dan kerendahan hati kepada:

- Keluarga tercinta, dengan penuh ketulusan dan kesabaran untuk selalu menyayangi, mengasihi, membimbing, dan memberikan motivasi untuk terus maju. Terima kasih untuk segala perjuangan telah diberikan, nilai-nilai kebaikan yang tidak henti-hentinya ditanamkan kepada penulis. Tiada yang selalu dipanjatkan dan diharapkan melainkan segala kebaikan, keberkahan, dan kebahagiaan bagi kalian.
- Para dosen yang telah berjasa dalam memberikan ilmu dan nasihat yang sangat berharga bagi penulis.
- Para sahabat yang selalu memberikan saran, motivasi, dan semangat untuk penulis.
- Almamater tercinta, Universitas Lampung.

MOTO

Start where you are. Use what you have. Do what you can.

(Arthur Robert Ashe Jr.)

SANWACANA

Segala puji dan syukur senantiasa dicurahkan kepada Tuhan Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang atas segala rahmat dan karunianya sehingga skripsi yang berjudul *Peran Penggunaan Energi Terbarukan dan Efisiensi Energi terhadap Emisi Karbon Dioksida di Negara-negara Industri Baru* dapat diselesaikan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Ekonomi di Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan bantuan lainnya selama proses penyelesaian skripsi ini. Secara khusus, penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Nairobi, S.E., M.Si. selaku Dekan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung, Dosen Pembimbing Akademik, dan Dosen Penguji yang telah membimbing, memberikan masukan, saran, nasihat, bantuan, dan motivasi yang sangat berharga bagi penulis.
2. Ibu Dr. Neli Aida, S.E., M.Si. selaku Ketua Jurusan Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.

3. Bapak Dr. Toto Gunarto, S.E., M.Si. selaku dosen pembimbing utama atas kesediaan waktunya dalam memberikan bimbingan, arahan, nasihat, dukungan, bantuan dan saran bagi penulis hingga skripsi ini dapat diselesaikan.
4. Bapak Dr. I Wayan Suparta, S.E., M.Si. selaku dosen penguji atas kesediaan dalam memberikan dukungan, saran, dan bantuan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Dr. Arivina Ratih, S.E., M.Si. selaku dosen pembahas seminar atas kesediaannya dalam memberikan dukungan, saran, dan bantuan dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Ibu Dr. Heru Wahyudi, S.E., M.Si. selaku Sekertaris Jurusan Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung.
7. Seluruh dosen Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu dan pelajaran yang bermanfaat bagi penulis.
8. Kedua orang tuaku tercinta, yang tiada henti dalam mendukung, memberikan nasihat, motivasi, dan doa kepada penulis. Terima kasih tak terhingga untuk setiap perjuangan, kasih sayang, pengorbanan serta kesabaran bapak dan ibu dalam membimbing anakmu hingga saat ini.
9. Seluruh staf dan karyawan di lingkungan Fakultas Ekonomi dan Bisnis yang telah banyak memberikan pelayanan terbaiknya yang turut membantu dalam kelancaran proses penyelesaian skripsi ini.

10. Teman-teman Ekonomi Pembangunan, baik senior atau junior, atas kebersamaan, kekompakan, dukungan, dan bantuannya selama penulis menjalani perkuliahan, semoga kebaikan dan keberkahan senantiasa mengiringi langkah kita dalam menuju kesuksesan.
11. *Sariah Adventure*, atas kebersamaan, kekompakan, dan dukungan kalian yang telah banyak membantu dan membersamai penulis selama menjalani perkuliahan, semoga kebaikan dan keberkahan senantiasa mengiringi langkah kita dalam menuju kesuksesan.
12. Keluarga Besar Komek Unila, atas pembelajaran dan pengalaman yang diberikan dan dilalui bersama, semoga kebaikan dan keberkahan senantiasa mengiringi langkah kita dalam berjuang.
13. Keluarga Besar Kelompok Studi Pasar Modal (KSPM) Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Lampung, atas segala ilmu, pembelajaran, dan pengalaman yang sangat bermanfaat dan berkesan bagi penulis, semoga kebaikan dan keberkahan senantiasa mengiringi langkah kita dalam menuju kesuksesan.
14. Keluarga Besar Badan Mahasiswa Pringsewu Seluruh Indonesia (BMPSI), atas kebersamaan, bantuan, dan pengalaman yang telah diberikan dan dilalui bersama, semoga kebaikan dan keberkahan senantiasa mengiringi langkah kita dalam berjuang.
15. Teman-teman KKN Pulau Sebesi 2017, atas kebersamaan, bantuan, dan segala pengalaman yang diberikan dan dilalui bersama, semoga kebaikan

dan keberkahan senantiasa mengiringi langkah kita dalam menuju kesuksesan.

16. Orang-orang yang telah membantu memperjuangkan akses publik untuk sumber-sumber ilmu pengetahuan dan berusaha menghilangkan segala penghalang yang menghambat penyebaran pengetahuan, serta memerangi ketimpangan dalam akses pengetahuan di seluruh dunia.

Bandar Lampung,

Penulis

Ikhsan Abdullah

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR LAMPIRAN	iv
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	11
C. Tujuan Penelitian	12
D. Manfaat Penelitian	12
II. KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN, DAN HIPOTESIS	
A. Landasan Teori	14
1. Pembangunan Berkelanjutan	14
a. Konsep Pembangunan	14
b. Konsep Keberlanjutan	14
c. Konsep Pembangunan Berkelanjutan	15
d. Prinsip-prinsip Pembangunan Berkelanjutan	16
2. Sumber Daya Energi.....	18
a. Sumber Energi Berdasarkan Pemakaiannya	18
b. Sumber Energi Berdasarkan Ketersediaannya.....	19
c. Sumber Energi Berdasarkan Nilai Komersialnya.....	22
3. Teori Pertumbuhan Ekonomi	23
a. Teori Pertumbuhan Ekonomi Klasik	23
b. Teori Pertumbuhan Ekonomi Neoklasik	24
4. Industrialisasi.....	25
5. Konsep Eksternalitas	26
6. Emisi Gas Rumah Kaca.....	28
7. IPAT dan STIRPAT	30
B. Penelitian Terdahulu.....	33
C. Kerangka Pemikiran	35
D. Hipotesis	37
III. METODE PENELITIAN	
A. Jenis dan Sumber Data	38

B.	Definisi Operasional Variabel	39
C.	Spesifikasi Model Penelitian	41
D.	Metode Analisis Data	43
	1. Analisis Regresi Data Panel	43
	2. Estimasi Model Panel	44
	a. Pendekatan <i>Common Effect Model</i>	44
	b. Pendekatan <i>Fixed Effect Model</i>	45
	c. Pendekatan <i>Random Effect Model</i>	45
	3. Penentuan Model Estimasi	47
	a. Uji <i>Chow</i>	47
	b. Uji <i>Hausman</i>	47
	c. Uji <i>Lagrange Multiplier</i>	48
E.	Pengujian Statistik	49
	1. Uji Signifikansi Pengaruh Parsial	49
	2. Uji Signifikansi Pengaruh Simultan	50
	3. Uji Koefisien Determinasi	51
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	
A.	Hasil Penelitian	52
	1. Hasil Uji Kriteria Model Estimasi Data Panel	52
	a. Uji <i>Chow</i>	52
	b. Uji <i>Hausman</i>	53
	c. Uji <i>Lagrange Multiplier</i>	54
	2. Hasil Estimasi Data Panel	55
	3. Hasil Pengujian Hipotesis Statistik	57
	a. Uji Signifikansi Pengaruh Parsial	57
	b. Uji Signifikansi Pengaruh Simultan	59
	c. Interpretasi Koefisien Determinasi	60
B.	Pembahasan Hasil Penelitian	60
	1. Pengaruh Penggunaan Energi Terbarukan terhadap Emisi Karbon Dioksida di Negara-negara Industri Baru	60
	2. Pengaruh Efisiensi Penggunaan Energi terhadap Emisi Karbon Dioksida di Negara-negara Industri Baru	63
	3. Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi per Kapita terhadap Emisi Karbon Dioksida di Negara-negara Industri Baru	65
	4. Pengaruh Populasi Penduduk terhadap Emisi Karbon Dioksida di Negara-negara Industri Baru	67
V.	SIMPULAN DAN SARAN	
A.	Simpulan	70
B.	Saran	71

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rata-rata Peningkatan Konsumsi Energi dan Emisi Karbon Dioksida (2000-2016).....	9
2. Penelitian Terdahulu.....	33
3. Satuan dan Sumber Data.....	34
4. Satuan dan Simbol Variabel.....	34
5. Hasil Uji <i>Chow</i>	53
6. Hasil Uji <i>Hausman</i>	53
7. Hasil Uji <i>Lagrange Multiplier</i>	54
8. Hasil Penentuan Model Estimasi Data Panel.....	55
9. Hasil Estimasi Data Panel dengan <i>Random Effect Model</i>	56
10. Hasil Uji Signifikansi Parsial (Uji t).....	58
11. Hasil Uji Signifikansi Simultan (Uji F).....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Konsumsi Energi Dunia Berdasarkan Sektor 2015	2
2. Struktur Bauran Energi Dunia	3
3. Bauran Emisi Karbon Dioksida Global Berdasarkan Sektor	4
4. Anomali Suhu dan Emisi Gas Rumah Kaca Global	6
5. Hubungan antar Paradigma Pembangunan	17
6. Kerangka Pemikiran	35
7. Rata-rata Pertumbuhan Penggunaan Energi Terbarukan dan Emisi Karbon Dioksida.....	61
8. Rata-rata Pertumbuhan Efisiensi Energi dan Emisi Karbon Dioksida.....	63
9. Rata-rata Pertumbuhan Produk Domestik Bruto per Kapita dan Emisi Karbon Dioksida.....	65
10. Rata-rata Pertumbuhan Populasi Penduduk dan Emisi Karbon Dioksida.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Penelitian	L-1
2. Hasil Estimasi Data Panel dengan <i>Common Effect Model</i>	L-11
3. Hasil Estimasi Data Panel dengan <i>Fixed Effect Model</i>	L-12
4. Hasil Estimasi Data Panel dengan <i>Random Effect Model</i>	L-13
5. Hasil Uji <i>Redundant Fixed Effect</i>	L-14
6. Hasil Uji <i>Hausman Test</i>	L-15
7. Hasil Uji <i>Lagrange Multiplier</i>	L-16

I. PENDAHULUAN

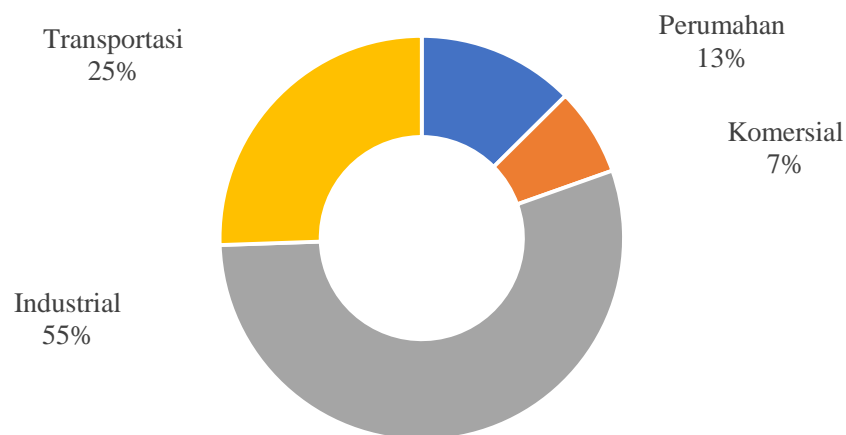
A. Latar Belakang

Pembangunan merupakan suatu proses multidimensional yang meliputi perubahan dalam struktur sosial, perubahan dalam sikap hidup masyarakat dan perubahan dalam kelembagaan (Mukhlis, 2009). Keberhasilan pembangunan ekonomi pada suatu negara dapat dilihat berdasarkan dari beberapa indikator. Indikator-indikator tersebut mencakup indikator sosial dan ekonomi. Indikator sosial pada pembangunan ekonomi mencakup tingkat kesejahteraan manusia yang dapat diukur dalam indeks pembangunan sumber daya manusia dan indeks mutu hidup. Indikator ekonomi yang paling sering dilihat adalah laju pertumbuhan ekonomi yang diukur dalam peningkatan produk nasional bruto (PDB).

Pertumbuhan ekonomi artinya perkembangan kegiatan dalam perekonomian yang mengakibatkan distribusi dan produksi barang dan jasa dalam masyarakat mengalami peningkatan, sehingga kemakmuran masyarakat akan meningkat. Dari satu periode ke periode lainnya, kemampuan suatu negara untuk dapat menghasilkan dan mendistribusikan barang dan jasa akan meningkat. Kemampuan yang meningkat ini disebabkan karena sarana distribusi dan faktor-faktor produksi mengalami pertambahan dalam jumlah dan kualitasnya (Sukirno, 2004). Pertumbuhan ekonomi yang semakin tinggi pada umumnya akan diikuti dengan pergeseran struktur ekonomi dari sektor pertanian ke sektor industri

(industrialisasi). Hal itu membuat berbagai negara khususnya negara-negara berkembang berusaha mendorong dan menstimulus agar sektor industri berkembang lebih baik dan dapat bersaing untuk dapat menuju ke tahapan perekonomian selanjutnya.

Dalam pertumbuhan ekonomi, industrialisasi memiliki peran penting karena industrialisasi merupakan implikasi dari kemajuan teknologi, peningkatan produksi, distribusi, dan spesialisasi (Purnomo dan Istiqomah, 2008). Di samping itu, sektor industri juga dapat mendorong penyerapan tenaga kerja dan berkontribusi dalam peningkatan kesejahteraan rakyat. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap kelangsungan dan pertumbuhan sektor industri adalah ketersediaan sumber daya energi.



