



Keterbukaan Perdagangan dan Emisi CO₂: Studi Empiris Tingkat Provinsi di Indonesia

Trade Openness and CO₂ Emissions: An Empirical Study at the Provincial Level in Indonesia

Nanda Puspita¹

Program Pascasarjana Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia, Depok Indonesia

Djoni Hartono

Program Pascasarjana Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

Artikel Masuk : 9 Agustus 2021

Artikel Diterima : 22 November 2021

Tersedia Online : 31 Desember 2021

Abstrak: Adanya pro dan kontra pada hasil studi-studi terdahulu mengenai hubungan keterbukaan perdagangan dan lingkungan mendorong perlunya eksplorasi lebih mendalam terhadap mekanisme perdagangan dalam mempengaruhi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat hubungan antara keterbukaan perdagangan terhadap tingkat emisi CO₂ per kapita di Indonesia selama periode 2010-2018, melalui tiga mekanisme, yaitu efek skala, efek teknik, dan efek komposisi, serta membandingkan hasil penggunaan dua jenis ukuran intensitas perdagangan yaitu *trade share* dan *composite trade share*. Analisis dilakukan pada level provinsi dan dengan metode estimasi panel *random & fixed effects*. Hasil studi menemukan bahwa keterbukaan perdagangan memiliki hubungan yang positif dengan tingkat emisi CO₂ per kapita di Indonesia, dengan efek skala yang lebih mendominasi dibandingkan efek teknik. Selain itu, efek komposisi yang disebabkan oleh besarnya rasio kapital-tenaga kerja di suatu wilayah menjadi kontributor utama peningkatan emisi dibandingkan dengan efek komposisi akibat aktifitas perdagangan yang terinduksi dari keunggulan komperatif antar daerah yang memiliki elastisitas negatif. Sebagai tambahan, ukuran *composite trade share* mampu menjelaskan keterbukaan perdagangan yang lebih komprehensif dibandingkan dengan ukuran *trade share*.

Kata Kunci: CO₂; *composite trade share*; dekomposisi; keterbukaan perdagangan; *trade share*

Abstract: *There are pros and cons to the results of previous studies regarding the relationship between trade openness and the environment, prompts a deeper investigation of the mechanisms of trade in influencing the environment. This study aims to examine the relationship between trade openness and the level of per capita CO₂ emissions in Indonesia during the period 2010-2018, through three mechanisms, namely scale effects, technique effects and composition effects, as well as comparing the results of using two types of trade intensity measures, namely*

¹ Korespondensi Penulis: Program Pascasarjana Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia, Depok Indonesia

Email: nanda.puspita91@ui.ac.id

trade share and composite trade share. The analysis was conducted at the provincial level and using the random & fixed effects panel estimation method. The results of the study show that trade openness has a positive relationship with the level of per capita CO₂ emissions in Indonesia, with the scale effect being more dominant than the technique effect. Furthermore, the composition effect caused by the high capital-labour ratio in a region is the main contributor to the increase in emissions compared to the composition effect due to trade activities induced by the comparative advantage between regions which have negative elasticity. Moreover, the composite trade share index is able to explain trade openness more comprehensively than the trade share.

Keywords: CO₂; composite trade share; decomposition; trade openness; trade share

Pendahuluan

Majunya era globalisasi mendorong peningkatan integrasi antar daerah yang dicirikan salah satunya yaitu dengan maraknya aktifitas jual beli. Namun, aktifitas ini mendatangkan pro dan kontra akan dampaknya terhadap pemanasan global. Pasalnya, dunia sedang menghadapi kondisi genting dimana kenaikan rata-rata suhu permukaan bumi di tahun 2017 dari aktifitas manusia sudah mencapai sekitar 1°C di atas rata-rata suhu sebelum era industrialisasi (1850-1900), dengan peningkatan sebesar 0,2°C per dekade. Jika laju pemanasan ini terus berlanjut, diperkirakan suhu permukaan bumi sudah akan mencapai 1,5°C di sekitar tahun 2040 (IPCC, 2018). Padahal, perjanjian paris telah menetapkan 1,5°C sebagai target batasan suhu maksimal yang diperbolehkan. Apabila suhu permukaan bumi melewati nilai tersebut, tentunya akan muncul berbagai konsekuensi yang membahayakan keberlangsungan makhluk hidup. Oleh karenanya, isu mengenai perdagangan dan pemanasan global kini semakin ramai diperbincangkan.

Berbagai penelitian terkait pemanasan global umumnya menggunakan indikator emisi karbon dioksida (CO₂) sebagai fokus penelitian, dikarenakan zat tersebut merupakan salah satu kontributor utama penyebab efek gas rumah kaca. Berdasarkan laporan penilaian kelima IPCC (2014), karbon dioksida yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil dan proses industri menyumbang sekitar 78% dari total peningkatan gas rumah kaca pada periode 1970-2010. Dari total emisi yang dihasilkan, sekitar 40% emisi ini tetap berada di atmosfer, 30% emisi tertimbun di daratan seperti tanah dan tumbuhan, dan 30% sisanya terserap lautan yang berakibat pada peningkatan keasaman air laut – penurunan pH permukaan air sekitar 0,1 (IPCC, 2014). Akibatnya, upaya membatasi pemanasan global pada 1,5°C bahkan hingga setelah tahun 2100, akan sangat bergantung pada pengurangan emisi CO₂ (*Carbon dioxide removal*) dalam skala besar (Rogelj et al., 2018).

Beberapa hasil studi terdahulu terkait perdagangan dan emisi CO₂ menunjukkan adanya hubungan yang positif di antara keduanya. Hal ini disampaikan oleh hasil penelitian Mahmood et al. (2019), Rahman (2013), Shahbaz & Leitao (2013), Sharma (2011), Nakano et al. (2009), serta Weber et al. (2008). Dengan semakin maraknya ekspansi pasar, intensitas perdagangan akan semakin besar dan mendorong penggunaan bahan bakar fosil, serta eksploitasi sumber daya alam secara masif, yang pada akhirnya akan berdampak pada peningkatan polusi (Grossman & Krueger, 1991). Hal ini yang mendasari hasil studi Weber et al. (2008) dan Mahmood et al. (2019) yang menemukan bahwa peningkatan emisi CO₂ di China dan Tunisia umumnya didorong oleh peningkatan produksi untuk ekspor, dimana keunggulan utama produk ekspornya adalah barang-barang manufaktur. Begitu pun dengan Nakano et al. (2009) yang menemukan bahwa peningkatan perdagangan global mampu meningkatkan emisi karbon yang terkandung dalam kegiatan ekspor-impor.

