

ANALISIS DECOUPLING KONSUMSI LISTRIK DAN DETERMINAN EMISI KARBON: STUDI KASUS NEGARA ASEAN

Khoirotul Mukaromah¹
Wahyu Widodo²

^{1,2} Departemen IESP Fakultas Ekonomika dan Bisnis Universitas Diponegoro
khoirotulmukaromah@alumni.undip.ac.id

Abstrak

During 2000 – 2018, electricity played an important role in increasing carbon emissions in ASEAN. In this final project, the emission control factor was seen from the energy supply, electricity consumption, GDP, and the total population in ASEAN-9. The purpose of this study is to examine the status of the decoupling between electricity consumption and economic growth because most of the electricity sources in ASEAN are fossilized. As a result, 9 countries have experienced expansive negative decoupling or an increase in electricity consumption that is higher than the increase in national income. This explanation illustrated that the increase in national income still depended on electricity consumption. On the other hand, the source of electrical energy mostly comes from fossils which has the potential to cause an increase in carbon emissions. Furthermore, seeing the empirical estimation of long-term and short-term use of FEM and ECM methods by Eviews 10. the results of the regression show that the supply of energy has a positive effect on carbon emissions in both long and short term. An increase in energy supply will have an impact on increasing carbon emissions. Electricity consumption also has a positive effect on carbon emissions in the short term.

Keywords: Decoupling Analysis, Carbon Emissions, Electricity Consumption.

PENDAHULUAN

Perubahan iklim terus menjadi sorotan utama dunia, peningkatan suhu global yang diakibatkan oleh tingginya konsentrasi gas rumah kaca yang berada di atmosfer bumi. Pembangunan yang terus dilakukan dari berbagai aspek tanpa mempedulikan dampak lingkungan yang ditimbulkan, serta penggunaan sumber daya primer yang terus dieksploitasi menjadi pemicu utama meningkatnya emisi karbon global (Akadiri et al, 2020). Tahun 2018 emisi karbon di ASEAN mencapai 1.485,02 MtCO₂eq dengan sektor listrik menjadi penyumbang emisi karbon tertinggi di Asia Tenggara karena sebagian besar bahan baku yang digunakan dari sumber daya primer. Tabel 1 menunjukkan bahwa emisi yang dihasilkan dari sektor listrik setiap tahunnya terus mengalami peningkatan dan menjadi sektor yang menghasilkan emisi karbon tertinggi dari tahun 2000 hingga tahun 2018. Tahun 2000 emisi yang dihasilkan sektor listrik mencapai 218,0 MT CO₂ dan terus meningkat hingga tahun 2018 yang mencapai 644,0 MT CO₂. Diperkirakan sektor listrik telah menyumbang lebih dari 40% emisi karbon di Asia Tenggara dengan konsumsi listrik di ASEAN mencapai 1,6 MWh/kapita pada tahun 2018 (IEA 2019) (IEA 2019).

Tabel 1
Emisi Karbon ASEAN menurut Sektor

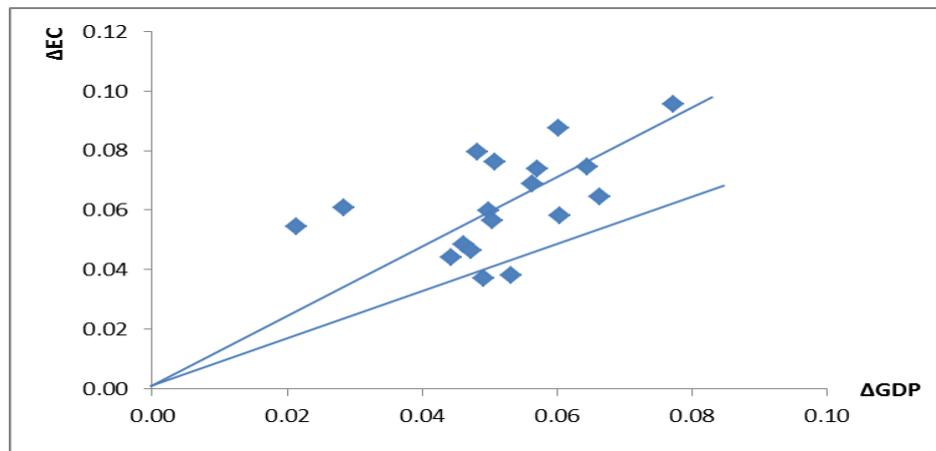
Tahun	Emisi Karbon Menurut Sektor				
	Kelistrikan	Industri	Transportasi	Rumah Tangga	Industri Energi Lainnya
2000	218	146	186	42	65
2005	296	204	224	42	76
2010	399	274	260	34	65
2015	520	281	332	38	73
2018	644	297	386	43	68

Sumber : *International Energy Agency (IEA)*

Dalam pembangunan sosial-ekonomi negara, listrik memiliki peran penting dalam mempengaruhi pendapatan ekonomi suatu bangsa. Di era digitalisasi saat ini kemudahan akses listrik menjadi patokan dalam meningkatkan produktivitas. Namun, untuk memenuhi kebutuhan listrik yang tinggi sebagian besar sumber daya yang digunakan masih berasal dari bahan dasar fosil yang mengakibatkan tingginya efek polusi pada proses produksinya. Dalam konferensi COP21 yang diselenggarakan di Paris pada bulan Desember 2015 mengenai perubahan iklim global yang disepakati oleh negara-negara di dunia untuk mengurangi produksi karbon secepatnya dengan tetap menjaga pola pembangunan ekonomi yang memuaskan. Dilihat dari data data pada Tabel 1 emisi ASEAN masih terus meningkat, maka dibutuhkan *decoupling* untuk memisahkan emisi karbon dan pertumbuhan ekonomi. Dijelaskan apabila emisi tumbuh kurang cepat dari pada pertumbuhan ekonomi maka dapat dinyatakan pada situasi *relative decoupling*. Sementara ketika emisi karbon menyebabkan penurunan sementara pada pertumbuhan ekonomi, maka situasi menunjukkan berada pada *decoupling absolut* (Mikayilov et al, 2018).