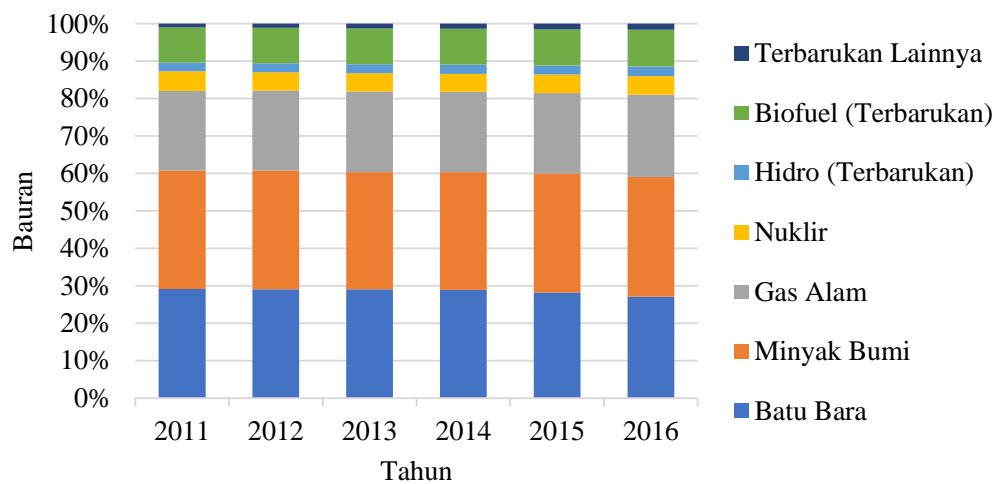
Sumber: International Energy Agency

Gambar 1. Konsumsi Energi Dunia Berdasarkan Sektor 2015

Laporan yang diterbitkan oleh *International Energy Agency* pada Gambar 1 menunjukkan bahwa sebagian besar penggunaan energi dunia didominasi pada sektor industri yakni dengan proporsi 55 persen, lebih besar dari sektor

transportasi yakni 25 persen, diikuti oleh sektor perumahan sebesar 13 persen dan sektor komersial sebesar 7 persen. Hal ini membuktikan bahwa energi memegang peran sangat penting dalam proses industrialisasi.

Di samping vitalnya peran energi sebagai sumber daya yang paling dibutuhkan dalam proses pembangunan terutama pada proses industrialisasi, ketersediaan energi juga sangat dibutuhkan sebagai pemenuh kebutuhan untuk meningkatkan kesejahteraan rakyat. Salah satu isu utama di sektor energi saat ini adalah efisiensi energi karena terkait dengan semakin meningkatnya harga energi, terbatasnya sumber energi dan dorongan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (*greenhouse gas emissions*). Penggunaan energi yang terus meningkat dalam proses industrialisasi dan sebagai pemenuh kebutuhan manusia secara tidak langsung akan berdampak pada lingkungan hidup. Hal itu karena peningkatan kadar gas karbon dioksida yang dihasilkan akibat dari pembakaran bahan bakar fosil.

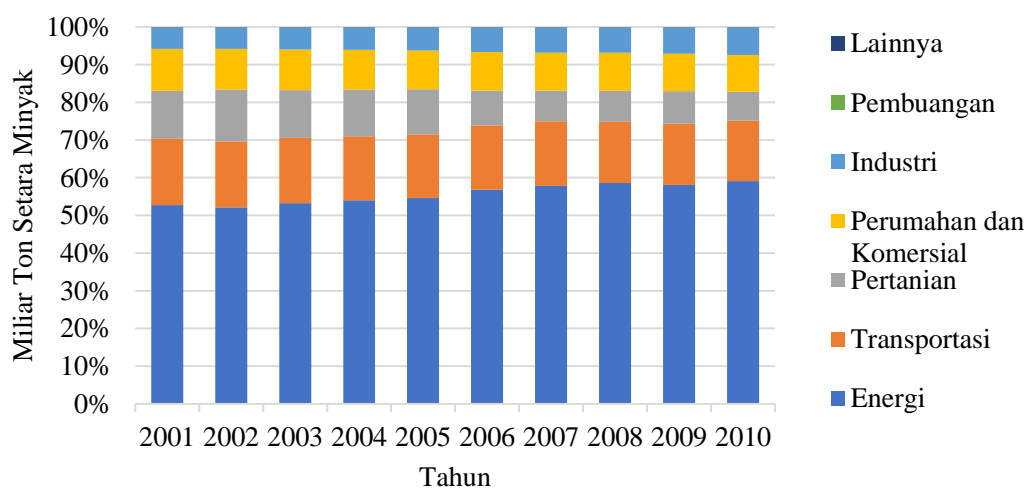


Sumber: *International Energy Agency*

Gambar 2. Struktur Bauran Energi Dunia

Laporan yang diterbitkan oleh *International Energy Agency* pada Gambar 2 memperlihatkan energi yang diproduksi dari berbagai sumber. Dari tahun 2011

sampai 2016 bauran energi dunia tidak menunjukkan perubahan secara signifikan. Tingginya ketergantungan dunia pada sumber energi konvensional mengakibatkan proporsi penggunaan energi fosil masih mendominasi total penggunaan energi dunia. Pada tahun 2016 proporsi penggunaan energi yang berasal dari batu bara sebesar 27 persen, minyak bumi sebesar 32 persen dan gas alam sebesar 22 persen, sehingga total proporsi penggunaan energi fosil (batu bara, minyak bumi dan gas alam) mencapai 82 persen dari total energi dunia. Sedangkan total proporsi energi yang berasal dari sumber terbarukan (tenaga hidro, tenaga laut, tenaga angin, tenaga surya, biomassa, geotermal dan lainnya) hanya sebesar 13 persen dari total penggunaan energi. Masalah global yang harus dihadapi sekarang adalah aktivitas manusia, terutama pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi dan gas alam), pertanian dan pembukaan lahan telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer yang berkontribusi terhadap peningkatan suhu bumi.



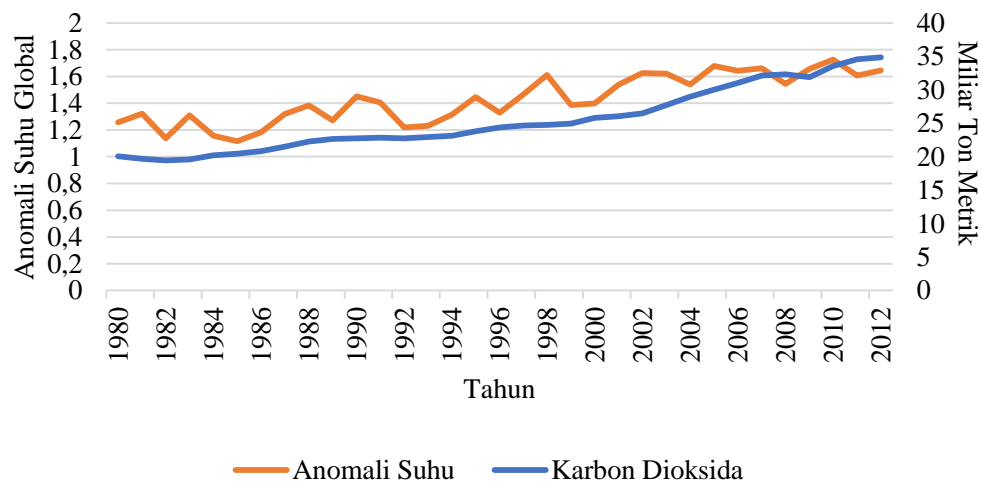
Sumber: Food and Agriculture Organization of the United Nations

Gambar 3. Bauran Emisi Karbon Dioksida Global Berdasarkan Sektor

Laporan yang diterbitkan oleh *Food and Agriculture Organization of the United Nations* pada Gambar 3 menunjukkan bauran emisi karbon dioksida global yang dihasilkan berdasarkan sektor. Sektor yang berperan besar terhadap peningkatan emisi karbon dioksida dunia adalah sektor produksi energi yaitu sebesar 52 persen dari total emisi pada tahun 2001. Tingginya kadar emisi karbon dioksida yang berasal dari produksi energi disebabkan oleh konversi sumber energi konvensional menjadi energi yang lain. Kondisi tersebut terus meningkat dan berlanjut kemudian pada tahun 2010 proporsi karbon dioksida yang dihasilkan oleh produksi energi sebesar 59 persen pada tahun 2010. Hal tersebut membuktikan bahwa kebutuhan akan sumber daya energi semakin meningkat setiap tahunnya.

Gas rumah kaca, umumnya dinyatakan dalam istilah setara karbon dioksida, termasuk sejumlah senyawa, masing-masing memiliki potensi pemanasan global (*Global Warming Potentials*) dan mengalami perubahan persentase dalam konsentrasi emisi sumber antropogenik (sumber pencemaran yang tidak alami timbul karena ada pengaruh atau campur tangan manusia atau aktivitas manusia). GWP membandingkan setiap kemampuan gas rumah kaca untuk menangkap panas di atmosfer terhadap gas-gas yang lainnya. Efek rumah kaca (*greenhouse effect*) adalah proses alami disebabkan oleh gas rumah kaca (*greenhouse gas*) yang menghangatkan permukaan bumi. Ketika energi matahari mencapai atmosfer bumi, sebagian darinya dipantulkan kembali ke angkasa dan sisanya diserap dan dipancarkan kembali oleh gas rumah kaca. Gas rumah kaca adalah gas-gas yang berada di atmosfer yang dapat menyerap dan memancarkan energi radiasi dalam rentang inframerah termal. Energi yang diserap menghangatkan atmosfer dan

permukaan bumi. Proses ini menjaga suhu bumi sekitar 33 derajat Celcius lebih hangat daripada seharusnya dan memungkinkan terjadinya kehidupan di bumi. Kandungan gas rumah kaca diantaranya adalah uap air, karbon dioksida, metana, dinitrogen oksida dan beberapa bahan kimia buatan seperti klorofluorokarbon (CFC).



Sumber: *Emissions Database for Global Atmospheric Research, National Aeronautics and Space Administration Goddard Institute for Space Studies*

Gambar 4. Anomali Suhu dan Emisi Gas Rumah Kaca Global

Bukti mendasar bahwa pemanasan global menyebabkan perubahan iklim adalah eratnya korelasi antara peningkatan tajam karbon dioksida dengan peningkatan suhu rata-rata sejak revolusi industri, terutama setelah munculnya pembangkit listrik tenaga batu bara modern (Kuhns dan Shaw, 2018). Laporan pada penelitian oleh *Joint Research Centre* pada Gambar 4 memperlihatkan struktur bauran emisi gas rumah kaca global dari tahun 1970 sampai 2012. Laporan tersebut menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca global cenderung meningkat setiap tahunnya. Karbon dioksida memiliki konsentrasi terbesar mencapai 75 persen dari total emisi gas rumah kaca dunia pada tahun 2012 diikuti oleh metana 19 persen

dan dinitrogen oksida 5 persen. Pada tahun 1970 kandungan gas karbon dioksida global berada di angka 15.985 juta ton metrik, kemudian pada tahun 2012 meningkat menjadi 34.871 juta ton metrik. Hal itu menunjukkan bahwa gas karbon dioksida global meningkat 218 persen dalam kurun waktu 42 tahun, yang berarti gas karbon dioksida meningkat sebesar 439 juta ton setara minyak pada setiap tahun dari tahun 1970 sampai 2012.

Peningkatan kadar emisi karbon dioksida di dunia yang berdampak pada perubahan iklim membuat para peneliti di bidang ekonomi dan lingkungan menaruh perhatian pada isu tersebut. Salah satu solusi yang sering menjadi rekomendasi para ekonom terkait dengan permasalahan ini adalah dengan memberlakukan pajak atau biaya karbon (*carbon pricing*). Biaya karbon adalah biaya yang dibebankan kepada para pencemar karbon dioksida sehingga diharapkan akan memicu pelaku pencemar karbon dioksida untuk beralih ke arah aktivitas yang menghasilkan karbon yang lebih rendah. Namun, banyak penelitian menemukan bahwa kebijakan biaya karbon tersebut tidak semuanya efektif di setiap negara.

Seiring perkembangan zaman dan kemajuan peradaban manusia, pemanasan global dan perubahan iklim semakin menjadi isu yang menjadi perhatian global. Banyak ilmuwan yang mencoba melakukan penelitian untuk menentukan formulasi yang paling sesuai terkait hubungan aktivitas antropogenik dengan dampak lingkungan. Salah satu formula yang sering menjadi acuan para ilmuwan dalam meneliti hubungan antropogenik dengan dampak lingkungan adalah STIRPAT (1994) oleh Dietz dan Rosa. Dalam penelitiannya yang berjudul *Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence and Technology*

(1994), Dietz dan Rosa memformulasikan ulang model IPAT, menjadi model stokastik untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing faktor dari kemakmuran, populasi dan teknologi.

Dalam penelitiannya yang berjudul *Population Growth and Global Carbon Dioxide Emissions* (2001) yang berbasis pada model STIRPAT, Shi menemukan bahwa populasi adalah kekuatan pendorong utama yang berkontribusi dalam peningkatan emisi karbon dioksida di antara ketiga faktor pendorong tersebut. Di sisi lain, faktor teknologi yang mengacu pada efisiensi energi akan mampu mengurangi peningkatan emisi karbon dioksida. Bahkan pada negara-negara berkembang, efisiensi energi dapat memberikan kontribusi lebih besar dalam mengurangi peningkatan emisi karbon dioksida. Menurutnya pengurangan emisi global akan menjadi tugas yang lebih menantang karena sebagian besar negara berkembang akan mengalami pertumbuhan ekonomi yang cepat dalam beberapa dekade mendatang.