Namun di sisi lain, terdapat studi yang menunjukkan bahwa hubungan perdagangan dan emisi karbon memiliki arah yang sebaliknya, atau negatif. Limpahan pengetahuan dan

kompetisi akibat dari keterbukaan perdagangan mampu memicu adopsi teknologi yang lebih ramah lingkungan dan efisien, terutama untuk negara-negara maju (Grossman & Krueger, 1991; Stoessel, 2001). Managi et al. (2009) menemukan bahwa keterbukaan perdagangan mampu menurunkan tingkat emisi untuk negara-negara OECD dibandingkan negara non-OECD. Hal yang serupa pun diperoleh pada penelitian Huang et al. (2019) untuk kasus China. Provinsi pada kuantil teratas memperoleh pengurangan emisi CO₂ lebih baik dibandingkan kuantil terbawah. Serta penelitian-penelitian lainnya seperti milik Dogan et al. (2017) Al-Mulali et al. (2015), Shahbaz, Tiwari, et al., (2013), dan Jayanthakumaran et al. (2012) yang memiliki temuan yang serupa. Perbedaan hasil ini mendorong perlunya studi lebih lanjut dalam menelaah jalur-jalur yang memungkinkan perdagangan untuk mempengaruhi emisi CO₂.

Salah satu penyebab perbedaan hasil pada studi terdahulu dapat saja diakibatkan karena tidak tertangkapnya efek dekomposisi dari keterbukaan perdagangan terhadap tingkat emisi karbon. Mayoritas penelitian yang dilakukan hanya memperhitungkan efek total atau efek langsung dari intensitas perdagangan. Padahal menurut Grossman dan Krueger (1991) serta Antweiler et al. (2001), keterbukaan dapat mempengaruhi emisi karbon melalui 3 mekanisme yaitu efek skala (*scale effect*), efek komposisi (*composition effect*), dan efek teknik (*technique effect*). Masing-masingnya memiliki pengaruh yang berbeda. Efek skala menggambarkan perluasan pasar sehingga memprediksi hubungan yang positif. Sebaliknya, efek teknik menggambarkan kemajuan dari standar produksi sehingga memprediksi hubungan yang negatif. Sedangkan arah dari efek komposisi bergantung kepada regulasi dan keunggulan komparatif dari suatu wilayah. Oleh karenanya, pengaruh total dari keterbukaan perdagangan terhadap emisi karbon akan bergantung pada besaran masing-masing efek tersebut dan nilainya akan berbeda menyesuaikan kondisi dari setiap negara. Dengan mempelajari mekanisme perdagangan dalam mempengaruhi tingkat emisi, maka dapat membantu para pemangku kebijakan dalam menentukan langkah yang lebih tepat agar manfaat dari keterbukaan perdagangan lebih mendominasi dibandingkan dampak negatifnya bagi lingkungan.

Selain itu, pengukuran dalam proksi keterbukaan perdagangan dapat saja mempengaruhi hasil yang diperoleh. Umumnya variabel utama yang digunakan adalah intensitas perdagangan yang diprosikan melalui indeks *trade share* atau rasio total ekspor dan impor terhadap total PDB. Menurut Squalli and Wilson (2011) ukuran ini memiliki kelemahan yaitu karakteristiknya yang hanya membandingkan posisi relatif performa perdagangan terhadap perekonomian domestiknya, menyebabkan negara-negara seperti Jepang, Argentina, Brazil, Amerika, dan India memiliki indeks keterbukaan perdagangan terendah (cenderung tertutup). Padahal sebagaimana yang kita ketahui bahwa negara-negara tersebut termasuk ke dalam negara perdagangan terbesar di dunia (Squalli & Wilson, 2011). Sebagai alternatif, Squalli dan Wilson (2011) mengusulkan penggunaan ukuran *composite trade share* yang dinilai mampu menangkap dua dimensi penting dalam keterbukaan perdagangan, yaitu rasio perdagangan terhadap perekonomian domestiknya dan interaksi substansial akan keterkaitannya dengan negara lain.

Tidak hanya dalam proses analisis, penggunaan level data pun perlu menjadi bahan pertimbangan. Penelitian terdahulu umumnya dilakukan dalam konteks nasional atau antar negara. Sedangkan umumnya, formulasi dan implementasi dari mitigasi permasalahan lingkungan di tingkat nasional akan didelegasikan kepada level sub-nasional atau provinsi. Walaupun dengan tujuan utama berfokus kepada penerapan arahan di tingkat nasional, namun ada juga fleksibilitas yang cukup untuk menyesuaikan dengan kepentingan dan kapasitas pada masing-masing daerah (Atteridge et al., 2012; BAPPENAS, 2011). Selain itu, perancangan perlu disesuaikan dengan dokumen perencanaan strategis daerah lainnya seperti RPJPD. Penentuan target sektoral pun dapat menyesuaikan dengan kondisi dan tingkat kerentanan yang ada, serta melibatkan *stakeholder* lokal seperti para pelaku usaha,

komunitas, hingga masyarakat setempat (BAPPENAS, 2011, 2014). Dengan variasi karakteristik yang beragam tersebut, memungkinkan adanya perbedaan dalam mitigasi antar provinsi. Akibatnya, dampak perdagangan terhadap emisi di setiap daerah bisa saja berbeda. Sehingga, analisis komparasi antar negara saja belum cukup dalam mengeneralisasikan perbedaan pendekatan terhadap kebijakan iklim yang ada (Somanathan et al., 2014).

Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melihat hubungan keterbukaan perdagangan terhadap emisi CO₂ dengan menggunakan analisis dekomposisi, serta melihat ada tidaknya perbedaan pada hasil yang menggunakan ukuran *trade share* dan *composite trade share* sebagai proksi dari variabel intensitas perdagangan. Penelitian ini akan diterapkan pada kasus Indonesia dengan unit observasi tingkat provinsi. Pemilihan objek penelitian ini dikarenakan Indonesia merupakan negara penghasil emisi CO₂ hasil pembakaran bahan bakar terbesar ke-6 di Asia dan pertama di ASEAN per tahun 2018 (International Energy Agency, 2020). Selain itu, karakteristik geografis Indonesia yang mayoritas berupa pulau-pulau kecil, kota-kota besar, wilayah pesisir, dan daerah pegunungan tinggi, menjadikan Indonesia termasuk pada daerah-daerah yang paling terkena dampak dari pemanasan global (Albert et al., 2018).