Perlu diperhatikan bahwa pendapatan perkapita dan degradasi lingkungan berkorelasi positif. Adanya *decoupling* yang mengacu pada pemutusan hubungan antara kerusakan lingkungan dan ekonomi membantu tercapainya salah satu tujuan utama strategi lingkungan. *Decoupling* merupakan konsep yang bertujuan memetakan posisi suatu wilayah pada derajat *decoupling* tertentu untuk menganalisis pembangunan berkelanjutan. Pertumbuhan ekonomi yang terus meningkat baik di negara maju maupun negara berkembang akan berhubungan dengan tekanan lingkungan yang juga terus meningkat, maka dikhawatirkan dapat menghancurkan daya dukung ekosistem. Selain itu, *decoupling* juga penting untuk mengetahui bagaimana instrumen kebijakan yang dapat mendukung upaya untuk mencapai strategi lingkungan tersebut (Gupta 2015).

Gambar 1
Decoupling Konsumsi Listrik ASEAN Tahun 2000-2018



Sumber : (IEA dan World Bank), diolah

Merujuk pada konsep *decoupling*, kawasan ASEAN sendiri berada pada kondisi antara indeks *expansive negative decoupling* dan *expansive coupling*. Indeks *decoupling* tersebut mencerminkan bahwa kondisi pertumbuhan ekonomi yang meningkat diikuti juga dengan peningkatan konsumsi listrik. Peningkatan konsumsi listrik di beberapa tahun lebih tinggi dibanding dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi. Kondisi tersebut juga dilatar belakangi bahwa sebagian negara ASEAN merupakan negara berkembang dengan sumber daya yang melimpah, sehingga pemanfaatan sumber daya primer masih terus dilakukan (Chen et al, 2020).

Selain itu, untuk menjaga pembangunan ekonomi berkelanjutan yang ramah lingkungan menjadi tantangan bagi negara ASEAN yang sebagian masih bergantung pada konsumsi energi fosil khususnya untuk produksi listrik. Sedangkan pengembangan sumber daya yang mudah diperbaharui untuk produksi listrik belum sepenuhnya dikembangkan di ASEAN, sehingga emisi karbon masih tinggi. Estimasi jangka panjang sangat perlu dilakukan untuk mengambil kebijakan yang harus diterapkan agar tujuan menjaga iklim global tercapai.

Penelitian mengenai kualitas lingkungan di sektor pembangkit listrik masih jarang dilakukan di kawasan Asia Tenggara, padahal sektor pembangkit listrik sendiri menyumbang emisi karbon CO₂ tertinggi di ASEAN. Beberapa penelitian membahas kualitas lingkungan melalui sektor lain seperti transportasi, pertanian dan lain sebagainya. Studi empiris yang telah dilakukan juga hanya mengacu pada metodologi tertentu seperti heterogenus panel data atau *decoupling*. Penelitian ini menggabungkan metode heterogenus panel data untuk melihat pengaruh jangka panjang dan jangka pendek pada variabel-variabel yang telah ditentukan seperti emisi karbon CO₂, pasokan listrik, konsumsi energi di sektor pembangkit listrik, PDB riil, dan populasi masing-masing negara dan juga metode *decoupling* untuk melihat status negara masih bergantung pada sumber energi primer untuk meningkatkan PDB mereka.

TINJAUAN PUSTAKA

Hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan emisi CO₂ telah banyak dijelaskan oleh Kuznet dalam *Environmental Kuznet Curve* (EKC). Kuznet menjelaskan hubungan antara emisi CO₂ dan pertumbuhan ekonomi berbentuk U

terbalik. Kuznet meyakini bahwa ketika pendapatan perkapita meningkat polusi dan degradasi lingkungan akan meningkat di tahap awal pertumbuhan ekonomi, dan selanjutnya dalam jangka panjang polusi dan degradasi lingkungan akan menurun seiring dengan terus meningkatnya pendapatan perkapita (Nikensari et al, 2019) . Dalam terminologi ekonomi lingkungan, *decoupling* memiliki keterkaitan dengan konsep delinking pertumbuhan ekonomi atas meningkatnya masalah lingkungan. *Decoupling* menyiratkan bahwa emisi CO₂ tidak lagi meningkat dengan pertumbuhan ekonomi, tetapi menurun seiring dengan pertumbuhan ekonomi. Terdapat dua indikaor *decoupling* yang diperlukan untuk mencerminkan tingkat decoupling yang akurat. Pertama, indikator yang di paparkan oleh OECD antara lain: organisasi untuk kerjasama dan pembangunan ekonomi. Indeks *decoupling* OECD menggambarkan perubahan hubungan antara tekanan lingkungan dan kekuatan pendorongnya, seperti hubungan emisi CO₂ dan pertumbuhan ekonomi. Apabila emisi CO₂ tumbuh lebih lambat daripada pertumbuhan ekonomi maka disebut sebagai *decoupling*. Kedua, indeks yang diusulkan oleh Tapio dengan memasukkan konsep elastis ke dalam model *decoupling* OECD dan membagi dalam delapan kategori yaitu *coupling expansive*, *coupling recessive*, *weak decoupling*, *strong decoupling*, *recessive decoupling*, *expansive negative decoupling*, *strong negative decoupling*, dan *weak negative decoupling* (Wang et al, 2020).

Disisi lain kegiatan konsumsi dan produksi energi dalam bentuk listrik juga memainkan peran penting dalam meningkatkan emisi CO₂ karena bertindak sebagai pengembangan industrialisasi dan pertumbuhan ekonomi. Peningkatan industrialisasi dan perdagangan pada gilirannya akan berakibat pada konsumsi bahan bakar primer dalam jumlah besar dan selanjutnya berdampak pada lingkungan (Nasreen et al, 2019).

Emisi dari konsumsi energi hanya berfokus pada hubungan antara konsumsi energi dan polusi lingkungan (emisi energi). Konsumsi energi memiliki dampak buruk bagi pencemaran lingkungan baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Selain pencemaran lingkungan (emisi karbon), ketergantungan energi khususnya pada negara pengimpor energi juga menimbulkan beban ekonomi pada negara tersebut (Adedoyin and Zakari 2020). Hal tersebut menimbulkan eksternalitas negatif yang mengganggu tercapainya efisiensi ekonomi. Eksternalitas menjadi sumber inefisiensi ekonomi ketika perusahaan atau industri tidak memepertimbangkan bahaya yang terkait dengan eksternalitas negatif, karena produktivitas yang berlebihan dan biaya sosial yang tidak diperhitungkan (Mangkoesoebroto 2016).