Menurut Waugh (dalam Zhang *et al.*, 2017), saat ini terdapat sepuluh negara industri baru (NIC-10), yang dipilih dari negara-negara berkembang, yaitu Brasil, Cina, Indonesia, India, Meksiko, Malaysia, Filipina, Thailand, Turki, dan Afrika Selatan. Klasifikasi ini konsisten dengan ilmuwan dan ekonom politik lain, seperti Guillén (2003). Tingkat industrialisasi NIC lebih tinggi daripada negara-negara berkembang lainnya, tetapi sedikit kurang dari negara-negara maju. Karakteristik NIC adalah kemakmuran ekonomi pasar dan keterbukaan perdagangan, bersama dengan polusi lingkungan yang semakin serius dan konsumsi energi yang besar. NIC melakukan peran yang sama dalam rantai nilai global, dan memainkan peran

yang sangat berbeda dalam produksi global dan dalam rantai nilai global pada tahap pembangunan yang sama (Boddin dalam Zhang *et al.*, 2017).

Tabel 1. Rata-rata Peningkatan Konsumsi Energi dan Emisi Karbon Dioksida (2000-2016)

Negara	Konsumsi Energi (Juta Ton Metrik)	Emisi Karbon Dioksida (Juta Ton Metrik)
Brasil	6,343	9,638
Cina	121,764	342,307
Indonesia	4,352	14,179
India	24,770	78,806
Malaysia	2,983	7,830
Meksiko	3,632	9,132
Filipina	0,882	2,606
Afrika Selatan	1,262	4,746
Thailand	3,796	7,223
Turki	4,455	10,460

Sumber: *British Petroleum Statistical Review 2018 (Diolah)*

Laporan yang diterbitkan oleh *British Petroleum* pada Tabel 1 menunjukkan rata-rata pertumbuhan konsumsi energi dan emisi karbon dioksida di NIC-10 dari 2000 sampai 2016. Rata-rata peningkatan emisi karbon dioksida pada negara-negara tersebut hampir empat kali lipat dari rata-rata peningkatan konsumsi energi. Pada skala dunia, OECD memproyeksikan peningkatan penggunaan energi di dunia akan meningkat sebesar 70 persen, yang kemudian akan diikuti oleh peningkatan gas rumah kaca sebesar 50 persen pada tahun 2050 apabila tidak diterapkan inovasi kebijakan energi yang tepat (PwC dalam Fathinah dan Hartono, 2014). *International Energy Agency* mengidentifikasi bahwa efisiensi energi dan pergeseran struktur energi menjadi sumber energi terbarukan adalah dua perkembangan teknologi di dunia yang dapat diterapkan dalam upaya memitigasi emisi karbon dioksida dari penggunaan energi (PwC dalam Fathinah dan Hartono,

2014). Berdasarkan C2ES (*Center for Climate and Energy Solutions*), emisi gas rumah kaca di negara-negara berkembang kemungkinan akan melampaui emisi dari negara-negara maju dalam beberapa dekade ke depan, sehingga perlunya upaya negara-negara berkembang untuk mengurangi risiko perubahan iklim.

Berdasarkan pada publikasi yang diterbitkan oleh C2ES yang berjudul *Climate Change Mitigation in Developing Countries: Brazil, China, India, Mexico, South Africa, and Turkey*, berbagai upaya dilakukan oleh beberapa negara industri baru dalam memitigasi emisi karbon dioksida, di antaranya adalah Afrika Selatan, Brasil, Cina, India, Meksiko, dan Turki. Salah satu upaya mitigasi yang dilakukan Cina adalah dengan menekan pertumbuhan populasi sebagaimana permasalahan yang dihadapi oleh Cina adalah *overpopulation*. Brasil menerapkan penggunaan *biofuel* yang agresif dan program efisiensi energi yang bertujuan mengurangi impor energi dan diversifikasi pasokan energi. Sama halnya dengan Brasil, mitigasi yang telah dimulai oleh Turki adalah melalui kebijakan efisiensi energi. India mulai menerapkan perpindahan struktur energi konvensional menjadi energi dengan sumber terbarukan, begitu pun dengan Afrika Selatan. Sedangkan Meksiko mulai mengurangi laju deforestasi, beralih ke gas alam, dan menghemat energi, mengurangi pertumbuhan emisi tahunan selama dekade terakhir.

Hubungan antara konservasi energi, pengurangan emisi gas rumah kaca, dan pertumbuhan ekonomi telah menjadi fokus penelitian di bidang ekonomi lingkungan. Banyak literatur yang berfokus pada hubungan antara pertumbuhan ekonomi, konservasi energi, dan pengurangan emisi. Faktor utama yang menghambat penyelidikan ilmiah sosial ke dalam hubungan manusia dan

lingkungan adalah kurangnya teknik analisis yang tepat dan model yang memungkinkan untuk spesifikasi yang tepat dari bentuk fungsional hubungan antara kekuatan pendorong antropogenik dan dampak lingkungan (York *et al.*, 2003). Berbagai kesimpulan dan metode yang berbeda dalam menerjemahkan hubungan faktor antropogenik dan dampak lingkungan membuat banyak peneliti di seluruh dunia mulai menaruh perhatian pada hubungan dan cara kerja ilmu alam dan ilmu sosial tersebut untuk mencari metode dan solusinya (Stephan Scholz, 2006). Namun dengan banyaknya faktor-faktor dalam antropogenik, belum dapat diketahui secara pasti mana yang paling berkontribusi dalam mempengaruhi pemanasan global dan perubahan iklim di seluruh dunia.

Melihat dari kajian peneliti sebelumnya dan studi empiris terkait topik mengenai hubungan antropogenik terutama pada aspek penggunaan energi terhadap peningkatan emisi karbon dioksida menarik penulis untuk menguji hipotesis pada penelitian dengan judul *Peran Penggunaan Energi Terbarukan dan Efisiensi Energi terhadap Emisi Karbon Dioksida di Negara-Negara Industri Baru*.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah yang akan diangkat pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah pengaruh penggunaan energi terbarukan terhadap emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru?
2. Bagaimanakah pengaruh efisiensi energi terhadap emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru?

3. Bagaimanakah pengaruh produk domestik bruto per kapita terhadap emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru?
4. Bagaimanakah pengaruh populasi penduduk terhadap emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang penelitian dan rumusan masalah, penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut.

1. Untuk menganalisis dan mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan energi terbarukan terhadap emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.
2. Untuk menganalisis dan mengetahui bagaimana pengaruh efisiensi energi terhadap emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.
3. Untuk menganalisis dan mengetahui bagaimana pengaruh produk domestik bruto per kapita terhadap emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.
4. Untuk menganalisis dan mengetahui bagaimana pengaruh populasi penduduk terhadap emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi pengambil kebijakan sebagai pertimbangan dalam menentukan kebijakan ekonomi terkait penggunaan energi agar lebih memperhatikan aspek lingkungan hidup.

2. Bagi masyarakat sebagai referensi untuk dapat mengetahui dan menambah wawasan tentang bagaimanakah hubungan antara penggunaan energi dan kualitas lingkungan hidup.
3. Bagi peneliti sebagai referensi pada penelitian selanjutnya.
4. Bagi penulis sebagai salah satu bentuk implementasi ilmu yang telah dipelajari selama proses perkuliahan dan sebagai pelaksanaan dari salah satu Tri Dharma Perguruan Tinggi.

II. KAJIAN PUSTAKA, KERANGKA PEMIKIRAN DAN HIPOTESIS

A. Landasan Teori

1. Pembangunan Berkelanjutan

a. Konsep Pembangunan (*Development*)

Society for International Development mendefinisikan pembangunan sebagai proses yang menciptakan pertumbuhan, kemajuan, perubahan positif atau penambahan komponen fisik, ekonomi, lingkungan, sosial dan demografis. Pembangunan juga dapat didefinisikan sebagai proses multidimensi yang melibatkan perubahan besar dalam struktur sosial, sikap, dan institusi, serta pertumbuhan ekonomi, pengurangan ketidaksetaraan, dan pemberantasan kemiskinan absolut (Todaro dan Smith, 2006). Pembangunan dapat dipahami sebagai kondisi sosial dalam suatu negara, di mana kebutuhan penduduknya dipenuhi oleh penggunaan sumber daya dan sistem yang rasional dan berkelanjutan (Reyes dalam Mensah, 2019). Sehingga tujuan pembangunan adalah peningkatan kualitas hidup penduduk, penciptaan atau perluasan pendapatan dan kesempatan kerja.

b. Konsep Keberlanjutan (*Sustainability*)

Secara harfiah, keberlanjutan berarti kemampuan untuk mempertahankan beberapa entitas, hasil atau proses dari waktu ke waktu (Basiago, 1999 dalam

Mensah, 2019). Khalili (2011) menjelaskan bahwa keberlanjutan pada intinya, berarti mempertahankan ekonomi berkelanjutan yang dapat mencegah likuidasi modal alam (sumber daya alam). Sehingga keberlanjutan berarti memenuhi kebutuhan kita sendiri tanpa mengurangi kemampuan generasi masa depan untuk memenuhi kebutuhan mereka sendiri. Selain sumber daya alam, kita juga membutuhkan sumber daya sosial dan ekonomi. Dalam kondisi tersebut, keberlanjutan bukan hanya secara lingkungan tetapi juga secara keadilan sosial dan pembangunan ekonomi.

c. Konsep Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development*)

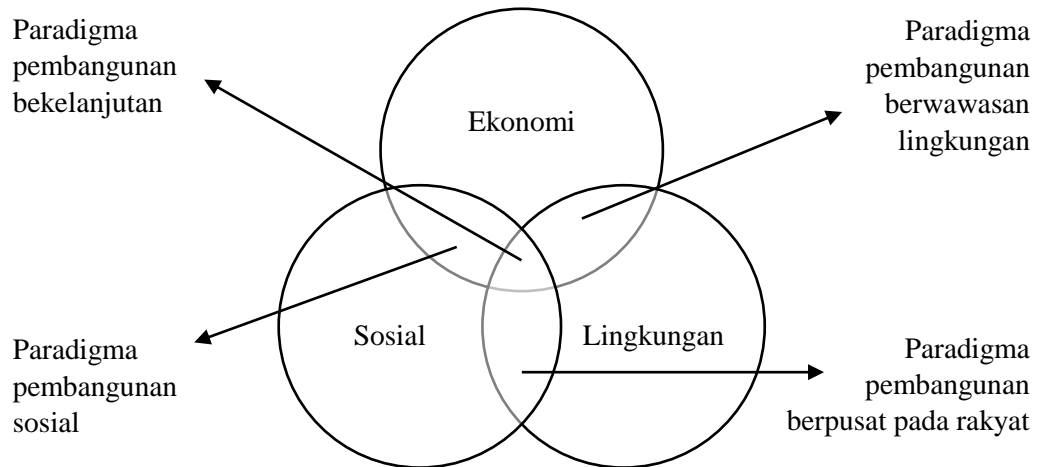
Pembangunan berkelanjutan telah menjadi paradigma pembangunan di mana-mana serta menjadi slogan untuk badan-badan internasional, jargon perencana pembangunan, tema konferensi, dan makalah akademis, serta slogan aktivis pembangunan dan lingkungan (Ukaga et al., dalam Mensah, 2019). Pembangunan berkelanjutan merupakan prinsip pengelolaan untuk memenuhi tujuan pembangunan manusia sekaligus mempertahankan kemampuan sistem alam untuk menyediakan sumber daya alam dan jasa ekosistem berdasarkan pada mana ekonomi dan masyarakat bergantung. Tujuan dari pembangunan berkelanjutan adalah keadaan masyarakat di mana kondisi kehidupan dan sumber daya digunakan untuk terus memenuhi kebutuhan manusia tanpa merusak integritas dan stabilitas sistem alami. Pembangunan berkelanjutan adalah visi yang terstruktur di dalam hubungan antara fenomena ekonomi, ekologi, dan sosial. Berbagai organisasi non-pemerintah maupun pemerintah telah menganutnya sebagai paradigma pembangunan baru dan telah mengidentifikasi berbagai

pendorong, platform solusi, dan instrumen kepemimpinan untuk keberlanjutan (Khalili, 2011).

Disebutkan dalam Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, pembangunan berkelanjutan adalah upaya sadar dan terencana yang memadukan aspek lingkungan hidup, sosial, dan ekonomi ke dalam strategi pembangunan untuk menjamin keutuhan lingkungan hidup serta keselamatan, kemampuan, kesejahteraan, dan mutu hidup generasi masa kini dan generasi masa depan. Paradigma pembangunan yang semula hanya berfokus pada pembangunan dari sisi ekonomi kemudian berubah menjadi pembangunan yang lebih berwawasan lingkungan dan sosial.

d. Prinsip-prinsip Pembangunan Berkelanjutan

Menurut Hikmat (2000), terdapat tiga domain atau dimensi dalam pembangunan, yakni domain ekonomi (*economic sustainability*), domain sosial (*social sustainability*), dan domain ekologi/lingkungan (*environmental sustainability*). Himpunan bagian yang saling beririsan antara domain tersebut menghasilkan tiga paradigma pembangunan, yaitu, pembangunan sosial (*social development*), pembangunan berwawasan lingkungan (*environmental development*), dan pembangunan yang berpusatkan pada rakyat (*people-centered development*). Integrasi antara ketiga himpunan bagian disebut sebagai paradigma pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*). Pembangunan dapat disebut berkelanjutan apabila memenuhi kriteria ekonomis, bermanfaat secara sosial, dan menjaga kelestarian lingkungan hidup (Mukhlis, 2009).



Sumber: Hikmat (2000)

Gambar 5. Hubungan antar Paradigma Pembangunan

Barile *et al.* (2018) menjelaskan ketiga domain atau dimensi dalam pembangunan berkelanjutan adalah sebagai berikut.

- Keberlanjutan ekonomi (*economic sustainability*), sebagai kemampuan untuk menggunakan sumber daya yang tersedia secara efisien untuk memastikan keuntungan dari waktu ke waktu.
- Keberlanjutan sosial (*social sustainability*), sebagai kemampuan untuk memastikan kondisi stabilitas, demokrasi, partisipasi, dan keadilan, serta kemungkinan untuk menjamin bahwa kondisi kesejahteraan manusia (keselamatan, kesehatan, pendidikan) didistribusikan secara merata di antara kelas dan gender.
- Keberlanjutan lingkungan (*environmental sustainability*), sebagai kemampuan untuk menjaga kualitas dan reproduktivitas sumber daya alam.