Adapun studi ini memiliki dua poin pembaruan. Pertama, penggunaan analisis dekomposisi yang digabungkan dengan data level provinsi. Hingga saat studi ini dilakukan, penulis belum menemukan studi yang mendekomposisikan pengaruh perdagangan terhadap emisi karbon di Indonesia. Beberapa penelitian empiris dengan topik yang sama seperti Zhang et al. (2017), Oktavilia dan Firmansyah (2016), Shahbaz, Hye, et al. (2013), dan Saboori et al. (2012) umumnya terfokus pada efek langsung intensitas perdagangan menggunakan analisis *time series*. Bahkan, hasil yang diperoleh memiliki kesimpulan yang berbeda. Saboori et al. (2012) menemukan bahwa keterbukaan perdagangan secara signifikan meningkatkan emisi karbon. Oktavilia dan Firmansyah (2016) pun menemukan bahwa efek dari perdagangan bebas di Indonesia mampu meningkatkan emisi CO₂ dalam jangka panjang, namun tidak untuk jangka pendek. Akan tetapi di sisi lain, Shahbaz, Hye, et al. (2013) dan Zhang et al. (2017) memberikan hasil bahwa keterbukaan perdagangan justru menurunkan polutan CO₂. Terlebih lagi, penelitian terkait emisi karbon biasanya menggunakan level data nasional dikarenakan keterbatasan data. Namun studi ini berusaha melakukan pendekatan lain untuk *generate* data pada tingkat provinsi. Pembaruan kedua, penggunaan ukuran lain dari keterbukaan perdagangan yaitu *composite trade share* dalam mengestimasi hubungan keterbukaan perdagangan dengan tingkat emisi CO₂. Hal ini merupakan bentuk penanganan atas kekurangan dari ukuran *trade share* yang telah dijelaskan sebelumnya.

Metode Penelitian

Penjelasan mengenai metode yang dilakukan pada studi ini terbagi menjadi 4 bagian, yaitu dekomposisi efek keterbukaan perdagangan terhadap lingkungan, model empiris, data, serta tahapan analisis.

Dekomposisi Efek Keterbukaan Perdagangan Terhadap Lingkungan

Adanya perbedaan pada hasil studi mengenai pengaruh keterbukaan perdagangan dan emisi CO₂ mendorong pemahaman lebih lanjut mengenai mekanisme hubungan kedua variabel tersebut. Dimulai dengan ide Grossman dan Krueger (1991) dan dilanjutkan dengan penjabaran oleh Antweiler et al. (2001), pengaruh keterbukaan perdagangan terhadap lingkungan dapat didekomposisi menjadi tiga efek yaitu efek skala (*scale effect*), efek teknik (*technique effect*), dan efek komposisi (*composition effect*). Efek skala merujuk

kepada perluasan pasar sebagai akibat dari keterbukaan perdagangan. Seiring dengan meningkatnya aktifitas ekonomi, maka penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi pun semakin besar, terutama di Indonesia, dimana lebih dari 70% nilai ekspornya diperoleh dari sektor industri. Seperti yang kita ketahui, penggunaan bahan bakar fosil pada sektor industri sangatlah tinggi dan sering diasosiasikan dengan peningkatan emisi karbon (Mgbemene et al., 2016). Selain itu, keterbukaan perdagangan juga berdampak pada peningkatan permintaan jasa transportasi lintas batas. Sehingga efek skala ini memprediksi hubungan positif antara perdagangan dan polusi (Grossman & Krueger, 1991).

Efek yang kedua yaitu efek teknik. Efek ini menggambarkan besarnya polutan yang dihasilkan untuk setiap unit output. Terdapat asumsi bahwa polutan per unit output akan berkurang dengan semakin majunya suatu negara. Alasan yang mendasarinya yaitu, pertama, keterbukaan perdagangan menstimulus adanya transfer teknologi modern yang lebih ramah lingkungan sebagai bentuk investasi asing. Kedua, dengan meningkatnya pendapatan sebagai dampak dari keterbukaan perdagangan, juga akan mendorong permintaan akan lingkungan yang lebih bersih. Sebagai respon, pemerintah akan menerapkan regulasi yang lebih ketat mengenai standar produksi yang lebih ramah lingkungan (Grossman & Krueger, 1991).

Efek yang terakhir yaitu efek komposisi. Efek ini berkaitan dengan struktur industri suatu perekonomian yang berubah ketika masing-masing negara menspesialisasikan kegiatan ekonominya pada keunggulan komparatif yang dimiliki. Hubungan efek ini dengan lingkungan dapat bersifat negatif atau pun positif. Argumentasi yang mendasari hal ini yaitu *factor endowment hypothesis* (FEH) dan *pollution haven hypothesis* (PHH). FEH menyatakan bahwa daerah dengan rasio kapital-tenaga kerja yang besar akan memiliki keunggulan komparatif pada barang-barang yang padat polusi (*dirty goods*). Hal ini menyebabkan negara-negara maju akan menjadi eksportir 'barang kotor' dan lebih tergerus dengan kerusakan lingkungan dibandingkan dengan negara-negara berkembang (Antweiler et al., 2001; Korves et al., 2011). Di sisi lain, PHH menyatakan bahwa negara maju cenderung memiliki regulasi lingkungan yang ketat dibandingkan negara berkembang. Hal ini mengakibatkan biaya untuk memproduksi barang padat polusi akan lebih besar. Sebaliknya, negara berkembang justru akan menikmati keunggulan komparatif pada barang padat polusi karena aturannya yang lebih longgar. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa FEH memprediksi bahwa keterbukaan perdagangan akan meningkatkan polusi di negara maju dan menurunkan emisi di negara berkembang, sedangkan PHH memprediksi bahwa keterbukaan perdagangan akan menurunkan polusi di negara maju dan meningkatkan polusi di negara berkembang (Antweiler et al., 2001; Korves et al., 2011).

Model Empiris

Pada studi ini, spesifikasi model empiris yang digunakan mengikuti model pada studi Antweiler et al. (2001) dengan beberapa penyesuaian pada variabelnya untuk memudahkan transisi penggunaan dari level nasional menjadi provinsi. Adapun model tersebut dapat dilihat pada persamaan (1).

$$E_{it} = \alpha_i + \alpha_1 S_{it} + \alpha_2 (S_{it})^2 + \alpha_3 I_{it} + \alpha_4 (I_{it})^2 + \alpha_5 KL_{it} + \alpha_6 (KL_{it})^2 + \alpha_7 KL_{it} I_{it} + \alpha_8 O_{it} + \alpha_9 O_{it} RI_{it} + \alpha_{10} O_{it} (RI_{it})^2 + \alpha_{11} O_{it} RKL_{it} + \alpha_{12} O_{it} (RKL_{it})^2 + \alpha_{13} O_{it} RI_{it} RKL_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Keterangan: i = indeks untuk provinsi; t = indeks untuk tahun; E_{it} = emisi CO₂ per kapita; S_{it} = skala perekonomian yang diprosikan dari PDRB per km²; I_{it} = lag 1 periode dari pendapatan per kapita yang diukur melalui PDRB per kapita.