Konsumsi energi terhadap emisi karbon di sektor listrik tidak selamanya berdampak buruk apabila energi yang digunakan berasal dari energi yang dapat diperbaharui seperti air, angin, sinar matahari dan lain sebagainya. Penggunaan energi terbarukan membuktikan dapat menekan kadar emisi karbon dihasilkan. Namun, proporsi pembangkit listrik terbarukan masih sedikit digunakan karena masih bergantung pada sumber energi yang sulit diperbaharui seperti; batubara, minyak bumi, dan gas alam (Ehigiamusoe 2020).

Pindyck & Rubinfeld, (2014) menjabarkan bahwa emisi karbon dapat dikendalikan dengan menetapkan standar emisi yang dihasilkan pada suatu proses produksi. Pengenaan sanksi pada apabila emisi yang dihasilkan melebihi batas akan mendorong suatu perusahaan untuk memproduksi secara efisien. Selain itu, adanya pungutan emisi yang dapat membantu mengontrol emisi yang ditimbulkan. karena

perusahaan merasa dirugikan jika harus membayar pungutan setiap unit emisi yang dihasilkan, sehingga perusahaan akan memilih mengurangi emisinya untuk menghindari pungutan emisi tersebut. Terakhir Pindyck menjelaskan adanya izin emisi yang dapat diperjual-belikan, dimana setiap perusahaan harus memiliki izin untuk menghasilkan emisi yang memuat angka spesifik mengenai unit emisi yang diizinkan. Kemudian izin tersebut dialokasikan antar perusahaan dengan jumlah total izin dipilih hingga mencapai kadar emisi maksimum yang diinginkan. Perusahaan yang menghasilkan emisi karbon lebih banyak adalah pembeli izin tersebut, sedangkan perusahaan yang menghasilkan emisi karbon lebih rendah dapat menjual izin yang dimiliki.

METODE PENELITIAN

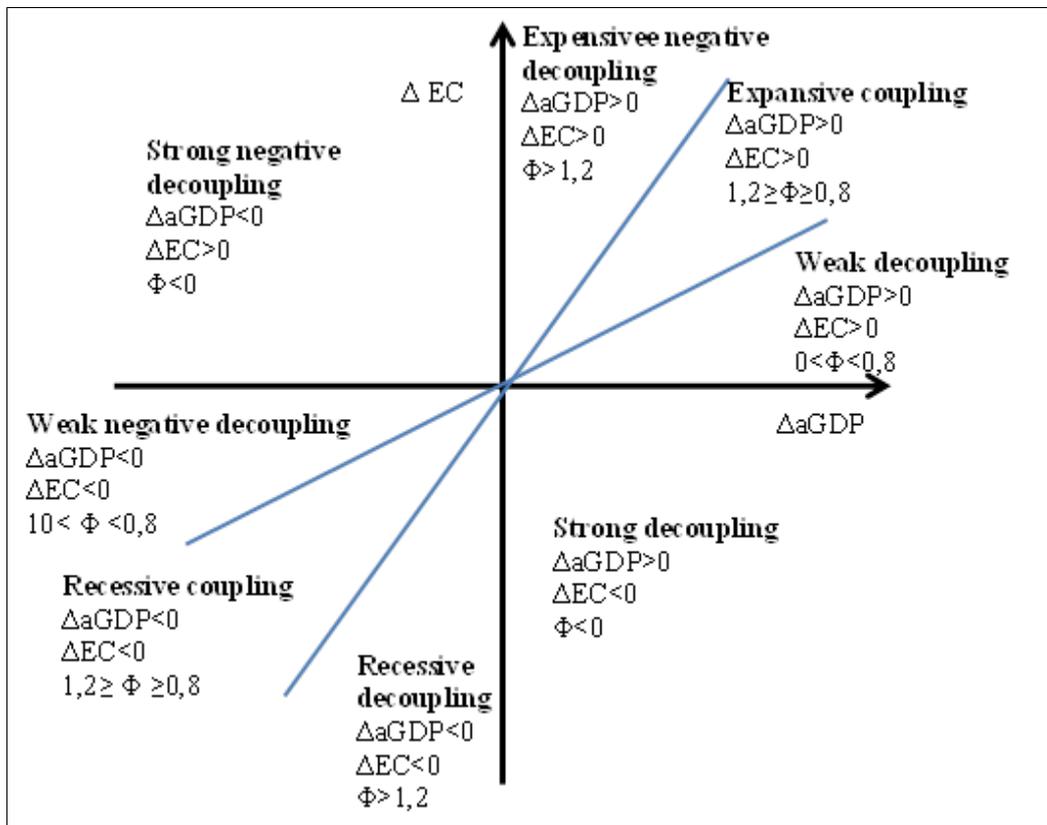
Jenis dan Sumber Data

Dalam penelitian ini data yang digunakan merupakan data sekunder dalam bentuk panel yang terdiri dari sembilan negara ASEAN antara lain; Indonesia, Malaysia, Singapura, Thailand, Philipina, Brunei Darussalam, Kamboja, Vietnam, dan Myanmar dalam periode penelitian antara tahun 2000 sampai tahun 2018. Sumber data penelitian diperoleh dari publikasi laporan tahunan *International Energy Agency* dan publikasi laporan tahunan *World Bank*, dengan variabel yang digunakan diantaranya emisi karbon sebagai variabel dependen, dan variabel independen antara lain: konsumsi listrik, pasokan energi, PDB riil, dan populasi. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode analisis *decoupling* dan estimasi model empirik. Penggunaan metode analisis *decoupling* ditujukan untuk melihat status derajat *decoupling* masing-masing negara yang menjadi objek penelitian. Selanjutnya, dilakukan uji empirik mencakup estimasi jangka pendek dan jangka panjang. Pengujian jangka pendek dilakukan dengan metode *Error Correction Model* (ECM) dan estimasi jangka panjang menggunakan *Fixed Effect Model* (FEM).