Menurut Surya T. Djajadiningrat, agar proses pembangunan dapat berkelanjutan harus bertumpu pada beberapa faktor, pertama, kondisi sumber daya alam, agar

dapat menopang proses pembangunan secara berkelanjutan perlu memiliki kemampuan agar dapat berfungsi secara berkesinambungan.

2. Sumber Daya Energi

Energi adalah suatu kemampuan untuk melakukan pekerjaan dan diperlukan dalam proses kehidupan. Sumber daya energi adalah sesuatu yang dapat menghasilkan panas, daya hidup, gerakan, atau listrik. Materi yang menyimpan energi disebut bahan bakar. Sumber daya energi adalah sumber daya alam yang diolah oleh manusia sehingga dapat digunakan bagi pemenuhan kebutuhan energi. Sumber daya energi memegang peran yang sangat penting dalam proses pembangunan suatu negara. Sumber daya energi sangat diperlukan dalam proses produksi skala besar, penggunaan teknologi dalam industri, dan penggunaan teknologi dalam bidang pertanian serta transportasi.

a. Sumber Energi Berdasarkan Pemakaiannya

Berdasarkan pemakaiannya, sumber daya energi dapat diklasifikasikan menjadi sumber daya primer dan sumber daya sekunder.

1. Sumber Energi Primer

Sumber daya primer adalah sumber daya energi yang dapat digunakan secara langsung untuk penggunaan akhir tanpa harus dikonversi ke dalam bentuk energi lain. Sumber daya energi primer terbaik adalah yang dapat digunakan secara langsung dan juga muncul di lingkungan alam adalah batu bara, minyak bumi, gas alam, kayu, bahan bakar nuklir, matahari, angin, gelombang lautan, danau, sungai, dan panas bumi (Khare *et al.*, 2019).

2. Sumber Energi Sekunder

Sedangkan sumber daya sekunder adalah sumber daya energi yang penggunaannya memerlukan konversi substansial dari sumber daya energi primer. Sumber daya sekunder meliputi bahan bakar yang berasal dari pengolahan minyak mentah, energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik, yaitu instalasi yang dapat mengubah energi primer menjadi energi listrik yang diperoleh dari konversi energi mekanik (pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga uap, pembangkit listrik tenaga gas).

b. Sumber Energi Berdasarkan Ketersediaannya

Berdasarkan ketersediaannya atau waktu yang diperlukan dalam regenerasinya, sumber daya energi diklasifikasikan menjadi sumber daya terbarukan dan sumber daya tidak terbarukan.

1. Sumber Energi Tidak Terbarukan (*Non-Renewable*)

Sumber daya energi tidak terbarukan atau dapat disebut sumber daya energi konvensional adalah sumber daya energi yang dapat habis apabila secara terus menerus digunakan. Hal itu karena masa regenerasinya memerlukan proses dan waktu yang sangat panjang bahkan ribuan tahun jika dibanding dengan penggunaannya dalam kehidupan manusia. Sehingga perlu dilestarikan sebelum habis. Sumber daya energi fosil merupakan sumber daya energi tidak terbarukan yang mengandung hidrokarbon dan berasal dari proses alami dari sisa-sisa dekomposisi tanaman dan hewan. Terdapat tiga jenis utama bahan bakar fosil yakni:

- Batu bara, adalah batuan sedimen hitam atau kecoklatan-hitam yang mudah terbakar dengan jumlah karbon dan hidrokarbon yang tinggi (EIA, 2019). Sebagian besar unsur batu bara adalah karbon dengan jumlah unsur lain yang bervariasi. Laporan World Energy Resource 2016 mengatakan bahwa batu bara adalah sumber energi terpenting kedua, yang mencakup 30% dari konsumsi energi primer global. Batu bara keras dan lignit (batu bara coklat) adalah sumber energi terkemuka dalam pembangkit listrik dengan 40% daya yang dihasilkan secara global.
- Minyak bumi, adalah adalah campuran hidrokarbon yang terbentuk dari tumbuhan dan hewan yang hidup jutaan tahun yang lalu (EIA, 2019). World Energy Resource 2016 mengatakan bahwa minyak bumi masih menjadi bahan bakar yang paling banyak dikonsumsi di dunia, menyumbang 32,9% dari total konsumsi energi global.
- Gas alam, adalah sumber energi fosil yang terbentuk jauh di bawah permukaan bumi. Komponen gas alam terbesar adalah metana (EIA, 2019). World Energy Resource 2016 mengatakan bahwa gas alam adalah satu-satunya bahan bakar fosil yang diperkirakan akan tumbuh dan memiliki potensi untuk memainkan peran penting dalam transisi dunia menuju masa depan energi yang lebih bersih, lebih terjangkau, dan aman.
- Uranium, adalah bahan bakar yang paling banyak digunakan oleh pembangkit nuklir untuk fisi nuklir. Uranium dianggap sebagai sumber energi yang tidak terbarukan, meskipun merupakan logam yang umum ditemukan pada batuan di seluruh dunia (EIA, 2019).

Panas dari pembakaran bahan bakar fosil digunakan baik secara langsung atau dikonversi menjadi energi mekanik untuk kendaraan, proses industri, atau pembangkit tenaga listrik. Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang sampai saat ini paling banyak dikonsumsi dari sumber energi primer dunia. Pada tahun 2016, 82% dari kebutuhan energi dunia dipenuhi dari sumber-sumber fosil (*International Energy Agency*).

Peningkatan konsumsi energi fosil yang tidak sebanding dengan regenerasinya dan semakin terbatasnya jumlah energi fosil yang tersedia dapat mengakibatkan harga bahan bakar fosil yang semakin tinggi.

2. Sumber Energi Terbarukan (*Renewable*)

Sumber energi terbarukan atau dapat disebut sebagai energi alternatif adalah sumber energi yang masa regenerasinya memerlukan siklus yang cepat sehingga akan tersedia secara terus menerus dalam waktu sangat lama. Keuntungan utama menggunakan sumber daya energi terbarukan adalah ketersediaannya sepanjang tahun. Dengan investasi satu kali, kita dapat menarik energi selama beberapa dekade tanpa mempengaruhi lingkungan (Alrikabi, 2014). Sumber daya energi terbarukan meliputi (Tromly, 2001):

- Energi matahari (*solar energy*), yang dapat diperoleh dengan cara menangkap radiasi dari sinar matahari lalu mengubahnya menjadi panas atau listrik.
- Energi panas bumi (*geothermal*), yang berasal dari energi panas yang dihasilkan dan disimpan di Bumi. Energi panas bumi terletak di bagian kerak bumi dan dari peluruhan bahan radioaktif.

- Energi air (*hydropower*), yang berasal dari aliran air mengalir yang di bendung sehingga menghasilkan aliran yang lebih kuat yang kemudian dikonversi ke dalam energi listrik.
- Biomasa (*biomass*), yang dapat diperoleh dari bahan organik yang berasal dari tumbuhan dan organisme yang hidup dan dikonversi melalui proses kimia sehingga menghasilkan bahan bakar hayati.
- Energi angin (*wind power*), yang berasal dari aliran udara yang ditangkap dan digunakan untuk menjalankan turbin angin yang kemudian dikonversi ke dalam bentuk energi listrik.
- Energi kelautan (*tidal power*), yang diperoleh dari panas dan gerak (gelombang) laut yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik.

c. Sumber Energi Berdasarkan Nilai Komersial

Sedangkan berdasarkan nilai komersialnya, sumber daya energi diklasifikasikan menjadi sumber daya energi komersial dan sumber daya energi non komersial.

1. Sumber Energi Komersial

Sumber energi komersial adalah sumber energi yang tersedia di pasar pada tingkat harga tertentu. Bentuk sumber energi komersial yang paling komersial adalah listrik, batu bara, dan produk minyak bumi canggih (Khare *et al.*, 2019).

2. Sumber Energi Non Komersial

Sumber energi non komersial, termasuk bahan bakar seperti kayu gelondongan, kotoran ternak, dan limbah pertanian dan perkotaan, dikumpulkan secara konvensional dan tidak dibeli dengan harga yang digunakan terutama di daerah

pedesaan (Khare *et al.*, 2019). Sumber energi non komersial juga disebut sebagai bahan bakar tradisional dan sering diabaikan dalam penghitungan energi.

3. Teori Pertumbuhan Ekonomi

Pertumbuhan ekonomi dalam suatu negara dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu negara dalam meningkatkan produksi barang atau jasa. Pertumbuhan ekonomi adalah suatu indikator penting yang dalam pembangunan. Pertumbuhan ekonomi memperlihatkan bagaimana aktivitas ekonomi dapat meningkatkan jumlah dan nilai barang atau jasa yang dapat diproduksi suatu negara pada periode tertentu. Pada aktivitas ekonomi, untuk menghasilkan *output* berupa barang atau jasa, memerlukan *input* yang berupa faktor produksi seperti tenaga kerja, yang mana diperoleh dari aliran pasar faktor produksi, sehingga peningkatan jumlah dan nilai produk tersebut akan berdampak pada peningkatan kemakmuran masyarakat.

Secara umum, indikator yang sering digunakan untuk mengukur pertumbuhan ekonomi adalah PDB (Produk Domestik Bruto) dimana berupa nilai akhir dari total barang dan jasa yang dihasilkan pada periode waktu tertentu. Apabila terjadi peningkatan PDB (nilai total barang dan jasa yang diproduksi) pada suatu negara dari periode sebelumnya, maka terjadi pertumbuhan ekonomi pada negara tersebut.

a. Teori Pertumbuhan Ekonomi Klasik

Ekonomi klasik adalah pemikiran ekonomi yang berkembang pada akhir abad ke-18 dan awal hingga pertengahan abad ke-19. Salah satu pemikir ekonomi klasik adalah Adam Smith, yang pada saat itu melakukan kritik pada teori aliran

merkantilis. Adam Smith mengemukakan pernyataan fundamental pada pemikiran ekonomi klasik yakni bahwa kejayaan negara mana pun bukanlah ditentukan oleh banyaknya emas pada negara tersebut, melainkan oleh pendapatan nasionalnya. Hal tersebut bertolak belakang dengan aliran merkantilis yang mengklaim bahwa kejayaan negara berasal dari banyaknya emas pada negara tersebut.

Pada aliran klasik, produksi melibatkan faktor sumber daya alam, sumber daya manusia, dan sumber daya modal. Sumber daya alam digambarkan sebagai sumber daya yang dapat habis, sehingga dalam prosesnya apabila sudah digunakan secara maksimal, maka produksinya akan berhenti. Sumber daya manusia memiliki peran sebagai faktor produksi untuk menghasilkan produk. Sedang sumber daya modal akan berpengaruh langsung dalam menghasilkan produk secara keseluruhan.

b. Teori Pertumbuhan Ekonomi Neoklasik

Model Solow-Swan adalah model pertumbuhan ekonomi jangka panjang yang ditetapkan dalam kerangka ekonomi neoklasik. Model yang dikemukakan oleh Solow dan Swan tersebut memperlihatkan bahwa dalam proses produksi melibatkan faktor modal, tenaga kerja, dan produktivitas tenaga kerja. Model tersebut digambarkan dalam persamaan berikut.

$$Y = A(t)f(K, L) \quad (2.1)$$

Dimana:

Y : Produksi (*output*)
 A : Produktivitas tenaga kerja (*productivity of labor*)
 K : Modal (*capital*)
 L : Tenaga kerja (*labor*)
 t : Periode

Solow dalam jurnalnya yang berjudul *A Contribution to the Theory of Economic Growth* mengatakan bahwa produktivitas tenaga kerja akan tumbuh dari waktu ke waktu. Solow juga memaksudkan bahwa cara kerja faktor produktivitas tenaga kerja sama dengan faktor perubahan teknologi, sehingga faktor produktivitas tenaga kerja dapat merepresentasikan faktor perubahan teknologi yang mana dapat memultiplikasi fungsi produksi dengan faktor skala yang meningkat.

4. Industrialisasi

Revolusi industri berawal dari Britania Raya yang kemudian meluas ke Eropa, Amerika, Jepang, dan ke seluruh dunia. Revolusi industri mengakibatkan perubahan yang sangat signifikan di berbagai bidang. manufaktur, pertanian, transportasi pertambangan, dan teknologi serta memiliki dampak yang mendalam terhadap kondisi sosial, ekonomi, dan budaya di dunia. Revolusi industri membuat perubahan yang komprehensif dalam sejarah dunia yang mempengaruhi segala aspek kehidupan manusia. Revolusi industri berkontribusi meningkatkan pendapatan rata-rata suatu negara dan merubah cara pandang serta cara kerja manusia dalam kegiatan ekonomi.

Pertumbuhan ekonomi yang semakin tinggi membuat perubahan struktur ekonomi yang semula berbasis pada sektor agraris kemudian bergeser pada sektor industri dan jasa. Industrialisasi tersebut muncul sebagai solusi karena dapat menyerap tenaga kerja sehingga meningkatkan pendapatan rata-rata masyarakat dan sebagai pemenuhan kebutuhan masyarakat. Di samping dampak positif yang diberikan, industrialisasi juga memicu pembukaan lahan (deforestasi), baik untuk kebutuhan faktor produksi atau peralihan tata guna lahan, yang dapat memicu peningkatan

ancaman bencana alam, seperti banjir, erosi tanah, kekeringan, abrasi dan lain sebagainya. Selain itu, pembuangan yang dihasilkan dalam proses industri yang dapat mencemari lingkungan terlebih apabila tidak diberikan kebijakan terkait eksternalitas oleh pemerintah.