Pada penelitian Antweiler et al. (2001), ukuran ini menggunakan proksi PNB per kapita, namun dikarenakan data PNB tidak tersedia untuk tingkat provinsi, maka PDRB per kapita dijadikan sebagai alternatif. Selanjutnya, KL_{it} merujuk kepada rasio kapital-tenaga kerja dan O_{it} merujuk kepada intensitas perdagangan yang pada studi ini akan menggunakan dua jenis ukuran yaitu *trade share* dan *composite trade share*. Lebih lanjut, penambahan huruf 'R' pada RI_{it} dan RKL_{it} digunakan untuk menunjukkan posisi relatif dari pendapatan per kapita dan rasio kapital-tenaga kerja pada provinsi ke-*i* terhadap angka rata-rata. Hal ini digunakan untuk melihat kekuatan relatif dari regulasi lingkungan dan *factor endowment* pada setiap daerah (Cole & Elliott, 2003). Terakhir, notasi ε_{it} menunjukkan bentuk *error term*.

Pada persamaan (1), efek skala diwakilkan oleh variabel S_{it} . Hal ini guna untuk melihat besarnya perekonomian relatif terhadap ukuran wilayah. Bisa jadi suatu daerah memiliki perekonomian yang lebih besar dibandingkan daerah lainnya karena memang memiliki wilayah administrasi yang juga lebih besar. Oleh karenanya, luas wilayah digunakan sebagai faktor koreksi. Sedangkan, ukuran pendapatan per kapita (I_{it}) digunakan untuk memproksikan efek teknik. Ukuran ini diasumsikan mampu menggambarkan tingkat regulasi mengenai lingkungan. Semakin tinggi pendapatan masyarakat di suatu daerah, maka semakin tinggi juga permintaan akan lingkungan yang lebih layak huni/bersih dari polusi. Dengan begitu, pemerintah akan merespon dengan meningkatkan aturan standar produksi yang lebih ketat. Sebagai tambahan, untuk menangkap kemungkinan adanya hubungan non-linier, baik pada efek skala maupun teknik, bagi keduanya ditambahkan bentuk kuadrat dari setiap ukuran yang mewakili.

Efek komposisi pada persamaan (1) diwakilkan oleh rasio kapital-tenaga kerja (KL_{it}). Variabel ini menggambarkan struktur output 'barang kotor' dalam perekonomian. Adanya penambahan bentuk kuadrat guna melihat ada tidaknya *diminishing effect* dari akumulasi kapital. Ditambah dengan bentuk interaksi $KL_{it}I_{it}$ untuk melihat efek rasio kapital-tenaga kerja pada setiap level pendapatan, dan juga hal sebaliknya. Selain itu, bagian persamaan yang mengandung variabel perdagangan (O_{it}) juga dapat dikatakan sebagai bagian dari efek komposisi. Variabel-variabel ini menggambarkan kekuatan relatif antara *factor endowment hypothesis* (FEH) melawan *pollution haven hypothesis* (PHH). Antweiler et al. (2001) menyebutkan bahwa efek perdagangan dapat bergantung dari kekuatan relatif suatu wilayah, sehingga dalam spesifikasi model dituliskan sebagai bentuk interaksi. Managi et al. (2009) mengategorikan bahwa bagian persamaan yang mengandung unsur variabel perdagangan (O_{it}) sebagai *direct trade-induced composition effect*, sedangkan variabel KL_{it} sebagai *indirect trade-induced composition effect*. Walaupun umumnya, sebutan efek komposisi sering digunakan untuk mengacu kepada *indirect trade-induced composition effect*, sedangkan untuk penyebutan *direct trade-induced composition effect* yang sering digunakan hanyalah sebagai '*trade-induced composition effect*'.

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, diketahui bahwa efek skala memperkirakan adanya peningkatan polusi akibat dari peningkatan skala ekonomi, sedangkan efek teknik memperkirakan adanya penurunan polusi akibat dari perbaikan standar produksi. Oleh karena itu, dapat diasumsikan bahwa koefisien α_1 akan bernilai positif dan α_3 bernilai negatif. Pada *indirect trade-induced composition effect*, ketika suatu daerah memiliki rasio kapital-tenaga kerja yang besar, maka diperkirakan bahwa output 'barang kotor' akan lebih banyak diproduksi. Sehingga tanda untuk koefisien α_5 diekspektasikan bernilai positif. Sedangkan, *direct trade-induced composition effect* menggambarkan kekuatan relatif antara *pollution haven hypothesis* (PHH) yang diwakili oleh bentuk interaksi variabel O_{it} dan RI_{it} , melawan *factor endowment hypothesis* (FEH) yang diwakili oleh bentuk interaksi variabel O_{it} dan RKL_{it} . PHH memprediksi bahwa daerah dengan pendapatan

masyarakatnya tinggi akan mendorong pemerintah untuk menciptakan regulasi lingkungan yang lebih ketat. Sedangkan FEH memprediksi bahwa daerah yang secara relatif memiliki rasio kapital-tenaga kerja lebih besar akan cenderung menciptakan lebih banyak polusi dibandingkan daerah dengan relatif rasio kapital-tenaga kerja yang lebih kecil. Oleh karenanya, koefisien α_9 diekspektasikan bernilai positif dan α_{10} bernilai negatif. Sedangkan koefisien α_{11} diekspektasikan bernilai negatif dan α_{12} akan bernilai positif. Sementara itu, koefisien-koefisien lainnya yang tidak disebutkan, dapat bernilai positif maupun negatif. Koefisien-koefisien ini digunakan untuk melihat secara sederhana, arah dari setiap efek. Sedangkan untuk besarnya, akan dilihat melalui elastisitas yang akan dibahas berikutnya.

Data

Studi ini menggunakan analisis data sekunder panel tingkat provinsi di Indonesia dengan pembagian daerah 33 provinsi untuk periode 2010-2018. Keterbatasan pada data emisi menyebabkan pendeknya waktu observasi. Tidak adanya sumber yang memberikan data secara eksplisit mengenai tingkat emisi CO₂ pada level provinsi sehingga diperlukan suatu pendekatan, yaitu dengan mengonversi jejak karbon pada konsumsi BBM dan konsumsi listrik. Data mengenai konsumsi BBM dan listrik, serta konversinya diperoleh dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Walaupun tidak secara langsung menggunakan data emisi aktual, namun diharapkan data yang ada mampu mewakili penggunaan terbanyak penghasil emisi karbon.

Terdapat dua ukuran intensitas perdagangan yang digunakan dalam studi ini, yaitu *trade share* (TS) dan *composite trade share* (CTS). TS atau persentase total ekspor dan impor terhadap PDB (dalam hal ini PDRB), adalah ukuran yang paling umum digunakan dalam studi-studi yang membahas keterbukaan perdagangan. Namun seperti yang telah disebutkan sebelumnya, ukuran ini memiliki kelemahan yaitu hanya membandingkan performa perdagangan dengan perekonomian domestiknya (Squalli & Wilson, 2011). Oleh karenanya, studi ini juga menggunakan ukuran lainnya sebagai pembanding yaitu CTS. Keunggulan dari ukuran ini yaitu tidak hanya melihat posisi relatif perdagangan terhadap ekonomi domestik, namun juga membandingkannya dengan performa perdagangan daerah lainnya. Formula CTS dapat dituliskan pada persamaan 2.

$$CTS_{it} = \frac{(Ekspor+Impor)_{it}}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Ekspor+Impor)_{it}} \frac{(Ekspor+Impor)_{it}}{PDRB_{it}}, \quad (2)$$

Keterangan: n = jumlah sampel; i = indeks provinsi; t = waktu.