Konsep Decoupling

Dalam analisis *decoupling*, elastisitas *decoupling* (ϕ) digunakan untuk mengukur derajat *decoupling*, *coupling*, dan *negative decoupling*. Analisis *decoupling* atau lebih dikenal dengan *Tapio decoupling index*, mengidentifikasi bahwa status *decoupling* dengan batas inkremental yang fleksibel berdasarkan elastisitas *decoupling* dan objek yang diteliti. Dalam mengidentifikasi status *decoupling* suatu wilayah, Tapio membaginya dalam delapan derajat *decoupling* yang ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut:

Gambar 2
Indeks Decoupling



Sumber : Chen et al. (2020)

Gambar 3 mempresentasikan derajat *decoupling* yang menggambarkan konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi yang ditulis dalam persamaan sebagai berikut:

$$\phi = (\Delta EC / \Delta \alpha GDP) \times (\alpha GDP / EC) \dots\dots\dots(1)$$

Dimana ΔEC dan $\Delta \alpha GDP$ merupakan perubahan konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi dimasing-masing negara antara tahun dasar (0) hingga tahun target (t).

Perbedaan derajat *decoupling* dibagi menjadi 8 kategori, yaitu;

- *Strong decoupling*, terjadi ketika elastisitas decoupling menunjukkan kurang dari 0 ($\phi < 0$) yang berarti pertumbuhan ekonomi terus meningkat sedangkan konsumsi energi menurun.
- *Weak decoupling*, ditunjukkan dengan nilai elastisitas $0 < \phi < 0,8$, yang berarti bahwa peningkatan pertumbuhan ekonomi diiringi oleh peningkatan konsumsi energi, dimana peningkatan pertumbuhan ekonomi lebih tinggi dibanding peningkatan konsumsi listrik.
- *Recessive decoupling*, didefinisikan bahwa pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi bersama-sama mengalami penurunan ($\phi > 1,2$). Penurunan konsumsi listrik lebih besar dibanding penurunan pertumbuhan ekonomi.
- *Expansive negative decoupling* menunjukkan peningkatan yang terjadi pada pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi ($\phi > 1,2$). Dimana peningkatan konsumsi listrik lebih besar dibanding peningkatan pertumbuhan ekonomi.

- *Strong negative decoupling*, terjadi ketika peningkatan konsumsi energi diiringi oleh penurunan pertumbuhan ekonomi ($\varphi < 0$).
- *Weak negative decoupling*, terjadi penurunan baik pertumbuhan ekonomi maupun konsumsi energi ($0 < \varphi < 0,8$). Penurunan pertumbuhan ekonomi yang lebih besar dibanding penurunan konsumsi listrik.
- *Expansive coupling* didefinisikan sebagai status konsumsi energi dan pertumbuhan ekonomi keduanya meningkat.
- *Recessive coupling*, menunjukkan adanya penurunan baik konsumsi energi maupun pertumbuhan ekonomi.

Estimasi Regresi dengan *Fixed Effect Model*

Estimasi yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan estimasi *fixed effect model* atas dasar pengujian dari uji *chow* dan uji *hausman* yang telah dilakukan. Baik dari hasil uji *chow* maupun uji *hausman* sama-sama menunjukkan angka probabilitas $0,000 < \alpha = 0,05$. Hasil tersebut mendasari bahwa menggunakan model *fixed effect* lebih baik dibanding menggunakan model *common effect* maupun *random effect*. Dalam *fixed effect model*, intersep dari model regresi dapat berbeda-beda untuk masing-masing *cross section* karena setiap *cross section* memiliki karakteristik tersendiri. Perbedaan intersep pada masing-masing *cross section* dijelaskan dengan variabel *dummy* untuk menghasilkan yang berbeda, baik lintas unit *cross section* maupun antar unit *time series* (Gujarati 2009). Kemudian dalam *fixed effect model* ditulis dengan persamaan :

$$E_{it} = \alpha_{1it} + \alpha_2 D_{2i} + \alpha_3 D_{3i} + \alpha_4 D_{4i} + \alpha_5 D_{5i} + \alpha_6 D_{6i} + \alpha_7 D_{7i} + \alpha_8 D_{8i} + \alpha_9 D_{9i} + \beta_2 PDB_{it} + \beta_3 ES_{it} + \beta_4 EC_{it} + \beta_5 pop_{it} + \varepsilon_{it} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

- t : 1,2, ... T
- i : 1,2, ... N
- E : Emisi karbon sebagai variabel dependen
- PDB : Produk domestik bruto
- ES : *Energy supply* / pasokan energi
- EC : *Electricity consumption* / konsumsi listrik
- Pop : Populasi penduduk
- α : Konstanta
- β : intersep variabel independen
- ε : *error term*

Panel Error Correction Model

Analisis regresi ECM digunakan untuk mengestimasi hubungan jangka pendek suatu model penelitian. model ini bermula ketika variabel dalam model telah terkointegrasi, yang berarti adanya hubungan jangka panjang, maka diasumsikan jika pada hubungan jangka pendek tidak terjadi keseimbangan (*disequilibrium*). Dengan demikian ECM akan memperlakukan *error* untuk mencapai keseimbangan dalam kurun waktu tertentu (*lag*). Dalam teori representasi Grenger dijelaskan bahwa apabila dua variabel X dan Y adalah terkointegrasi, maka hubungan antar keduanya dapat dinyatakan sebagai ECM (Basuki and Prawoto 2017). Dalam model ECM terdapat *error* yang diperlakukan sebagai *error equilibrium* untuk mengikat

hubungan jangka pendek pada nilai jangka panjangnya. Selanjutnya, *error corection* dari estimasi jangka panjang digunakan sebagai salah satu variabel penjelas dalam model jangka pendek dengan hasil parameter harus bertanda negatif (<0) yang dinyatakan dalam ECT (*error corection term*) (Greene 2002). Persamaan ECM dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta E_{it} = \beta + \beta_1 \Delta PDB_{it} + \beta_2 \Delta ES_{it} + \beta_3 \Delta EC_{it} + \beta_4 \Delta pop + \beta_5 ECT_{it-1} + \varepsilon_{it} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