Menurut Ahossane (2001), pengembangan industri yang berkelanjutan secara ekologis (*ecologically sustainable industrial development*) adalah salah satu syarat utama konsep pembangunan berkelanjutan. Menurut Ahossane sebagian besar kegiatan industri merupakan kekuatan pendorong (*driving forces*) di belakang pembangunan ekonomi dan pada saat yang sama, kegiatan industri menghasilkan sekitar sepertiga dari emisi gas rumah kaca global dan bagian penting dari limbah berbahaya.

Ahossane juga mengatakan bahwa konsep pengembangan industri yang berkelanjutan secara ekologis ini didasarkan pada dua prinsip penting yakni: hemat sumber daya dan pengurangan emisi di sumbernya, serta tiga pendekatan dasar yakni: optimalisasi proses yang ada dengan bertindak berdasarkan sumber daya dan peralatan; memodifikasi proses produksi (*manufacturing*) dengan memperhatikan daur ulang limbah, limbah cair, dan daur ulang limbah; dan perubahan proses produksi yang didasari oleh kepedulian terhadap daya saing dan perlindungan lingkungan.

5. Eksternalitas

Rosen (1988) dalam Mukhlis (2009) menyatakan bahwa eksternalitas terjadi ketika aktivitas suatu satu kesatuan mempengaruhi kesejahteraan kesatuan yang lain yang terjadi di luar mekanisme pasar (*non-market mechanism*). Eksternalitas

dapat didefinisikan sebagai biaya atau manfaat yang mana adalah hasil dari kegiatan ekonomi yang bukan dialokasikan di sistem pasar (bukan produk yang dialirkan ke pasar). Ini berarti bahwa pembuat eksternalitas tidak memiliki insentif untuk mempertimbangkan biaya eksternal atau manfaat yang dihasilkan. Hal ini sama persis dengan definisi yang diberikan sebelumnya, bahwa eksternalitas adalah biaya ekonomi atau manfaat yang merupakan produk sampingan dari kegiatan ekonomi tetapi yang dialokasikan di luar sistem pasar.

Verhoef (1999) dalam Mukhlis (2009) mengatakan bahwa eksternalitas terjadi karena adanya perbedaan antara *marginal social* dan *private cost* suatu barang. Dalam kasus kerusakan lingkungan di atas menimbulkan *negative externality* karena tidak adanya unsur biaya tambahan dalam bentuk *social cost* yang masuk dalam komponen harga barang akhir. Oleh karena itu, diperlukan intervensi pemerintah dalam bentuk penetapan pajak atau subsidi guna mengoreksi dampak-dampak dari eksternalitas. Mukhlis (2009) juga mengidentifikasi ciri-ciri eksternalitas secara eksplisit yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Eksternalitas dapat dihasilkan oleh produsen maupun oleh konsumen.
- Peristiwa yang terjadi di luar mekanisme harga pasar.
- Terdapat suatu hubungan timbal balik dalam aspek eksternalitas.
- Eksternalitas dapat bersifat positif maupun negatif.
- Peristiwa yang terjadi tidak ada hubungan antara satu pihak dengan pihak yang lain (*interdependency in action*).
- Peristiwa dapat terjadi secara individu maupun kelembagaan.

Dilihat dari dampaknya, terdapat dua macam eksternalitas, yakni eksternalitas negatif dan eksternalitas positif. Eksternalitas negatif adalah biaya yang dibebankan pada pihak ketiga di luar mekanisme pasar. Saat terjadinya eksternalitas negatif, harga barang atau jasa tidak menggambarkan biaya sosial tambahan (*marginal social cost*) secara sempurna pada sumber daya yang dialokasikan dalam produksi (Mukhlis, 2009). Baik produsen atau konsumen suatu produk tidak memperhatikan biaya-biaya pada pihak ketiga ini. Sedangkan Eksternalitas positif adalah keuntungan yang diterima pihak ketiga selain produsen dan konsumen suatu produk yang tidak direfleksikan dalam satuan harga. Saat terjadinya eksternalitas positif, maka harga tidak sama dengan keuntungan sosial tambahan (*marginal social benefit*) dari barang dan jasa yang ada (Mukhlis, 2009).

Melihat eksternalitas dari sudut pandang lingkungan hidup, eksternalitas negatif yang dimunculkan oleh pembangunan ekonomi terhadap lingkungan hidup adalah hal yang harus ditanggung bahkan sebelum eksternalitas tersebut sampai ke manusia. Terlihat begitu jelas bahwa eksternalitas negatif yang terjadi sangat signifikan dalam mempengaruhi lingkungan hidup. Tidak hanya manusia, eksternalitas terhadap lingkungan seperti pencemaran baik itu air, tanah, maupun udara, memberikan dampak pada unsur kehidupan lainnya, seperti hewan dan tumbuhan.

6. Gas Rumah Kaca

Sebagaimana tertuang dalam jurnal *Greenhouse Gases and Global Warming* oleh Wallington *et al.* (2009) bahwa sejarah pemahaman ilmiah tentang efek rumah

kaca dapat ditelusuri kembali ke Jean Baptiste-Joseph de Fourier pada tahun 1827. Fourier menyarankan bahwa atmosfer memungkinkan radiasi panjang gelombang pendek dari matahari untuk mencapai dan menghangatkan permukaan bumi tetapi menghalangi emisi radiasi panjang gelombang yang lebih panjang yang akan mendinginkan bumi. Fourier membandingkan efek ini dengan kaca di rumah kaca (karenanya disebut sebagai efek rumah kaca) dan meramalkan bahwa iklim dapat dipengaruhi oleh aktivitas manusia. Pada tahun 1859 John Tyndall mengukur kemampuan perangkap infra-merah (panas) uap air, karbon dioksida, dan metana dan menyarankan bahwa zaman es disebabkan oleh variasi tingkat atmosfer dari gas-gas tersebut.

Gas rumah kaca tersusun dari berbagai senyawa kimia. Tiga gas rumah kaca berumur panjang yang paling kuat di atmosfer adalah karbon dioksida, metana, dan dinitrogen oksida. Selain gas-gas tersebut perlu diperhatikan bahwa uap air adalah satu-satunya gas rumah kaca paling kuat di atmosfer. Uap air memiliki efek kira-kira dua kali lipat dari gas rumah kaca kedua yang paling kuat (karbon dioksida). Aktivitas manusia tidak memiliki dampak langsung yang signifikan terhadap tingkat uap air di atmosfer, namun, sebagai akibat dari pemanasan global, ada kemungkinan bahwa aktivitas manusia akan memiliki dampak tidak langsung yang signifikan pada tingkat uap air di atmosfer.

Karbon dioksida (CO_2) merupakan senyawa yang dihasilkan oleh pembakaran dalam proses produksi dan konversi energi, yang mana berupa penggunaan bahan bakar fosil. Senyawa ini adalah senyawa yang paling berkontribusi dalam pemanasan suhu bumi dibandingkan dengan senyawa lainnya yang terkandung dalam gas rumah kaca. Konsekuensi yang harus diambil dari peningkatan

aktivitas industri, pembukaan lahan, dan transportasi (mobilitas penduduk) yakni membuat konsentrasi karbon dioksida di gas rumah kaca semakin meningkat yang dapat mengakibatkan pemanasan suhu bumi.

Pemanasan suhu bumi yang disebabkan karena tingginya kadar karbon dioksida memiliki dampak yang mengancam kehidupan manusia dalam jangka panjang. Permasalahan tersebut dianggap sebagai permasalahan sangat serius yang akan dihadapi oleh seluruh dunia. Pemanasan global akan secara tidak langsung berdampak pada kondisi ekonomi, ketahanan, dan stabilitas suatu negara pada jangka panjang. Dampak pemanasan suhu bumi meliputi naiknya permukaan laut, perubahan kondisi habitat kehidupan, meningkatkan potensi bencana alam serta mempengaruhi perubahan iklim yang kompleks.

7. IPAT dan STIRPAT

Identitas IPAT adalah formula yang diakui secara luas untuk menganalisis efek aktivitas manusia terhadap lingkungan (Stern *et al.*, Harrison dan Pearce dalam York *et al.*, 2003). Teori IPAT pertama kali dirumuskan oleh Ehrlich dan Holdren pada tahun 1972 untuk memahami faktor pendorong pada dampak lingkungan. IPAT muncul saat debat Ehrlich & Holdren dengan Commoner pada awal 1970-an tentang prinsip kekuatan pendorong pada dampak lingkungan antropogenik. Commoner berpendapat bahwa dampak lingkungan di Amerika Serikat disebabkan terutama oleh perubahan teknologi produksi setelah Perang Dunia II dan melihat keterkaitannya pada kondisi lingkungan Amerika Serikat yang memburuk pada saat itu. Ehrlich dan Holdren berpendapat bahwa ketiga faktor (*population, affluence, technology*) itu penting dan ditekankan khususnya peran

pertumbuhan populasi manusia, tetapi lebih fokus pada skala yang lebih luas, tidak spesifik dalam ruang dan waktu.

Identitas IPAT tersebut menetapkan bahwa dampak lingkungan adalah produk multiplikasi dari tiga kekuatan pendorong utama yakni populasi, kemakmuran (biasa dioperasionalkan sebagai produk domestik bruto per kapita) dan teknologi.

$$I = P \times A \times T \quad (2.2)$$

$$I = P \times \frac{GDP}{P} \times \frac{I}{GDP} \quad (2.3)$$

Kekuatan utama identitas IPAT adalah bahwa spesifikasi kekuatan pendorong utama yang melatarbelakangi perubahan lingkungan dan mengidentifikasi secara tepat hubungan antara kekuatan pendorong dan dampak tersebut. Spesifikasi tersebut memperjelas bahwa semua kekuatan pendorong (P, A dan T) diasumsikan tidak mempengaruhi satu sama lain karena perubahan dalam satu faktor dikalikan dengan faktor-faktor lainnya. Implikasi penting dari spesifikasi ini adalah tidak ada satu faktor pun yang dapat bertanggung jawab secara tunggal atas dampak lingkungan. Misalnya jika di negara tertentu P dan T tetap konstan selama periode tertentu namun A meningkat, tidak dibenarkan untuk berpendapat bahwa dampak disebabkan oleh A saja, walaupun jika P dan T tetap tidak berubah memultiplikasi efek perubahan dalam A (York *et al.*, 2003).

Salah satu kelemahan identitas IPAT yakni tidak dapat menjelaskan efek non-monotonik atau non-proporsional pada faktor kekuatan pendorong dan tidak memberikan gambaran mengenai faktor yang memiliki pengaruh dominan. Oleh karena itu untuk mengatasi keterbatasan ini, Dietz dan Rosa (1994) memformulasikan ulang IPAT menjadi model stokastik, kemudian menyebutnya

sebagai STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology*). Model STIRPAT telah berhasil digunakan untuk menganalisis efek dari kekuatan pendorong pada berbagai dampak lingkungan. Formulasi persamaan tersebut adalah sebagai berikut.

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (2.4)$$

Tidak seperti IPAT, model STIRPAT bukanlah persamaan akuntansi, melainkan model stokastik yang dapat digunakan untuk menguji hipotesis secara empiris (York *et al.*, 2003). Spesifikasi model STIRPAT adalah sebagai berikut.

$$\log I = a + b(\log P) + c(\log A) + d(\log T) + e \quad (2.5)$$

Akan tetapi York, Rosa dan Dietz tidak menyimpulkan ukuran teknologi (T) karena tidak ada ukuran operasional untuk T yang pasti. Namun demikian, pada prinsipnya tidak ada alasan bahwa dalam konsep ini tidak memberlakukan istilah teknologi. Karena T dalam model STIRPAT mencakup banyak faktor, yakni apa pun yang mempengaruhi dampak lingkungan per unit produksi (York *et al.*, 2003).

Dietz dan Rosa (1994) menggarisbawahi pentingnya memformulasikan ulang T, variabel teknologi, dalam identitas IPAT dan model STIRPAT, karena itu bukan faktor tunggal tetapi terdiri dari banyak faktor terpisah yang mempengaruhi dampak lingkungan. T dapat dinilai dengan tiga cara berbeda menggunakan model STIRPAT. Pertama, seseorang dapat menginterpretasikan antilog dari *residual term* dalam model STIRPAT sebagai T (Dietz dan Rosa, 1997), karena *residual term* mencakup semua faktor selain P dan A. Kedua, T dapat secara langsung dipilah dengan memasukkan faktor-faktor tambahan dalam model

STIRPAT yang secara teori mempengaruhi dampak lingkungan per unit produksi. Jika ini dilakukan, maka *residual term* mewakili T bersih dari efek faktor-faktor lain yang sekarang termasuk dalam model. Menggunakan faktor-faktor tambahan sangat penting untuk mengembangkan teori dan untuk menilai struktur sebab-akibat karena banyak teori sosio-ekologis mendalilkan faktor sosial, selain populasi dan kemakmuran, sebagai penggerak dampak lingkungan (York *et al.*, 2003).

B. Penelitian Terdahulu

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk menjelaskan bagaimana hubungan antara penggunaan energi, populasi dan pertumbuhan ekonomi terhadap emisi gas rumah kaca. Beberapa diantaranya menggunakan model STIRPAT (*Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology*) yang telah diformulasikan oleh York, Rosa dan Dietz (2003) yang berbasis pada model IPAT (*Impacts on Population, Affluence and Technology*) yang dirumuskan oleh Ehrlich dan Holdren (1971).