Dikarenakan studi ini menganalisis pada tingkat provinsi, tentunya perhitungan TS maupun CTS memerlukan penyesuaian. Seperti halnya penggunaan PDRB sebagai alternatif PDB, ekspor dan impor pun harus menggambarkan aktifitas perdagangan keluar masuk untuk wilayah administrasi yang bersangkutan. Pada tingkat provinsi, kegiatan ekspor dan impor tidak terbatas pada perdagangan luar negeri saja, namun juga termasuk perdagangan antar provinsi. Perdagangan antar provinsi sering digunakan sebagai alat untuk meningkatkan integrasi ekonomi antar daerah serta pembangunan ekonomi regional melalui pendistribusian sumber daya yang lebih merata (Chen et al., 2021). Dengan tujuan tersebut, maka hambatan perdagangan antar provinsi biasanya tidak akan seketat hambatan pada perdagangan luar negeri. Namun akibatnya, dampak dalam peningkatan dan perpindahan emisi CO₂ akan memiliki skala yang lebih besar (Guo et al., 2012; Zhang et al. 2014). Guna mengantisipasi hal tersebut, maka studi ini mengikut sertakan kedua jenis perdagangan. Walaupun dalam penggunaannya, nilai dari kedua perdagangan tersebut disatukan karena adanya keterbatasan pada data yang tersedia.

Untuk melengkapi variabel penjelas, berbagai data telah dikumpulkan dan umumnya bersumber pada Badan Pusat Statistik (BPS). Untuk variabel skala, data PDRB yang digunakan adalah harga konstan 2010 dibagi dengan luas wilayah administrasi dari provinsi yang bersangkutan. Data pendapatan per kapita diperoleh dengan membagi data PDRB harga konstan 2010 dengan populasi per provinsi. Perlu diingat bahwa data pendapatan per kapita yang digunakan adalah data pada satu periode sebelumnya. Hal ini digunakan untuk mengantisipasi masalah *endogeneity*. Selanjutnya, data stok kapital diestimasi melalui metode *Perpetual Inventory Method* menggunakan data Pembentukan Modal Tetap Bruto (PMTB). Data tenaga kerja diperoleh dari data Survei Angkatan Kerja Nasional (SAKERNAS) versi Agustus untuk setiap tahunnya. Terakhir, data ekspor-impor untuk setiap provinsi diperoleh melalui rincian PDRB berdasarkan pengeluaran. Secara ringkas, deskripsi dari variabel-variabel yang digunakan disajikan dalam Lampiran A.

Tahapan Analisis

Untuk menjawab pertanyaan pertama studi ini, yaitu melihat hubungan perdagangan melalui efek dekomposisi terhadap emisi CO₂, akan dilakukan dengan melihat tanda dan *magnitude* dari elastisitas pada setiap efek sehingga dapat diketahui dominasi arah secara keseluruhan. Sedangkan untuk menjawab pertanyaan kedua, yaitu membandingkan performa ukuran *trade share* dan *composite trade share*, dilakukan dengan melihat kesesuaian posisi indeks kedua ukuran tersebut pada setiap provinsi dan membandingkannya dengan keunggulan yang ada, serta membandingkan tingkat signifikansi dari hasil estimasi koefisien *trade share* dan *composite trade share* dalam mewakili intensitas perdagangan pada hasil regresi maupun perhitungan elastisitas.

Adapun tahapan analisis yang akan dilakukan yaitu, pertama, mengeksplorasi data dengan melihat statistik dasar dari setiap variabel yang ada. Hal ini ditujukan agar pembaca dapat mengetahui karakteristik dan keunggulan dari objek penelitian yang digunakan. Selain itu, diberikan juga diagram pencar (*scatter plot*) bagi ukuran *trade share* maupun *composite trade share* terhadap pendapatan per kapita relatif, guna mencocokkan indeks tersebut dengan kondisi yang ada pada setiap provinsi. Sehingga, diperoleh gambaran sementara mengenai perbedaan kedua ukuran perdagangan tersebut.

Langkah kedua, yaitu mengestimasi koefisien model pada persamaan (1) menggunakan regresi data panel melalui metode estimasi panel *random effects* dan *fixed effects*. Estimasi model ini dilakukan secara terpisah untuk penggunaan ukuran *trade share* dan *composite trade share*. Untuk melihat kokokohan model, hasil estimasi dilakukan dengan menambahkan variabel secara bertahap melalui spesifikasi model, sebut saja A, B, dan C. Spesifikasi model A hanya mengikutsertakan variabel inti yang mewakili setiap efek dekomposisi (S_{it}, I_{it}, KL_{it} , dan semua bentuk interaksi dengan O_{it}). Spesifikasi model B menambahkan bentuk kuadrat dari variabel pendapatan per kapita (I_{it}) dan rasio kapita-tenaga kerja (KL_{it}) pada model A, untuk melihat ada tidaknya *diminishing effect*, serta bentuk interaksinya untuk melihat ketergantungan dari keduanya. Sedangkan model C adalah model lengkap dari persamaan (1) dengan menambahkan bentuk kuadrat dari skala ekonomi (S_{it}) pada model B, untuk melihat ada tidaknya karakteristik non-linier pada produksi atau konsumsi. Apabila koefisien model telah diperoleh, maka dilakukan pemilihan model final dengan mempertimbangkan ada tidaknya perbaikan *goodness-of-fit* dan signifikansi dari variabel yang ada.

Langkah ketiga adalah mengestimasi nilai elastisitas untuk setiap efek dekomposisi berdasarkan koefisien regresi yang telah diperoleh. Setiap efek dekomposisi dievaluasi secara marjinal terhadap variabel inti pada rata-rata sampel menggunakan metode *delta method*. Efek skala, teknik, *indirect trade-induced composition*, serta *direct trade-induced composition* masing-masingnya diturunkan terhadap variabel S_{it}, I_{it}, KL_{it} , dan O_{it} . Apabila

nilai elastisitas telah diperoleh, dapat diketahui efek yang mendominasi berdasarkan arah dan *magnitude* yang ada.