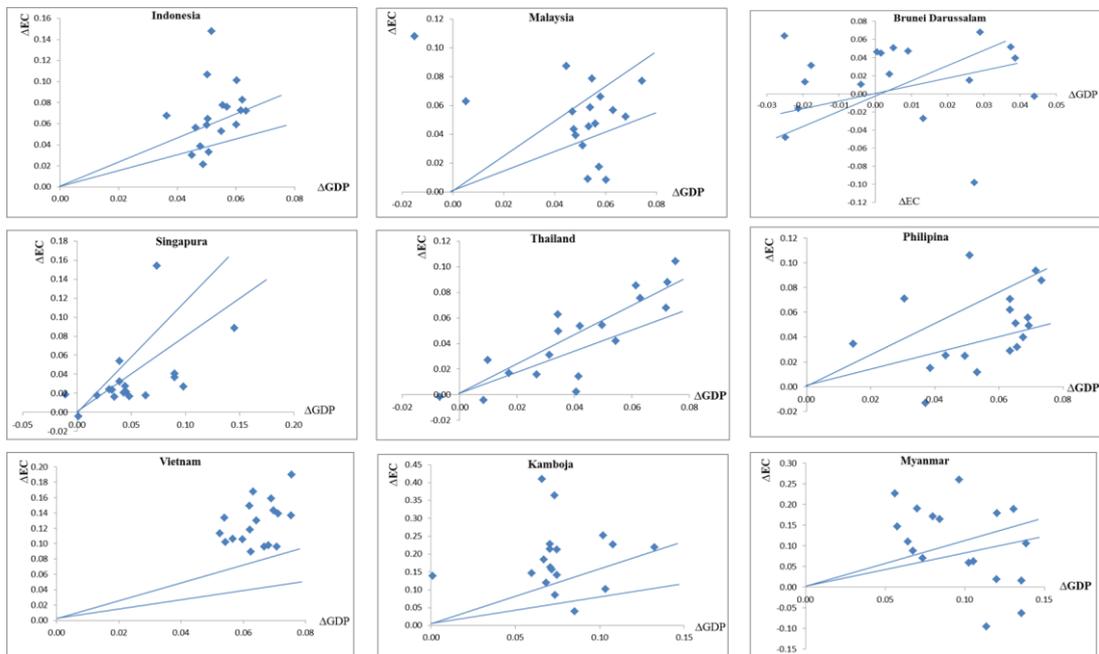
- t : 1,2, ... T
- i : 1,2, ... N
- E : Emisi karbon sebagai variabel dependen
- PDB : Produk domestik bruto
- ES : *Energy supply* / pasokan energi
- EC : *Electricity consumption* / konsumsi listrik
- Pop : Populasi penduduk
- β : Koefisirn regresi
- E : *error term*

HASIL DAN PEMBAHSAN

Hasil Analisis *Decoupling*

Dari hasil pengumpulan data konsumsi listrik dan pertumbuhan ekonomi tahun 2000 sampai 2018 dirumuskan dalam Persamaan_1, kemudian diklasifikasikan ke dalam delapan derajat *decoupling* dan *coupling* sesuai dengan nilai Δ konsumsi listrik , Δ aGDP, dan ϕ dari masing-masing negara ASEAN menunjukkan.

Gambar 3
Decoupling Konsumsi Listrik ASEAN Tahun 2000-2018



Sumber : Data diolah

Decoupling konsumsi listrik di ASEAN diantaranya Indonesia, Malaysia, Brunei, Singapura, Thailand, Philipina, Myanmar, Kamboja, dan Vietnam merepresentasikan bahwa sepanjang tahun 2000-2018 negara-negara tersebut mengalami fluktuasi kondisi *decoupling*. Derajat *decoupling* yang dialami Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Philipina memiliki kesamaan, dimana berada pada situasi *expansive negative decoupling*, *weak decoupling* dan *expansive coupling*. Situasi tersebut menjelaskan bahwa kenaikan konsumsi listrik diiringi dengan kenaikan pertumbuhan ekonomi dan terkadang kenaikan konsumsi listrik lebih tinggi dibanding kenaikan pertumbuhan ekonomi.

Hasil *decoupling* keempat negara tersebut juga serupa dengan penelitian Heidari et al, (2015) yang menggunakan pendekatan EKC, dimana pertumbuhan tingkat pendapatan diperkirakan akan menyebabkan peningkatan emisi CO₂. Negara-negara tersebut termasuk dalam negara berkembang yang tidak terlalu memperhatikan kualitas lingkungan, namun setelah mencapai tingkat pendapatan per kapita tertentu mereka menuntut lingkungan yang sehat. Kondisi tersebut ditunjukkan pada derajat *decoupling* Malaysia yang umumnya berada pada derajat *expansive coupling*. Indeks tersebut menunjukkan bahwa Malaysia berupaya untuk menekan pertumbuhan konsumsi listrik baik dengan mengalihkan pertumbuhan ekonomi ke sektor lain atau penggunaan sumberdaya listrik ke energi terbarukan.

Penggunaan sumber daya alam juga masih dilakukan oleh Singapura dengan gas alam, batu bara, minyak bumi sebagai sumber terbesar produksi listrik. Sebagian besar indeks *decoupling* Singapura menunjukkan *weak decoupling* dimana pendapatan nasional mereka naik lebih tinggi dibanding konsumsinya. Kondisi tersebut tidak lepas bahwa Singapura tergolong negara maju yang pendapatan nasionalnya tidak bergantung sepenuhnya pada sumber alam yang dimiliki, terhitung sejak tahun 1980-an investasi di Singapura telah bergeser ke jasa pembiayaan dan

asuransi dibanding ke sektor manufaktur. Selain itu, didukung dengan adanya Undang-Undang The Clean Air Act yang ditetapkan pada 1971 yang ketat sangat efektif pada penurunan polusi di Singapura (Q. Chen and Taylor 2020).

Indeks *decoupling* di Vietnam terdeteksi stagnan pada *expansive negative decoupling* selama tahun 2000-2018. Indeks tersebut berarti ketika PDB meningkat maka akan diiringi oleh peningkatan konsumsi listrik, namun peningkatan konsumsi listrik lebih tinggi dibanding peningkatan PDB. Hal tersebut menunjukkan Vietnam masih bergantung pada sektor kelistrikan untuk membantu sektor-sektor lain (industri, rumah tangga, dan lain-lain) dalam upaya meningkatkan pendapatan nasionalnya. Hingga tahun 2018 dalam sektor kelistrikan masih bergantung pada batu bara sebagai bahan utamanya yang mencapai 38,12% dari total pembangkit dan diperkirakan akan terus meningkat. Menipisnya sumber daya batubara tidak membuat Vietnam beralih kesumber daya energi terbarukan, ketergantungan pada impor batubara yang mencapai 21,4 juta ton menjadikan Vietnam dapat memperburuk kondisi lingkungannya. Sedangkan upaya penggunaan sumberdaya terbarukan hanya dilakukan pada pembangkit listrik tenaga air dan tenaga surya yang masih di tahap awal yang hanya berkapasitas 4.460 MW (Nguyen and Partner 2019).