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

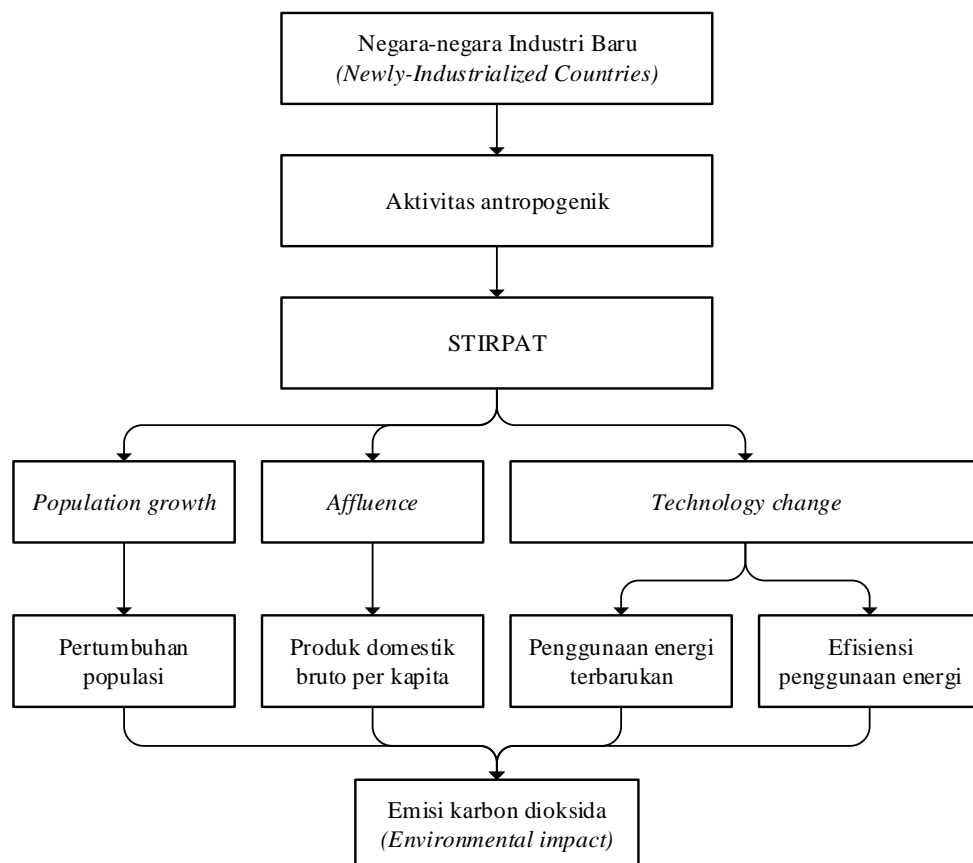
No.	Penulis	Judul	Variabel	Metode	Hasil
1	Anqing Shi (1971)	<i>Population Growth and Global Carbon Dioxide Emissions</i>	Emisi karbon dioksida, PDB per kapita, populasi, efisiensi energi.	<i>Ordinary Least Squares</i> (OLS).	Peran pertumbuhan populasi sangat berpengaruh terhadap peningkatan emisi karbon dioksida diikuti oleh PDB per kapita, sedangkan efisiensi energi berpengaruh secara negatif.

2	Mohammad Hassan (2016)	<i>Urbanization and CO2 Emission in Bangladesh: The Application of STIRPAT Model</i>	Emisi karbon dioksida, PDB per kapita, urbanisasi, populasi, intensitas penggunaan energi.	<i>Ordinary Least Squares</i> (OLS).	Pengaruh intensitas penggunaan energi sangat signifikan terhadap emisi karbon dioksida diikuti dengan urbanisasi, pertumbuhan PDB per kapita dan populasi.
3	Abdul Qayyum Khan, Naima Saleem dan Syeda Tamkeen Fatima (2017)	<i>Financial Development, Income Inequality, and CO2 Emissions in Asian Countries using STIRPAT Model</i>	Emisi karbon dioksida, pembangunan finansial, PDB per kapita, koefisien Gini, konsumsi energi.	<i>Fully Modified Ordinary Least Squares</i> (FMOLS).	Kontribusi positif dan signifikan dari konsumsi energi terhadap emisi karbon dioksida, diikuti ketimpangan, pembangunan finansial dan pertumbuhan PDB per kapita.
4	Ying Fan, Lan-Cui Liu, Gang Wu, Yi-Ming Wei (2015)	<i>Analyzing Impact Factors of CO2 Emissions Using the STIRPAT Model</i>	Emisi karbon dioksida, PDB per kapita, intensitas penggunaan energi, urbanisasi, populasi.	<i>Partial Least Squares</i> (PLS).	Pengaruh populasi dan PDB per kapita pada emisi karbon dioksida sangat positif signifikan. Pengaruh intensitas penggunaan energi dan urbanisasi pada emisi CO2 dibatasi oleh tingkat pembangunan ekonomi dan struktur yang memakan energi.
5	Athikah Fathinah dan Djoni Hartono (2014)	<i>Hubungan antara Emisi Karbon Dioksida, Efisiensi Energi, dan</i>	Emisi karbon dioksida, populasi, PDB per kapita, efisiensi energi,	<i>Generalized Least Squares</i> (GLS).	Populasi dan PDB per kapita memiliki pengaruh positif dan signifikan, dari sisi

<i>Konsumsi Energi Terbarukan di ASEAN (2000-2001)</i>	proporsi konsumsi energi terbarukan.	teknologi, efisiensi energi dan penggunaan energi terbarukan berhubungan negatif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida.
--	--------------------------------------	---

Sumber: EconStor, Elsevier, International Union for the Scientific Study of Population, ResearchGate, National Center for Biotechnology Information, Academia.edu, Universitas Indonesia Library

C. Kerangka Pemikiran



Gambar 5. Kerangka Pemikiran

Setiap negara di dunia akan selalu bersaing dan berupaya membangun perekonomian demi kesejahteraan rakyatnya. Tentunya pembangunan ekonomi

akan selalu dipacu oleh peningkatan intensitas aktivitas manusia. Berdasarkan pada konsep STIRPAT, peningkatan aktivitas manusia tersebut akan berdampak pada lingkungan hidup. Parameter teknologi tidak selamanya akan berdampak pada degradasi lingkungan hidup, karena itu teknologi bisa menurunkan kualitas lingkungan hidup atau justru menekan kerusakan pada lingkungan hidup. Ketiga pendorong utama tersebut berimplikasi pada kondisi suatu negara dan masyarakatnya yang kemudian akan berdampak pada lingkungan hidup.

Mengacu pada model model yang dikemukakan oleh Dietz dan Rosa, dampak lingkungan berasal dari ketiga kekuatan pendorong utama (*driving forces*) yakni pertumbuhan populasi, kemakmuran, dan perubahan teknologi. Pada penelitian ini, ketiga faktor pendorong utama tersebut diturunkan menjadi beberapa variabel.

Penggunaan energi terbarukan dan efisiensi energi adalah variabel digunakan untuk merepresentasikan faktor perubahan teknologi. Menurut York, faktor perubahan teknologi mencakup apapun yang mempengaruhi dampak lingkungan per unit produksi. Pada penelitian ini penggunaan energi terbarukan diasumsikan sebagai teknologi dapat mempengaruhi dampak lingkungan per unit produksi. Hal itu karena konversi energi dengan sumber terbarukan ke dalam energi yang lain menghasilkan emisi karbon dioksida yang lebih sedikit dibandingkan dengan energi konvensional. Sedangkan efisiensi energi diasumsikan sebagai indikator perubahan teknologi produksi yang dapat berdampak pada perubahan *input* atau *output* dalam proses produksi.

Produk domestik bruto (PDB) per kapita digunakan sebagai variabel yang merepresentasikan faktor kemakmuran. Meningkatnya pendapatan akan

mengakibatkan peningkatan permintaan barang dan jasa, sehingga kebutuhan energi untuk proses produksi barang dan jasa tersebut juga akan meningkat. Menurut York, PDB perkapita merupakan variabel yang paling umum digunakan untuk mengukur faktor kemakmuran.

D. Hipotesis

Berdasarkan pada teori dan penelitian sebelumnya, hipotesis yang diajukan sebagai berikut.

1. Diduga penggunaan energi sumber terbarukan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida pada negara-negara industri baru.
2. Diduga efisiensi energi berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida pada negara-negara industri baru.
3. Diduga produk domestik bruto per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida pada negara-negara industri baru.
4. Diduga populasi penduduk berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida pada negara-negara industri baru.

III. METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Sumber Data

Berdasarkan sumbernya, jenis data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang secara umum diambil dari beberapa sumber penyedia data statistik seperti *World Development Indicators*, *British Petroleum Statistical Review* dan *International Renewable Energy Agency* serta informasi lain yang bersumber pada studi kepustakaan yang diambil dari beberapa jurnal ilmiah rujukan dan literatur yang terkait dengan penelitian ini. Berdasarkan waktu pengumpulannya, data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data panel, yaitu gabungan antara data runtun waktu (*time series*) dengan data silang tempat (*cross section*). Data runtun waktu meliputi 17 tahun observasi dari tahun 2000 sampai 2016, sedangkan data silang tempat meliputi 10 tempat observasi dari negara-negara industri baru atau NIC-10 (*Newly-Industrialized Countries*). Negara-negara tersebut meliputi Afrika Selatan, Meksiko, Brasil, Cina, India, Indonesia, Malaysia, Filipina, Thailand dan Turki. Variabel terikat (dependen) pada penelitian ini adalah emisi karbon dioksida (CO₂) sedangkan variabel bebas (independen) meliputi penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, populasi penduduk dan produk domestik bruto per kapita. Berikut adalah tabel yang menunjukkan variabel, satuan, simbol dan sumber data.

Tabel 3. Satuan dan Sumber Data

No.	Data	Satuan	Sumber
1	Emisi Karbon Dioksida	Ton Metrik	<i>BP Statistical Review 2018</i>
2	Penggunaan Energi Terbarukan	GWh	IRENA
3	Total Penggunaan Energi	Ton Metrik	<i>BP Statistical Review 2018</i>
4	PDB (PPP 2011)	Dolar AS	WDI
5	PDB per Kapita (PPP 2011)	Dolar AS	WDI
6	Populasi Penduduk	Orang	WDI

Sumber: British Petroleum Statistical Review 2018, International Renewable Energy Agency, World Development Indicators

B. Definisi Operasional Variabel

Berikut adalah tabel yang menunjukkan data, simbol, dan satuan variabel.

Tabel 4. Satuan dan Simbol Variabel

No.	Variabel	Simbol	Satuan
1	Emisi Karbon Dioksida	CO ₂	Ton Metrik
2	Penggunaan Energi Terbarukan	PET	GWh
4	Efisiensi Energi	EFI	PDB per Total Penggunaan Energi
5	PDB per Kapita (PPP 2011)	PDB	Dolar AS
6	Populasi Penduduk	POP	Orang

Sumber: British Petroleum Statistical Review 2018, International Renewable Energy Agency, World Development Indicators

Berikut adalah definisi operasional variabel yang digunakan pada penelitian ini.

1. Emisi Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) adalah salah satu komponen zat yang menyusun gas rumah kaca di atmosfer. Karbon dioksida juga merupakan gas yang dihasilkan sebagai konsekuensi dari penggunaan bahan bakar fosil dalam proses produksi. Pada penelitian ini, karbon dioksida adalah variabel yang merepresentasikan

dampak lingkungan, karena gas tersebut berkontribusi pada peningkatan suhu global. Karbon dioksida diukur dalam satuan metrik ton pada masing-masing negara industri baru.

2. Penggunaan Energi Terbarukan

Penggunaan energi terbarukan adalah jumlah energi dengan sumber terbarukan (*renewable resource energy*) yang telah digunakan dalam proses produksi selama satu tahun pada masing-masing negara industri baru. Penggunaan energi terbarukan diukur dalam satuan GWh (*Gigawatt hours*). Berdasarkan pada data yang dikeluarkan oleh *International Energy Agency* menunjukkan bahwa proporsi penggunaan energi dengan sumber daya terbarukan masih sangat sedikit jika dibandingkan dengan proporsi penggunaan energi dengan sumber daya fosil. Kemudian pada data yang dikeluarkan oleh *Food and Agriculture Organization of the United Nations* memperlihatkan bahwa peningkatan emisi karbon dioksida terbesar berasal dari proses produksi energi. *International Energy Agency* mengidentifikasi bahwa pergeseran struktur energi menjadi sumber energi terbarukan adalah perkembangan teknologi yang dapat diterapkan dalam upaya memitigasi emisi karbon dioksida, sehingga penggunaan energi terbarukan diasumsikan penting untuk dapat menekan peningkatan emisi karbon dioksida.

3. Efisiensi Energi pada Aktivitas Ekonomi

Menurut Shi (2001), efisiensi energi pada aktivitas ekonomi adalah seberapa besar PDB yang dihasilkan pada setiap satuan energi yang telah digunakan. Variabel ini diukur dengan membagi produk domestik bruto (PDB) dengan satuan unit energi yang telah digunakan pada masing-masing negara.

$$EFFICIENCY = \frac{GDP}{ENERGY USE} \quad (3.1)$$

International Energy Agency mengidentifikasi bahwa efisiensi energi adalah perkembangan teknologi yang dapat diterapkan dalam upaya memitigasi emisi karbon dioksida. Semakin berkembangnya teknologi produksi akan semakin efisien penggunaan energi sehingga dapat mengurangi penggunaan energi yang kemudian akan berdampak pada emisi karbon dioksida.

4. Pendapatan Domestik Bruto per Kapita

Pendapatan Domestik Bruto atau PDB adalah nilai keseluruhan barang dan jasa yang diproduksi pada masing-masing negara termasuk produksi yang dilakukan oleh pihak asing pada negara tersebut, sedangkan PDB per kapita adalah nilai PDB dibagi dengan jumlah penduduk pada masing-masing negara dalam satuan dolar AS.

5. Populasi Penduduk

Pada penelitian ini, populasi penduduk adalah jumlah individu yang tinggal pada masing-masing negara.