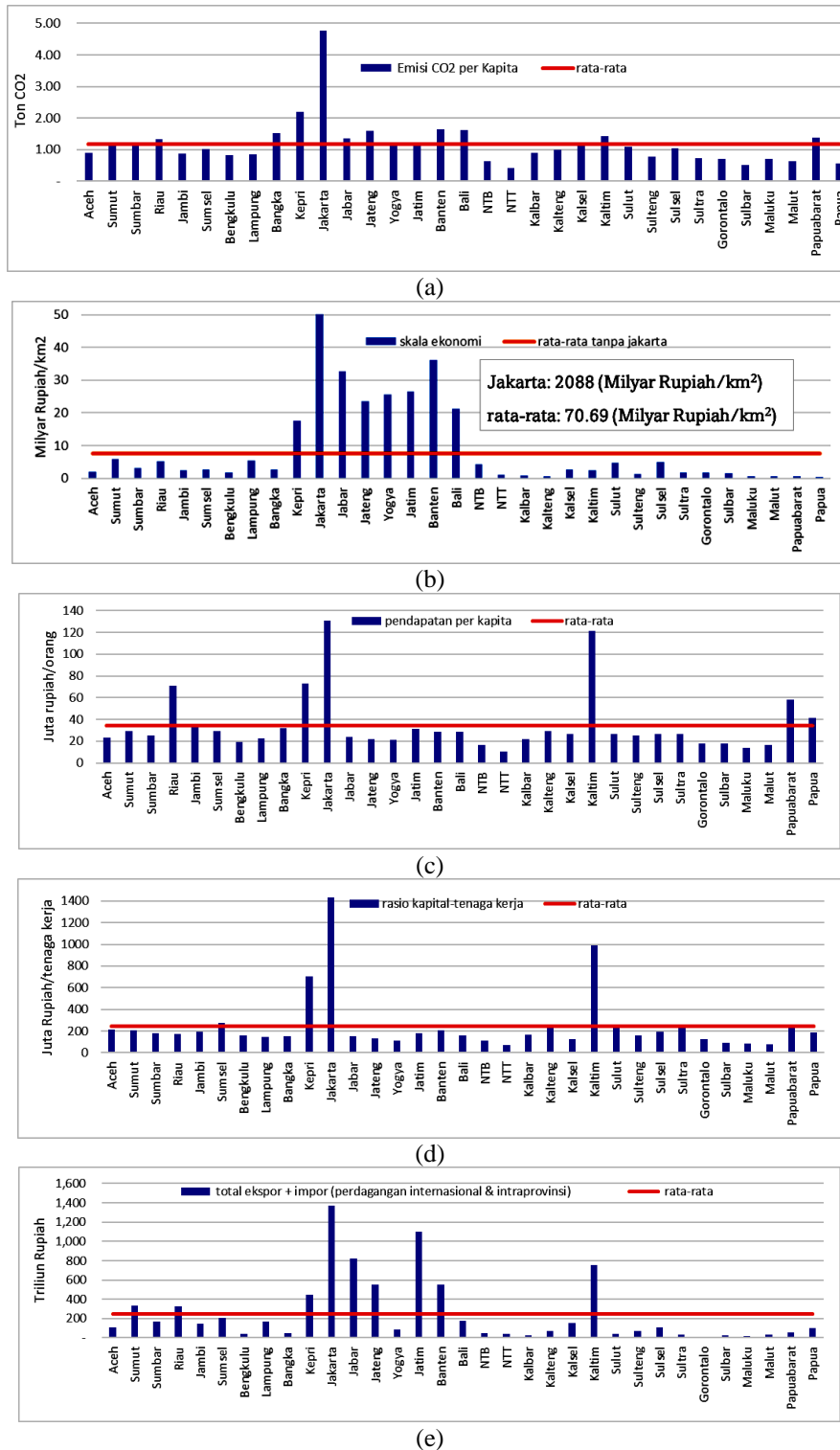
Hasil dan Pembahasan

Eksplorasi Data

Guna mengetahui karakteristik dari objek penelitian yang digunakan, ada baiknya dilakukan pendalaman data secara deskriptif terlebih dahulu. Hal ini berguna nantinya untuk membantu menjelaskan penemuan yang diperoleh baik pada estimasi model maupun pada perbandingan kedua ukuran intensitas perdagangan. Tabel 1 menunjukkan statistik ringkas dari variabel-variabel yang ada (grafik setiap variabel untuk setiap provinsi diberikan pada Gambar 1). Dapat dilihat bahwa rata-rata tingkat emisi CO₂ per kapita di 33 Provinsi selama periode 2010-2018 berada pada nilai 1,18 Ton CO₂/orang dengan nilai tertinggi dimiliki oleh Provinsi DKI Jakarta dan Provinsi Kepulauan Riau. Sedangkan nilai terendah dimiliki oleh Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT). DKI Jakarta sebagai ibu kota Negara Indonesia dan pusat tentunya memiliki intensitas aktivitas yang sangat padat. Kepulauan Riau pun memiliki sektor manufaktur sebagai kontributor utama pendapatannya, yaitu sekitar 36,86% dari total PDRB di tahun 2018, dengan industri yang mendominasi adalah industri elektronik dan produk dari besi dan baja. Selain itu, Kepulauan Riau juga memiliki sektor pariwisata yang mumpuni, sehingga dapat dibayangkan betapa besarnya konsumsi BBM dan listrik yang ada. Di sisi lain, Provinsi NTT masih mengandalkan sektor pertanian sebagai penopang utama perekonomian. Sektor tersebut masih didominasi oleh kegiatan padat karya sehingga kontribusi pada emisi CO₂ terbilang rendah.

Tabel 1. Ringkasan Statistik Setiap Variabel

Variabel	Satuan	Jumlah Sampel	Rata-rata	Std. Dev	Min	Maks
Emisi CO ₂ per kapita	Ton CO ₂ /orang	297	1,1802	0,7838	0,3237	5,4598
Skala Perekonomian	Milyar Rupiah/km ²	297	70,6914	361,7439	0,3325	2.614,8550
Pendapatan per Kapita	Juta Rupiah/orang	297	34,6010	27,4546	9,0176	158,0051
Rasio Kapital-Tenaga Kerja	Juta Rupiah/orang	297	246,4754	275,0508	46,2609	1.700,4270
<i>Trade Share (TS)</i>	-	297	1,0172	0,5159	0,1753	3,9306
<i>Composite Trade Share (CTS)</i>	-	297	1,1358	1,6260	0,0141	8,2019
Pendapatan per kapita relatif	-	297	1,0000	0,7908	0,2917	4,0674
Rasio Kapital-Tenaga Kerja Relatif	-	297	1,0000	1,1109	0,2197	6,1371