Analisis *decoupling* menunjukkan beberapa tahun terakhir negara Kamboja yang pada umumnya mengalami indeks *expansive negative decoupling*. Di tahun 2003 dan 2012 Kamboja pernah mengalami *expansive coupling* namun, tidak dapat memperbaiki ke status *decoupling* yang lebih baik. Salah satu penyebab kondisi *decoupling* di Kamboja karena ketergantungan pada minyak bumi dan gas yang mencapai 93% di tahun 2010. Ketergantungan tersebut juga berdampak pada impor minyak bumi dan gas yang terus meningkat. Namun, pada akhir 2018 produksi listrik di Kamboja sebagian besar telah beralih ke tenaga air dengan total 48,5% kemudian disusul batubara dengan total 34,5% dari seluruh listrik yang dihasilkan (ODC, 2019).

Sedikit berbeda dengan Kamboja, indeks *decoupling* Myanmar cenderung mengalami penurunan. Di tahun 2001 dan 2005 Myanmar berhasil mencapai indeks *decoupling* kuat yang berarti pertumbuhan ekonominya tidak bergantung pada energi, namun pencapaian *decoupling* yang kuat terjadi karena penurunan konsumsi listrik di Myanmar sebesar -312 pada tahun 2001 dan -246 ditahun 2005. Dimulai dari tahun 2010 status *decoupling* Myanmar yang mengalami penurunan hingga ke-*expansive negative decoupling*, walaupun sumberdaya terbesar untuk kelistrikan berasal dari *hydro* dan gas alam yang menandakan sumberdaya yang digunakan nonfosil. Hal tersebut menjelaskan bahwa pemanfaatan listrik di Myanmar semakin tinggi untuk kebutuhan masyarakatnya karena dimulainya reformasi Myanmar agar terbebas dari keterpurukan kondisi politik dan ekonomi (The World Bank, 2020).

Dibandingkan dengan negara lainnya Brunei mengalami tren yang cukup ekstrim. Indeks *strong decoupling* hingga *strong negative decoupling* terdeteksi di Brunei. Dengan indeks tersebut dapat dikatakan Brunei masih bergantung pada energi untuk sumber kelistrikannya sebagai penunjang pendapatan nasionalnya. Sumber daya alam yang dimilikinya membuat Brunei mampu mencukupi kebutuhan listriknya dengan gas alam, namun terkadang kecukupan kebutuhan listrik tersebut tidak lantas membuat pendapatan nasionalnya meningkat seiring dengan konsumsi listrik negara yang dapat dilihat di beberapa ta yang menunjukkan status *decoupling* Brunei berada pada *strong negative decoupling* yang berarti pemanfaatan listrik yang terus meningkat tetapi pendapatan nasional mengalami penurunan.

Kondisi *decoupling* di masing-masing negara juga dipengaruhi oleh ekonomi, politik, dan sumber daya yang dimiliki. Indeks *decoupling* tersebut juga berarti penggunaan energi dari bahan fosil masih dilakukan. Ketergantungan energi dari fosil tersebut membuat emisi karbon di ASEAN-9 terus meningkat dan sulit tergantikan oleh energi terbarukan. Upaya untuk mengembangkan energi terbarukan juga telah dilakukan walaupun pelaksanaannya belum maksimal karena masih di tahap awal.

Hasil dari perhitungan *decoupling* di masing-masing negara juga merujuk pada teori *environmental kuznets curve* (EKC) yang mensejajarkan kondisi lingkungan salah satunya emisi karbon di ASEAN. Negara-negara yang masih memanfaatkan listrik sebagai penggerak untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi atau memiliki indeks *expansive negative decoupling*, merepresentasikan bahwa mereka masih berada di tahap *pra-industrial* seperti Vietnam, Indonesia, Kamboja, Brunei Darussalam, dan Myanmar. Sedangkan negara yang umumnya berstatus *expansive coupling* dan *weak decoupling* merepresentasikan bahwa mereka berada pada tahap industrial atau telah mencapai *turning point* dimana mereka telah sadar dalam memperbaiki kondisi lingkungan, walaupun upaya tersebut masih di tahap awal. Negara-negara tersebut seperti Malaysia, Thailand, dan Philipina. Keempat negara tersebut melakukan upaya dalam mengembangkan penggunaan energi terbarukan sebagai wujud ekonomi berkelanjutan. Singapura merupakan negara di ASEAN-9 yang telah mencapai *post-industrial*, dimana perekonomian Singapura tidak bertumpu pada sektor industri lagi melainkan sektor jasa.

Hasil Estimasi Regresi Panel Data

Pengujian hubungan jangka panjang pada masing-masing variabel dapat dilihat dari estimasi *panel least square* dengan metode *fixed effect model* (FEM). *Fixed effect model* mengasumsikan perbedaan antar individu dapat diakomodasi dari perbedaan intersepsinya. Hasil estimasi jangka panjang pada setiap variabel ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 2
Estimasi Fixed Effect Model (FEM), Variabel dependen: Emisi Karbon

Variabel	Koefisien	t-statistik	Probabilitas	R ²
C	3.403589	1.666081	0.0977	0,985553
GDP	-0.191982	-1.378239	0.1701	
Pasokan energi	0.581477	4.105660	0.0001*	
Konsumsi listrik	0.567062	6.351715	0.0000*	
Penduduk	-0.231755	-0.611503	0.5417	

Sumber : data diolah

Keterangan: * signifikan pada alfa 1%

Dari hasil estimasi dalam jangka panjang model penelitian menunjukkan secara parsial hanya variabel pasokan energi dan konsumsi listrik yang secara signifikan berpengaruh positif terhadap emisi karbon. Signifikansi ditunjukkan dari nilai probabilitas variabel yang menunjukkan nilai yang lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05 ($\alpha = 5\%$). Nilai probabilitas pasokan energi sebesar 0,0001* dan konsumsi listrik sebesar 0,0000*. Pengaruh positif terhadap emisi karbon

ditunjukkan dengan nilai koefisien dari pasokan energi sebesar 0,581477 dan konsumsi energi sebesar 0,567062.