C. Spesifikasi Model Penelitian

Model yang digunakan pada penelitian ini hampir sama dengan model penelitian STIRPAT yang digunakan oleh Fathinah dan Hartono (2014), dimana model tersebut mengacu pada model yang digunakan oleh Shi (2001) dan model Shafiei dan Salim (2014). Variabel yang merepresentasikan teknologi pada model yang digunakan Shi (2001) pada persamaan 3.2 adalah efisiensi energi pada aktivitas ekonomi.

$$\ln I_{it} = a + b_1(\ln P_{it}) + b_2(\ln A_{it}) + b_3(\ln T_{it}) + c_i + t_t + e_{it} \quad (3.2)$$

Sedangkan variabel yang merepresentasikan teknologi pada model yang digunakan oleh Shafiei dan Salim (2014) pada persamaan 3.3 adalah penggunaan energi berdasarkan sumbernya, yaitu sumber tidak terbarukan (*Renewable, R*) dan sumber terbarukan (*Non Renewable, N*).

$$\ln CO2_{it} = \ln \alpha_0 + \alpha_1(\ln P_{it}) + \alpha_2(\ln A_{it}) + \alpha_3(\ln R_{it}) + \alpha_4(\ln N_{it}) + \ln e_{it} \quad (3.3)$$

Model yang digunakan oleh Fathinah dan Hartono (2014) pada persamaan 3.4 mengkombinasi dan memodifikasi variabel pada kedua model tersebut, dimana total emisi karbon dioksida (CO₂) merepresentasikan dampak lingkungan (*Environmental Impact*), yang merupakan fungsi dari total populasi (*Population*), pendapatan nasional per kapita (*Affluence*) dan teknologi (*Technology*) yang direpresentasikan oleh variabel efisiensi energi dan penggunaan energi terbarukan.

$$\ln CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1(\ln POP_{it}) + \beta_2(\ln PDB_{it}) + \beta_3(\ln EFI_{it}) + \beta_4(EBT_{it}) + \lambda_i + e_{it} \quad (3.4)$$

Pada model Fathinah dan Hartono (2014), semua variabel dalam bentuk logaritma natural kecuali variabel penggunaan energi terbarukan karena variabel tersebut merupakan bentuk proporsi, namun dalam penelitian ini variabel penggunaan energi terbarukan merupakan bentuk jumlah yakni setara dengan GWh (*Gigawatt hours*). Berikut adalah model STIRPAT dalam penelitian ini.

$$\ln CO2_{it} = \beta_0 + \beta_1(\ln PET_{it}) + \beta_2(\ln EFI_{it}) + \beta_3(\ln PDB_{it}) + \beta_4(\ln POP_{it}) + \lambda_i + \varepsilon_{it} \quad (3.5)$$

Dimana:

\ln	: Logaritma natural
CO_2	: Emisi karbon dioksida (<i>Environmental Impact</i>)
POP	: Populasi (<i>Population</i>)
PDB	: PDB per kapita (<i>Affluence</i>)
EFI	: Efisiensi energi (<i>Technology</i>)
PET	: Penggunaan energi terbarukan (<i>Technology</i>)
β_0	: Konstanta
$\beta_{1,2,3,4}$: Koefisien
λ	: <i>Unobserved heterogeneity</i>
ε	: <i>Error term</i> (residual)
i	: Individu (negara)
t	: <i>Time</i> (tahun)

D. Metode Analisis Data

1. Analisis Regresi Data Panel

Untuk mengetahui pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat di beberapa unit individu pada beberapa unit waktu digunakan metode analisis kuantitatif data panel (*panel data*). Data panel merupakan data yang diperoleh dari data yang dikombinasikan (*pooled*), yakni data runtun waktu (*time series*) dan data silang tempat (*cross section*).

Menurut Hsiao (2003) and Klevmarken (1989) dalam Baltagi (2005) terdapat beberapa manfaat pada penggunaan data panel antara lain data panel dapat mengontrol heterogenitas individu; data panel memberikan data yang lebih informatif, lebih banyak variabilitas, lebih sedikit kolinearitas antarvariabel, lebih banyak derajat kebebasan dan efisiensi; data panel lebih baik dalam mempelajari dinamika penyesuaian (*study dynamics of adjustment*); data panel lebih mampu mengidentifikasi dan mengukur efek yang tidak dapat dideteksi dalam *cross section* murni atau *time series* murni; model data panel memungkinkan kita untuk membangun dan menguji model perilaku yang lebih rumit daripada data *cross section* atau *time series* murni; data panel mikro yang dikumpulkan pada individu

mungkin lebih akurat diukur daripada variabel serupa yang diukur di tingkat makro; data panel makro yang memiliki runtun waktu yang lebih lama tidak terdapat masalah seperti distribusi non standar dari pengujian unit root dalam analisis runtun waktu.

2. Estimasi Model Panel

Berikut adalah pendekatan untuk menentukan model estimasi data panel yang akan digunakan, secara umum adalah *Common Effect Model*, *Fixed Effect Model* dan *Random Effect Model*.

a. Pendekatan *Common Effect Model*

Pendekatan model efek tanpa pengaruh individu (*Common Effect Model*) adalah pendekatan paling sederhana dalam mengestimasi data panel yakni dengan menggabungkan data *time series* dan *cross section* kemudian menggunakan OLS (*Ordinary Least Square*) untuk menduga parameternya. Pendekatan ini hanya menggabungkan kedua jenis data tersebut namun tidak melihat perbedaan antarindividu atau antarwaktu. Atau dengan kata lain, dalam pendekatan ini tidak memperhatikan dimensi antarindividu maupun dimensi antarwaktu. Pendekatan ini mengasumsikan bahwa perilaku data antarindividu adalah sama dalam berbagai runtun waktu. Berikut adalah *Common Effect Model*.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \varepsilon_{it} \quad (3.6)$$

Dimana:

Y : Variabel terikat
 $X_{1,2}$: Variabel bebas
 β_0 : Konstanta
 $\beta_{1,2}$: Koefisien

ε : *Error term* (residual)
 i : Individu (negara)
 t : *Time* (tahun)

b. Pendekatan *Fixed Effect Model*

Pendekatan model efek tetap (*Fixed Effect Model*) atau disebut juga dengan LSDV (*Least Square Dummy Variabel*) mengasumsikan adanya perbedaan intersep antarindividu sehingga menggunakan variabel boneka (*dummy variable*) untuk mendeteksinya. Estimasi yang dilakukan bisa tanpa pembobot (*no weighted*) dan dengan pembobot (*cross section weighted*) atau GLS (*Generalized Least Square*). Pembobotan dilakukan untuk mengurangi heterogenitas antarindividu. Berikut adalah *Fixed Effect Model*.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 D_{1i} + \beta_4 D_{2i} + \beta_5 D_{3i} + \varepsilon_{it} \quad (3.7)$$

Dimana:

Y : Variabel terikat
 $X_{1,2}$: Variabel bebas
 $D_{1,2,3}$: Variabel boneka (*dummy*)
 β_0 : Konstanta
 $\beta_{1,2,3,4,5}$: Koefisien
 ε : *Error term* (residual)
 i : Individu (negara)
 t : *Time* (tahun)

c. Pendekatan *Random Effect Model*

Menurut Gujarati (2005), meskipun pendekatan model efek tetap atau LSDV mudah diterapkan, pemodelan ini akan menimbulkan penurunan derajat kebebasan (*degree of freedom*) jika kita memiliki beberapa unit individu. Alasan yang mendasari adanya pendekatan model kovarian (model LDSV) adalah bahwa dalam menentukan model regresi, kita tidak dapat memasukkan variabel penjelas

yang relevan dan tetap (tidak berubah), sehingga perlu menggunakan variabel boneka (*dummy*) untuk menyasati hal tersebut. Pada pendekatan model efek acak (*Random Effect Model*) atau dikenal juga dengan ECM (*Error Components Model*) mengestimasi data panel dengan kemungkinan variabel gangguan saling berhubungan antarindividu dan antarwaktu. Berikut adalah dasar *Random Effect Model*.

$$Y_{it} = \bar{\beta}_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + u_{it} \quad (3.8)$$

Alih-alih memperlakukan $\bar{\beta}_0$ sebagai tetap, kita mengasumsikan bahwa itu adalah variabel acak (*random*) dengan nilai rata-rata β_0 (tidak ada bar). Dan nilai intersep untuk individu dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\bar{\beta}_0 = \beta_1 + \varepsilon_i \quad (3.9)$$

Mensubstitusikan model persamaan 3.9 ke dalam persamaan 3.8 maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + w_{it} \quad (3.10)$$

Dimana:

Y	: Variabel terikat
$X_{1,2}$: Variabel bebas
$\bar{\beta}_0$: Konstanta
$\beta_{1,2}$: Koefisien
w_{it}	: $\varepsilon_i + u_{it}$
ε	: <i>Error term</i> (residual)
i	: Individu (negara)
t	: <i>Time</i> (tahun)

3. Penentuan Model Estimasi

Dalam pemodelan estimasi data panel diperlukan pendekatan estimasi data panel yang tepat. Untuk menentukan pendekatan model estimasi yang paling tepat untuk digunakan, diperlukan pengujian secara statistik.

a. Uji Chow

Uji *Chow* digunakan untuk mengevaluasi pendekatan model efek tetap (*Fixed Effect Model*) dan pendekatan model tanpa pengaruh individu (*Common Effect Model*). Uji ini dilakukan untuk mengetahui pendekatan yang lebih baik untuk digunakan dengan melakukan uji F dan melihat RRSS (*Restricted Residual Sums of Squares*) pada *Common Effect Model* dan URSS (*Unrestricted Residual Sums of Squares*) pada *Fixed Effect Model* pada taraf signifikansi sebesar 5 persen (Baltagi, 2005).

$$F_{stat} = \frac{(RSS-URSS)/(N-1)}{URSS/(NT-N-K)} \quad (3.11)$$

Apabila F statistik lebih besar dari F tabel atau *p-value* kurang dari taraf signifikansi yang ditentukan maka menolak hipotesis nol dan menerima hipotesis alternatif sehingga memilih pendekatan *Fixed Effect Model*. Sebaliknya apabila F statistik lebih kecil dari F tabel atau *p-value* melebihi taraf signifikansi yang ditentukan maka menerima hipotesis nol dan menolak hipotesis alternatif sehingga memilih pendekatan *Common Effect Model*.

b. Uji Hausman

Uji *Hausman* digunakan untuk mengevaluasi pendekatan model efek tetap (*Fixed Effect Model*) dan pendekatan model efek acak (*Random Effect Model*) dengan

membandingkan konsistensi penduga (*estimator*). Uji ini dilakukan untuk mengetahui pendekatan yang lebih baik untuk digunakan dengan melakukan uji *Chi-square* berdasarkan kriteria *Wald* serta membandingkan nilai *Hausman* dengan *Chi-square* tabel pada taraf signifikansi sebesar 5 persen.

$$W = \hat{q}' [\text{var}(\hat{q}')]^{-1} \hat{q} \quad (3.12)$$

$$W = (\hat{\beta}_{\text{Within}} - \hat{\beta}_{\text{GLS}})' [\text{var}(\hat{\beta}_{\text{Within}} - \hat{\beta}_{\text{GLS}})]^{-1} (\hat{\beta}_{\text{Within}} - \hat{\beta}_{\text{GLS}}) \quad (3.13)$$

Dimana:

$\hat{\beta}_{\text{Within}}$: Dimensi vektor slope *Fixed Effect Model*
 $\hat{\beta}_{\text{GLS}}$: Dimensi vektor slope *Random Effect Model*

Apabila nilai statistik *Hausman* lebih besar daripada nilai *Chi-square* tabel atau *p-value* kurang dari taraf signifikansi yang ditentukan maka menolak hipotesis nol dan menerima hipotesis alternatif sehingga pendekatan model yang tepat untuk regresi data panel adalah *Fixed Effect Model*. Sebaliknya apabila nilai statistik *Hausman* lebih kecil daripada nilai *Chi-square* tabel atau *p-value* melebihi taraf signifikansi yang ditentukan maka menerima hipotesis nol dan menolak hipotesis alternatif sehingga memilih pendekatan *Random Effect Model*.

c. Uji Lagrange Multiplier

Uji *Lagrange Multiplier* atau dikenal dengan uji *Breusch-Pagan* digunakan untuk mengevaluasi pendekatan model efek acak (*Random Effect Model*) dan pendekatan model tanpa pengaruh individu (*Common Effect Model*) dengan menguji struktur kovarian dari residual model, apakah struktur tersebut homoskedastisitas atau heteroskedastisitas serta membandingkan nilai *Breusch-Pagan* dengan *Chi-square* tabel pada taraf signifikansi sebesar 5 persen.

Apabila nilai statistik *Breusch-Pagan* lebih besar daripada nilai *Chi-square* tabel atau *p-value* kurang dari taraf signifikansi yang ditentukan maka hipotesis nol ditolak dan menerima hipotesis alternatif sehingga pendekatan model yang tepat untuk regresi data panel adalah *Random Effect Model*. Sebaliknya apabila nilai statistik *Breusch-Pagan* lebih kecil daripada nilai *Chi-square* tabel atau *p-value* melebihi taraf signifikansi yang ditentukan maka menerima hipotesis nol dan menolak hipotesis alternatif sehingga memilih pendekatan *Common Effect Model*.