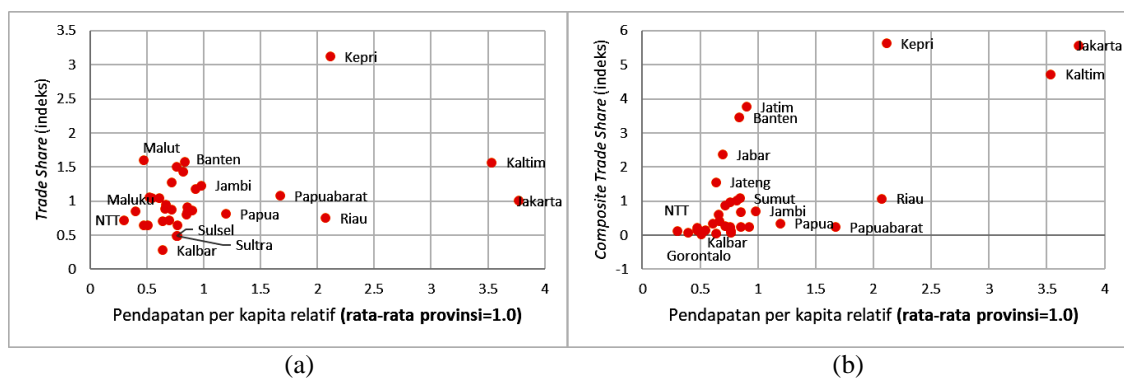


Gambar 1. (a) Rata-rata Nilai Emisi CO₂ Per Kapita, (b) Skala Perekonomian, (c) Pendapatan Per Kapita, (d) Rasio Kapital-Tenaga Kerja, dan (e) Nilai Ekspor & Impor untuk Setiap Provinsi Periode 2010-2018

Jika dilihat dari ukuran skala perekonomian, pendapatan per kapita, dan rasio kapital tenaga-kerja, Provinsi Jakarta kembali menjadi pemegang nilai tertinggi. Skala

perekonomian membagi PDRB dengan luas daerah, tentunya ibu kota negara dengan luas daerah terkecil akan memiliki nilai yang sangat tinggi, diikuti oleh provinsi-provinsi yang ada di pulau Jawa. Kemudian untuk variabel pendapatan per kapita dan rasio kapital-tenaga kerja, pemegang nilai tertinggi lain selain Jakarta yaitu Provinsi Kalimantan Timur dan Kepulauan Riau. Provinsi-provinsi tersebut umumnya ditopang kuat dari sektor pertambangan dan/atau pengolahan. Selain memiliki nilai tambah yang tinggi, sektor tersebut merupakan sektor padat modal yang memerlukan barang modal yang lebih banyak/mahal dibandingkan tenaga kerjanya. Sebaliknya, provinsi-provinsi yang umumnya memiliki nilai terendah pada variabel-variabel tersebut adalah NTT, Maluku, dan Maluku utara, dimana sektor unggulannya adalah pertanian dan peternakan yang didominasi oleh tenaga kerja.

Selanjutnya, akan dibahas mengenai perbandingan ukuran dari intensitas perdagangan yang digunakan pada studi ini, yaitu *trade share* (TS) dan *composite trade share* (CTS). Ukuran TS diperoleh dengan membagi total nilai ekspor dan impor terhadap PDRB, sedangkan CTS memberikan unsur tambahan yaitu mengalikan nilai TS dengan rasio total ekspor dan impor terhadap nilai rata-ratanya dari seluruh wilayah. Sehingga CTS memiliki kelebihan yaitu selain membandingkan aktifitas perdagangan luar daerah dengan perekonomian domestiknya, namun juga membandingkan perdagangannya secara relatif dengan daerah lainnya. Untuk melihat perbedaan keduanya, diberikan plot TS dan CTS terhadap pendapatan relatif pada Gambar 2.



Gambar 2. Plot Intensitas Perdagangan terhadap Pendapatan Relatif. Panel a menggunakan ukuran *Trade Share* (TS) dan Panel b menggunakan *Composite Trade Share* (CTS)

Berdasarkan ukuran TS, provinsi dengan intensitas perdagangan tertinggi yaitu Kepulauan Riau, Maluku Utara, dan Banten. Sedangkan, provinsi dengan intensitas perdagangan terendah yaitu Kalimantan Barat, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Selatan. Akan tetapi, jika dilihat berdasarkan rata-rata total nilai ekspor dan impor pada Gambar 1, provinsi dengan peringkat teratas adalah Jakarta, Jawa Timur, dan Jawa Barat. Banten dan Kepulauan Riau menempati urutan ke-6 dan ke-7. Sedangkan Maluku Utara menempati posisi ke-6 terendah. Namun berdasarkan ukuran TS, Provinsi Jakarta berada pada urutan ke-14, di bawah Kepulauan Riau, bahkan di bawah Maluku Utara yang tergolong memiliki ekspor impor yang terendah. Sebagai pemilik PDRB tertinggi, tentunya akan menjadikan Jakarta memiliki nilai TS yang kecil karena posisi PDRB sebagai pembagi dalam pecahan. Jika dibandingkan dengan Kepulauan Riau yang memiliki lokasi yang strategis, tentunya kegiatan ekspor dan impor Kepulauan Riau memiliki porsi yang cukup besar dari nilai PDRB-nya. Namun jika dilihat secara nilai, aktivitas ekspor dan impor Jakarta bernilai jauh lebih besar dibandingkan Kepulauan Riau. Oleh karenanya, ukuran CTS mengoreksi hasil

indeks TS, sehingga diperoleh provinsi dengan intensitas perdagangan tertinggi yaitu Kepulauan Riau, Jakarta, dan Kalimantan Timur. Sedangkan provinsi dengan nilai terendah yaitu Gorontalo, Kalimantan Barat, dan Sulawesi Tenggara. Dari hasil ini dapat disimpulkan jika ukuran CTS lebih baik dalam menggambarkan kondisi aktual dari keterbukaan perdagangan dibandingkan dengan ukuran TS.

Hasil Estimasi Model

Tabel 2 menampilkan hasil estimasi model empiris dari persamaan (1), baik yang menggunakan indeks *trade share* (TS) maupun indeks *composite trade share* (CTS) sebagai ukuran untuk intensitas perdagangannya. Hasil yang ditampilkan adalah hasil estimasi dengan metode panel *fixed effect* (hasil *random effect* diberikan pada Lampiran B). Hal ini didasari pada hasil uji Hausman yang signifikan. Serta mengingat adanya keterbatasan pada data, metode *fixed effect* dianggap lebih mampu untuk menangani kemungkinan adanya masalah *omitted variable bias*.

Hasil estimasi pada Tabel 2 menunjukkan bahwa penambahan bentuk kuadrat pada model B, baik pada model dengan TS maupun CTS, dapat meningkatkan signifikansi, terutama pada komponen dengan rasio kapital-tenaga kerja (KL), walaupun terjadi penurunan signifikansi untuk variabel skala ekonomi. Akan tetapi, penambahan bentuk kuadrat pada model C terlihat meningkatkan signifikansi, tidak hanya pada skala ekonomi, namun juga komponen pendapatan per kapita. Selain itu, terlihat juga perbaikan *standar error* pada beberapa variabel serta peningkatan *goodness-of-fit* (R²) pada model. Sehingga, pembahasan selanjutnya akan merujuk pada model C.