Sedangkan hasil regresi ECM (*Error Corection Model*) dilakukan untuk mengoreksi ketidakseimbangan dalam jangka pendek menuju keseimbangan jangka panjang. Hasil estimasi ECM digunakan untuk mengestimasi emisi karbon yang ditunjukkan pada Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3
Estimasi Model ECM, Variabel Dependen: Emisi Karbon

Variabel	Koefisien	t-statistik	Probabilitas	R ²
C	0.000721	0.036570	0.9709	0.481847
GDP	0.030928	0.056823	0.9548	
Pasokan energi	0.564827	3.016061	0.0030*	
Konsumsi listrik	0.370393	1.442419	0.1512	
Penduduk	-0.209531	-0.094008	0.9252	
ECT(-1)	-0.934270	-11.65857	0.0000*	

Sumber : data diolah

Keterangan: * signifikan pada alfa 1%

Berdasarkan hasil estimasi dengan metode ECM menghasilkan koefisien ECT. Koefisien ECT digunakan untuk mengukur respon *regressand* setiap periode yang menyimpang dari keseimbangan. Ketidakseimbangan ECT ditunjukkan dalam nilai absolut yang menjelaskan seberapa cepat waktu yang diperlukan untuk mendapatkan nilai keseimbangan.

Dari hasil estimasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa hasil estimasi ECM hanya variabel pasokan energi yang berpengaruh signifikan terhadap emisi karbon dalam jangka pendek. Selain itu, variabel ECT memiliki nilai koefisien negatif dan signifikan berpengaruh terhadap emisi karbon karena nilai signifikansi yang lebih kecil dari $\alpha=5\%$ ($0,0000 < 0,05$) yang berarti model yang digunakan dapat di estimasi dan valid. Nilai koefisien ECT sebesar -0,934270 yang berarti bahwa perbedaan antara emisi karbon dengan nilai keseimbangan 0 akan disesuaikan dalam waktu satu tahun.

Hasil estimasi faktor- faktor yang mempengaruhi emisi dalam jangka panjang dan jangka pendek yang telah dilakukan, menunjukkan hanya pasokan energi yang signifikan pada estimasi jangka panjang dan jangka pendek, sedangkan konsumsi listrik hanya signifikan di estimasi jangka pendek.

Sesuai dari ungkapan Adedoyin & Zakari (2020), pasokan energi yang terus meningkat untuk mencukupi permintaan akan berdampak buruk bagi lingkungan dan juga menimbulkan beban ekonomi apabila sumber energi berasal dari impor. Terbukti dari keseluruhan pasokan energi yang dimiliki setiap negara ASEAN-9 sebagian diperoleh dari impor energi, dengan pertumbuhan impor energi tersebut menunjukkan ASEAN-9 telah bergantung pada energi khususnya bahan energi fosil. Kondisi tersebut membuktikan adanya eksternalitas negatif dari pasokan energi di setiap negara ASEAN-9 karena proses pengolahan sumber energi yang mengakibatkan polusi yang mengganggu kondisi lingkungan.

Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa konsumsi energi akan berpengaruh positif terhadap emisi karbon. Zhao et al., (2018) dan Ehigiamusoe

(2020) membuktikan bahwa permintaan energi dari bahan dasar fosil akan berpengaruh positif terhadap emisi karbon, berbeda dengan sumber daya dari energi terbarukan yang dapat membantu mengurangi konsumsi energi.

Serupa dengan variabel pasokan energi yang signifikan, konsumsi listrik di ASEAN -9 juga memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap emisi karbon. Berdasarkan hasil estimasi tersebut bertolak belakang dengan beberapa penelitian yang menjadi acuan. Rahman (2020) menjabarkan bahwa konsumsi listrik berpengaruh positif secara signifikan terhadap emisi karbon, sehingga meningkatkan degradasi lingkungan dalam jangka pendek. Namun, dalam jangka panjang konsumsi listrik menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap emisi karbon. Hal tersebut terjadi karena upaya dalam produksi listrik dengan energi terbarukan di ASEAN-9 masih berada di tahap awal sehingga belum dapat mengurangi emisi karbon secara signifikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis-analisis yang digunakan baik analisis *decoupling* dan estimasi model empirik dalam jangka panjang dan jangka pendek pada penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Hasil analisis *decoupling* menjelaskan bahwa sebagian besar negara ASEAN-9 masih terjebak dalam status *expansive negative decoupling* dari kurun waktu 2000-2018, yang berarti bahwa dalam pembangunan ekonomi di ASEAN-9 memanfaatkan penggunaan listrik secara optimal. Namun, sumber penghasil listrik di kawasan ASEAN-9 sebagian besar masih berasal dari bahan dasar fosil yang menimbulkan emisi karbon yang tinggi.
2. Hasil uji empirik dalam jangka panjang menunjukkan hanya variabel konsumsi listrik dan pasokan energi masing-masing menunjukkan pengaruh positif yang signifikan terhadap emisi karbon, hasil estimasi tersebut sesuai dengan teori dan hipotesis yang digunakan. Dalam jangka pendek hanya variabel pasokan energi yang memiliki pengaruh positif signifikan dan sesuai teori dan hipotesis yang ditetapkan.

Keterbatasan

Penelitian ini telah dilaksanakan dan diusahakan sesuai dengan prosedur ilmiah, namun dalam penyusunannya masih memiliki keterbatasan yang dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi peneliti selanjutnya agar memperoleh hasil penelitian yang lebih baik. Keterbatasan tersebut antara lain:

1. Keterbatasan data yang tersedia, sehingga tidak bisa meng-cover penelitian dalam rentang waktu yang lebih panjang dan cakupan isu terkait emisi karbon yang lebih luas.
2. Masih terbatasnya literatur-literatur pendukung yang dapat dijadikan acuan mengenai analisis *decoupling* yang membahas sektor konsumsi listrik di kawasan ASEAN.