E. Pengujian Hipotesis Statistik

1. Uji Signifikansi Pengaruh Parsial (Uji t)

Uji pengaruh parsial (uji t) digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien regresi pada variabel-variabel bebas, apakah secara parsial berpengaruh terhadap variabel terikat dengan asumsi bahwa tidak ada perubahan pada variabel bebas lainnya (*ceteris paribus*) dengan membandingkan t statistik dengan t tabel dengan taraf signifikansi sebesar 5 persen. Apabila nilai t statistik lebih besar daripada nilai t tabel atau *p-value* kurang dari taraf signifikansi yang ditentukan maka menolak hipotesis nol dan menerima hipotesis alternatif sehingga variabel bebas secara parsial berpengaruh secara signifikan terhadap variabel terikat, sebaliknya apabila nilai t statistik lebih kecil daripada nilai t tabel atau *p-value* melebihi taraf signifikansi yang ditentukan maka menerima hipotesis nol dan menolak hipotesis alternatif sehingga variabel bebas secara parsial tidak berpengaruh secara signifikan terhadap variabel terikat. Berikut adalah hipotesis yang akan diuji.

a. Penggunaan energi terbarukan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_0: \beta_1 = 0$: Penggunaan energi terbarukan tidak berpengaruh terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_1: \beta_1 < 0$: Penggunaan energi terbarukan berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

b. Efisiensi energi terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_0: \beta_2 = 0$: Efisiensi energi tidak berpengaruh terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_1: \beta_2 < 0$: Efisiensi energi berpengaruh negatif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

c. PDB per kapita terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_0: \beta_3 = 0$: PDB per kapita tidak berpengaruh terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_1: \beta_3 > 0$: PDB per kapita berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

d. Populasi terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_0: \beta_4 = 0$: Populasi tidak berpengaruh terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_1: \beta_4 > 0$: Populasi berpengaruh positif dan signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

2. Uji Signifikansi Pengaruh Simultan (Uji F)

Uji pengaruh simultan (uji F) digunakan untuk mengetahui signifikansi koefisien regresi pada variabel-variabel bebas, apakah secara simultan berpengaruh terhadap variabel dengan membandingkan F statistik dengan F tabel. Apabila nilai

F statistik lebih besar daripada nilai F tabel atau *p-value* kurang dari taraf signifikansi yang ditentukan maka menolak hipotesis nol dan menerima hipotesis alternatif sehingga variabel bebas secara simultan berpengaruh secara signifikan terhadap variabel terikat, sebaliknya apabila nilai F statistik lebih kecil daripada nilai F tabel atau *p-value* melebihi taraf signifikansi yang ditentukan maka menerima hipotesis nol dan menolak hipotesis alternatif sehingga variabel bebas secara simultan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap variabel terikat. Berikut adalah hipotesis yang akan diuji.

$H_0: \beta_{1,2,3,4} = 0$: Penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, PDB per kapita dan populasi secara simultan tidak berpengaruh terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

$H_1: \beta_{1,2,3,4} \neq 0$: Penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, PDB per kapita dan populasi secara simultan berpengaruh secara signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO₂)

3. Uji Koefisien Determinasi (*R-Squared*)

Koefisien determinasi (*R-squared*) digunakan untuk mengetahui seberapa besar proporsi variabel bebas mampu menjelaskan variabel terikat pada model yang ditentukan. Nilai koefisien determinasi berada antara nol sampai dengan satu, dalam hal ini apabila nilai koefisien determinasi semakin mendekati satu, itu artinya semakin besar proporsi variabel bebas dalam menjelaskan variabel terikat.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan analisis data, hasil penelitian, dan pembahasan yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan energi dengan sumber terbarukan menunjukkan pengaruh yang negatif dan signifikan terhadap perubahan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya penggunaan energi dengan sumber terbarukan akan menurunkan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.
2. Efisiensi penggunaan energi pada aktivitas ekonomi menunjukkan pengaruh yang negatif dan signifikan terhadap perubahan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru. Hal ini menunjukkan bahwa semakin efisien penggunaan energi pada aktivitas ekonomi akan menurunkan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.
3. Produk domestik bruto per kapita menunjukkan hubungan yang positif signifikan terhadap perubahan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru. Hal ini menunjukkan bahwa meningkatnya nilai produk domestik bruto per kapita akan meningkatkan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.

4. Populasi penduduk menunjukkan pengaruh yang positif dan signifikan terhadap perubahan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya jumlah populasi penduduk akan meningkatkan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.
5. Secara bersama-sama, variabel penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, produk domestik bruto per kapita, dan populasi penduduk berpengaruh signifikan terhadap perubahan emisi karbon dioksida di negara-negara industri baru.

B. Saran

Berdasarkan pada kesimpulan yang telah ditarik, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan energi dengan sumber terbarukan di negara-negara industri baru masih belum optimal. Penggunaan energi dengan sumber terbarukan merupakan salah satu upaya mitigasi yang dapat dilakukan dan cukup berpengaruh dalam menekan emisi gas rumah kaca, khususnya karbon dioksida, sehingga pemerintah diharapkan dapat memperhatikan kebijakan mengenai penggunaan energi khususnya untuk dapat mengembangkan dan menggunakan energi dengan sumber terbarukan dalam upaya mitigasi emisi karbon dioksida dan mendorong pembangunan ekonomi berkelanjutan.
2. Melihat pada aspek efisiensi energi, hampir semua negara industri baru menunjukkan skor kinerja efisiensi energi yang belum optimal walaupun cenderung meningkat (*International Energy Efficiency Scorecard, 2018*).

Berdasarkan hasil penelitian, efisiensi energi adalah variabel paling berpengaruh dalam menekan emisi karbon dioksida dan mendorong pembangunan ekonomi berkelanjutan. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa masih sangat diperlukannya perhatian oleh pemerintah dalam kebijakan penggunaan energi terutama dalam mengatasi konsumsi energi. Hal tersebut tentunya menjadi peluang sekaligus tantangan tersendiri bagi negara-negara industri baru. Negara-negara yang belum memanfaatkan energinya secara efisien akan sangat berpotensi dapat mengurangi biaya produksi apabila dapat meningkatkan tingkat efisiensinya dan menekan kadar karbon dioksida. Sementara negara-negara yang sudah dapat konsisten dalam mengefisienkan penggunaan energi dapat memanfaatkannya untuk lebih kompetitif secara ekonomi dari negara lainnya karena dapat menekan biaya produksi dan dapat menghindari fluktuasi harga energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahossane, Kardio. 2001. Industrial Environment Dimension in the Process of Sustainable Development in Côte d'Ivoire. *World Summit on Sustainable Development (WSSD)*.
- Anwar, A., Arshed, N., Kousar, N. 2017. Renewable Energy Consumption and Economic Growth in Member of OIC Countries. *European Online Journal of Natural and Social Sciences Volume 6*. Hal. 111-129.
- Apergis, N., Payne, J. E. 2010. Energy Consumption and Growth In South America: Evidence from a Panel Error Correction Model. *Energy Economics Volume 32*. Hal. 1421-1426.
- Arouri, M. E. H., Youssef, A. B., M'henni, H., Rault, C. 2012. Energy Consumption, Economic Growth and CO2 Emissions in Middle East and North African Countries. *IZA Discussion Papers*. Hal. 547-556.
- Baltagi, B. H. 2005. *Econometric Analysis of Panel Data Thrid Edition*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Barile, S., Quattrociochi, B., Calabrese, M., Iandolo, F. 2018. Sustainability and the Viable Systems Approach: Opportunities and Issues for the Governance of the Territory. *Sustainability Journals Volume 10*. Issue 3.
- Behera, S. R. 2017. Saving–Investment Dynamics and Capital Mobility in the Newly Industrialized Countries. *The Singapore Economic Review Voume. 62*. No. 2. World Scientific Publishing Company
- Boddin, Dominik. 2016. The Role of Newly Industrialized Economies in Global Value Chains. *IMF Working Paper*. No. 16/207.
- Chandler, W., Secret, T. J., Logan, J. 2002. Climate Change Mitigation In Developing Countries: Brazil, China, India, Mexico, South Africa, and Turkey. *Pew Center on Global Climate Change*.
- Damayanti, R., Chamid, M. S. 2016. Analisis Pola Hubungan PDRB dengan Faktor Pencemaran Lingkungan di Indonesia Menggunakan Pendekatan

Geographically Weighted Regression (GWR). *Jurnal Sains dan Seni ITS Volume 5*. Hal. 2337-3520.

Ehrlich, P. R., Holdren, J. P. 2014. Impact of Population Growth. *Science Volume 171*. Hal. 1212-1217.

Fan, Y., Liu, L., Wei, Y. 2006. Analyzing Impact Factors of CO2 Emissions Using the STIRPAT Model. *Environmental Impact Assessment Review Volume 26*. Hal. 377-395.

Fathinah, A., Hartono, Djoni. 2014. Hubungan antara Emisi Karbon Dioksida, Efisiensi Energi, dan Konsumsi Energi Terbarukan di ASEAN (2000-2011).

Fu, B., Wu, M., Che, Y., Wang, M., Huang, Y., Bai, Y. 2015. The Strategy of a Low-Carbon Economy Based on the STIRPAT and SD Models. *Acta Ecologica Sinica*. Hal. 76-82.

Gao, C. K., Wang, D., Chai, J. J., Zhu, W. G. 2010. Scenario Analysis on Economic Growth and Environmental Load in China. *Procedia Environmental Sciences Volume 2*. Hal. 1335-1343.

GDP per Capita PPP. 2018. *World Bank Open Data*. (data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.PP.CD, diakses pada 25 Desember 2018).

GDP PPP. 2018. *World Bank Open Data*. (data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.PP.KD, diakses pada 25 Desember 2018).

Grossman, G. M., Krueger, A. B. 1995. Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics Volume 110*. Hal. 353-377.

Gujarati, D. N. 2003. *Basic Econometrics Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill.

Hikmat, Harry. 2000. Analisis Dampak Lingkungan Sosial: Strategi Menuju Pembangunan Berpusat Pada Rakyat (*People Centred Development*). Andalsos: Pascasarjana Manajemen Pembangunan.

Ibrahim, S. S., Celebi, A., Ozdeser, H., Sancar, N. 2017. Modelling the Impact of Energy Consumption and Environmental Sanity in Turkey: A STIRPAT framework. *Procedia Computer Science Volume 120*. Hal. 229-236.

- IRENA RE Statistics Query Tool. 2018. *IRENA REsource*.
(www.irena.org/IRENADocuments/IRENA_RE_electricity_statistics_-_Query_tool_v1.3.3.xlsm, diakses pada 25 Desember 2018).
- Khalili, Nasrin. 2011. *Practical Sustainability: From Grounded Theory to Emerging Strategies 2011th Edition*. London: Palgrave Macmillan.
- Khan, A. Q., Saleem, N., Fatima, S. T. 2017. Financial Development, Income Inequality, and CO2 Emissions in Asian Countries Using STIRPAT Model. *Environmental Science and Pollution Research Volume 25*. Hal. 6308-6319.
- Khare, V., Khare, C., Nema, S., Baredar, P. 2009. *Introduction to Energy Sources*. Tidal Energy Systems. Chapter 1.
- Knight, K. W. 2009. Structural Human Ecology and STIRPAT: Theory and Method. *Panel Contribution to the Population-Environment Research Network's Cyberseminar on Theoretical and Methodological Issues in the Analysis of Population Dynamics and the Environment*.
- Kuhns, R. J., Shaw, G. H. 2018. The Carbon Dioxide Problem and Solution. *Navigating the Energy Maze*. Hal. 99-115.
- Li, L., Lei, Y., He, C., Wu, S., Chen, J. 2016. Prediction on the Peak of the CO2 Emissions in China Using the STIRPAT Model. *Advances in Meteorology Volume 2016*. No. 5213623.
- Mankiw, N. G. 2006. *Makroekonomi Edisi Keenam*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Mensah, Justice. 2019. Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences Volume 5*. Issue 1.
- Mukhlis, Imam. 2009. Eksternalitas, Pertumbuhan Ekonomi dan Pembangunan Berkelanjutan dalam Perspektif Teoritis. *Jurnal Ekonomi Bisnis*. No. 3.
- Population Total. 2018. *World Bank Open Data*.
(data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL, diakses pada 25 Desember 2018).
- Rosa, E. U., Dietz, T. 1997. Effects of Population and Affluence on CO2 Emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America Volume 94*. Hal. 175-179.

- Scholz, Stephan. 2006. The POETICs of Industrial Carbon Dioxide Emissions in Japan: An Urban and Institutional Extension of the IPAT Identity. *Carbon Balance and Management*. BioMed Central.
- Shafiei, S., Salim, R. A. 2014. Non-renewable and Renewable Energy Consumption and CO2 Emissions in OECD Countries: A Comparative Analysis. *Energy Policy Volume 66*. Hal. 547-556.
- Shi, Anqing. 2001. Population Growth and Global Carbon Dioxide Emissions. *IUSSP Conference in Brazil*. Sesi 9.
- Society for International Development. 2018. *What is Development?* (www.sid-israel.org/en/Development-Issues/What-is-Development, diakses pada 15 Januari 2020).
- Solow, R. M. 1956. A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics Volume 70*. Issue 1.
- Statistical Review of World Energy. 2018. *British Petroleum*. (www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/excel/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-all-data.xlsx, diakses pada 25 Desember 2018).
- Sukirno, Sadono. 2004. Pengantar Teori Makroekonomi. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Sunardi, E. L. 2014. Perbandingan Harga Energi Dari Sumber Energi Baru Terbarukan Dan Fosil. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Volume 16*. No. 2.
- Todaro, Michael P. dan Stephen C. Smith. 2006. *Pembangunan Ekonomi*. Jakarta : Erlangga
- U.S. Energy Information Administration. 2019. Energy Explained. (www.eia.gov/energyexplained, diakses pada 15 Januari 2020).
- Wallington, T. J., Srinivasan, J., Nielsen, O. J., Highwood, E. J. 2009. Greenhouse Gas and Global Warming. *Environmental and Ecological Chemistry Volume 1*.
- Wei, Taoyuan. 2011. What STIRPAT Tells About Effects of Population and Affluence on Environmental Impact?. *Ecological Economics Volume 72*. Hal. 70-74.
- World Energy Council. 2016. *World Energy Resource 2016 Summary*.

York, R., Rosa, E. A., Dietz, T. 2003. STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic Tools for Unpacking the Driving Forces of Environmental Impacts. *Ecological Economics Volume 46*. Hal. 351-365.

Zhang, S., Liu, X., Bae, J. 2017. Does Trade Openness Affect CO2 Emissions: Evidence from Ten Newly Industrialized Countries?. *Environmental Science and Pollution Research Volume 24*. Hal. 17616-17625.