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa implikasi kebijakan yang dapat diterapkan oleh pemerintah masing-masing negara yang berhubungan dengan konsumsi listrik dan emisi karbon, sebagai berikut:

1. Secara umum, negara-negara ASEAN harus mengambil kebijakan pertumbuhan ekonomi yang tepat yang berkaitan dengan kebijakan energi. Sebagian besar

- negara di ASEAN merupakan negara berkembang yang masih bergantung pada ketersediaan sumber energi untuk pembangunan ekonominya, maka pengurangan konsumsi energi secara drastis akan membahayakan pertumbuhan ekonomi karena energi menjadi penggerak utama bagi sektor industri.
2. Pemerintah perlu mengatur strategi investasi jangka panjang untuk meningkatkan penyediaan infrastruktur energi rendah karbon yang ramah lingkungan. Pengembangan R&D energi di ASEAN masih di tahap awal dan pengurangan emisi karbon belum dirasakan, sehingga investasi perlu diutamakan untuk efisiensi energi dan teknologi listrik rendah karbon.
 3. Pemerintah harus menetapkan standar emisi dan memberi sanksi berupa biaya dan pajak bagi perusahaan yang mencemari lingkungan lebih dari standar emisi yang telah ditetapkan. Peningkatan kesadaran publik juga dapat membantu dalam upaya memantau aktivitas produksi dan menuntut tanggung jawab secara sosial dari perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adedoyin, Festus Fatai, and Abdurashheed Zakari. 2020. "Energy Consumption, Economic Expansion, and CO₂ Emission in the UK: The Role of Economic Policy Uncertainty." *Science of the Total Environment* 738: 140014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140014>.
- Saint Akadiri, Seyi, Andrew Adewale Alola, Godwin Olasehinde-Williams, and Mfonobong Udom Etokakpan. 2020. "The Role of Electricity Consumption, Globalization and Economic Growth in Carbon Dioxide Emissions and Its Implications for Environmental Sustainability Targets." *Science of the Total Environment* 708: 134653. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134653>.
- Basuki, Agus Tri, and Nano Prawoto. 2017. *Analisis Regresi Dalam Penelitian Ekonomi Dan Bisnis*. Jakarta: PT RajaGrafindo Persada.
- Chen, Qinqin, and David Taylor. 2020. "Economic Development and Pollution Emissions in Singapore: Evidence in Support of the Environmental Kuznets Curve Hypothesis and Its Implications for Regional Sustainability." *Journal of Cleaner Production* 243: 118637. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118637>.
- Chen, Xi, Chenyang Shuai, Yu Zhang, and Ya Wu. 2020. "Decomposition of Energy Consumption and Its Decoupling with Economic Growth in the Global Agricultural Industry." *Environmental Impact Assessment Review* 81(September 2019).
- Ehigiamusoe, Kizito Uyi. 2020. "A Disaggregated Approach to Analyzing the Effect of Electricity on Carbon Emissions : Evidence from African Countries." *Energy Reports* 6: 1286–96. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.04.039>.
- Greene, William H. 2002. 89 *Journal of the American Statistical Association* *Econometric Analysis* (5th Edition). <https://www.jstor.org/stable/2291031?origin=crossref>.

- Gujarati, Damodar. 2009. *Basic Econometric 5 Edition*.
- Gupta, Shilpi. 2015. "Decoupling: A Step toward Sustainable Development with Reference to OECD Countries." *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 22(6): 510–19.
- Heidari, Hassan, Salih Turan Katircioğlu, and Lesyan Saeidpour. 2015. "Economic Growth, CO2 Emissions, and Energy Consumption in the Five ASEAN Countries." *International Journal of Electrical Power and Energy Systems* 64: 785–91.
- IEA. 2019. "Southeast Asia Energy Outlook 2019." (October).
- Mangkoesebroto, Guritno. 2016. *Ekonomi Publik*. 3th ed. Yogyakarta: BPFE-YOGYAKARTA.
- Mikayilov, Jeyhun I., Fakhri J. Hasanov, and Marzio Galeotti. 2018. "Decoupling of CO2 Emissions and GDP: A Time-Varying Cointegration Approach." *Ecological Indicators* 95(May 2018): 615–28. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.051>.
- Nasreen, Samia, Mounir Ben Mbarek, and Muhammad Atiq-ur-Rehman. 2019. "Long-Run Causal Relationship between Economic Growth, Transport Energy Consumption and Environmental Quality in Asian Countries: Evidence from Heterogeneous Panel Methods." *Energy*: 116628. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116628>.
- Nguyen, Vinh Quoc, and Partner. 2019. "Electricity Regulation in Vietnam: Overview | Practical Law." [https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/4-628-5349?__lrTS=20190923115517605&transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&firstPage=true#co_anchor_a875661](https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/4-628-5349?__lrTS=20190923115517605&transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&firstPage=true#co_anchor_a875661) (March 30, 2021).
- Nikensari, Sri Indah, Sekar Destilawati, and Siti Nurjanah. 2019. "Studi Environmental Kuznets Curve Di Asia: Sebelum Dan Setelah Millennium Development Goals." *Jurnal Ekonomi Pembangunan* 27(2): 11–25.
- ODC. 2019. "Energy | Open Development Cambodia (ODC)." <https://opendevelopmentcambodia.net/topics/energy> (March 30, 2021).
- Pindyck, Robert S., and Daniel L. Rubinfeld. 2014. *Mikroekonomi*. 8th ed. Erlangga.
- Rahman, Mohammad Mafizur. 2020. "Environmental Degradation: The Role of Electricity Consumption, Economic Growth and Globalisation." *Journal of Environmental Management* 253(October 2019): 109742. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109742>.
- The Worldbank. 2020. "Myanmar Overview." <https://www.worldbank.org/en/country/myanmar/overview> (March 30, 2021).



Wang, Xiaoling, Yawen Wei, and Qinglong Shao. 2020. “Decomposing the Decoupling of CO2 Emissions and Economic Growth in China’s Iron and Steel Industry.” *Resources, Conservation and Recycling* 152(June 2019): 104509. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104509>.

Zhao, Weigang et al. 2018. “Impacts of Shifting China’s Final Energy Consumption to Electricity on CO2 Emission Reduction.” *Energy Economics* 71: 359–69. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.03.004>.