Sejalan dengan ekspektasi teori, hasil estimasi model yang menggunakan ukuran *trade share*, menunjukkan bahwa skala perekonomian memiliki hubungan yang positif dan signifikan dengan tingkat emisi CO₂ per kapita. Peningkatan skala ekonomi diperkirakan akan meningkatkan emisi karbon dengan laju yang menurun (bentuk kuadrat yang berkebalikan arah). Sebaliknya, pendapatan per kapita diestimasi mampu menurunkan tingkat emisi dengan laju yang juga menurun. Dari hasil ini terbukti bahwa efek skala dan teknik mampu mempengaruhi tingkat emisi dengan arah yang berlawanan.

Berkenaan dengan efek komposisi, koefisien dari rasio kapital-tenaga kerja memberikan hasil yang positif dan signifikan, termasuk bentuk kuadratnya. Hal ini menggarisbawahi bahwa semakin tinggi rasio kapital-tenaga kerja maka akan semakin meningkatkan tingkat emisi dengan laju yang semakin meningkat. Dengan bentuk interaksi yang negatif dan signifikan antara variabel KL dan I, menunjukkan bahwa pengaruh dari rasio kapital-tenaga kerja akan berkurang seiring meningkatnya pendapatan per kapita. Di sisi lain, variabel-variabel yang berinteraksi dengan intensitas perdagangan juga menggambarkan bagian dari efek komposisi yang disebut *direct trade-induced composition effect*. Efek ini menggambarkan pengaruh perdagangan yang didorong oleh kekuatan relatif dari rasio kapital-tenaga kerja (*factor endowment hypothesis*) dan perbedaan tingkat regulasi lingkungan (*pollution haven hypothesis*). Berdasarkan hasil yang diperoleh, koefisien pada variabel-variabel ini menunjukkan nilai yang tidak signifikan, atau dapat diartikan bahwa pengaruh perdagangan pada provinsi-provinsi tidaklah seragam atau tidak didominasi oleh suatu arah tertentu. Sehingga tidak didapatkan cukup bukti untuk melihat adanya PHH & FEH.

Sebagai alternatif, indeks *composite trade share* digunakan sebagai proksi dari intensitas perdagangan. Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan yang menggunakan indeks TS, walaupun dengan *magnitude* yang sedikit menurun, variabel skala masih memiliki hubungan yang positif dan signifikan terhadap tingkat emisi. Begitu juga dengan variabel pendapatan per kapita, masih memiliki arah hubungan yang negatif namun diikuti dengan peningkatan signifikansi. Sedangkan rasio kapital-tenaga kerja memiliki

peningkatan *magnitude* koefisien namun tidak banyak perubahan dalam hal arah maupun signifikansi.

Tabel 2. Determinan Tingkat Emisi CO2 Per kapita di Indonesia (Estimasi Panel *Fixed Effect*)

Variabel	Ukuran Intensitas Perdagangan					
	<i>O = Trade Share</i>			<i>O = Composite Trade Share</i>		
	A	B	C	A	B	C
Skala ekonomi (S)	-0,0021*** (0,0005)	0,0021 (0,0015)	0,0133** (0,0049)	-0,0021*** (0,0004)	0,0013 (0,0016)	0,0121** (0,0051)
(S) ² /1000			-0,0030** (0,0012)			-0,0028** (0,0012)
Lag pendapatan per kapita (I)	0,0156 (0,0204)	-0,0286 (0,0178)	-0,0275* (0,0156)	0,0079 (0,0169)	-0,0364** (0,0151)	-0,0354*** (0,0125)
(I) ²		0,0012*** (0,0003)	0,0011*** (0,0003)		0,0011*** (0,0003)	0,0010*** (0,0003)
Rasio kapital-tenaga kerja (K/L)	0,0007 (0,0023)	0,0085*** (0,0025)	0,0062*** (0,0017)	0,0014 (0,0021)	0,0095*** (0,0022)	0,0074*** (0,0016)
(K/L) ² /1000		0,0117*** (0,0036)	0,0088*** (0,0031)		0,0112*** (0,0023)	0,0085*** (0,0025)
(K/L) x (I)		-0,0003*** (0,0001)	-0,0002*** (0,0001)		-0,0003*** (0,0001)	-0,0002*** (0,0001)
Intensitas perdagangan (O)	0,0001 (0,2555)	-0,0436 (0,1853)	-0,0493 (0,1712)	-0,4707 (0,3980)	-0,4422* (0,2586)	-0,4068 (0,2655)
O x RI	-1,0309 (0,8464)	-0,4458 (0,8153)	-0,3850 (0,7540)	0,6325 (0,8648)	0,6820 (0,4872)	0,5395 (0,5056)
O x (RI) ²	0,4123 (0,2943)	-0,2317 (0,2606)	-0,1594 (0,2032)	-0,2158 (0,2915)	-0,3919** (0,1582)	-0,3052* (0,1672)
O x RKL	0,9596* (0,5098)	0,3724 (0,5604)	0,3660 (0,5191)	-0,1914 (0,4632)	-0,2819 (0,2570)	-0,1795 (0,2555)
O x (RKL) ²	-0,0264 (0,1076)	-0,3689** (0,1781)	-0,2097 (0,1423)	-0,0614 (0,0499)	-0,1649*** (0,0280)	-0,1140*** (0,0390)
O x (RI) x (RKL)	-0,3459 (0,3301)	0,6361 (0,3806)	0,3658 (0,2623)	0,1994 (0,2676)	0,4825*** (0,1420)	0,3488** (0,1590)
Konstanta	0,7058*** (0,1602)	0,5072** (0,2153)	0,2998 (0,2238)	0,7751*** (0,1443)	0,5240** (0,2066)	0,3200 (0,2280)
Observasi	297	297	297	297	297	297
Grup	33	33	33	33	33	33
R ²	0,9122	0,9195	0,9223	0,9129	0,9216	0,9237
Hausman Test	43,3390***	26,4658***	17,3720*	41,4308***	42,3327***	22,8901**

Keterangan: *, **, *** masing-masing menunjukkan signifikansi pada taraf nyata 10%, 5%, dan 1%. *Robust Standard Error* disajikan dalam tanda kurung.

Dikarenakan perubahan terdapat pada ukuran intensitas perdagangan, tentunya yang paling berdampak adalah perubahan pada koefisien variabel-variabel yang mewakili *direct trade-induced composition effect*. Walaupun tidak semua variabel yang diharapkan signifikan, namun terdapat beberapa kemajuan. Variabel interaksi antara intensitas perdagangan (*O*) dengan pendapatan relatif (*RI*) memberikan hasil yang positif namun tidak

signifikan, akan tetapi bentuk kuadratnya menunjukkan angka yang signifikan negatif. Hal ini menggambarkan bahwa daerah dengan pendapatan relatif lebih tinggi akan mengalami penurunan polusi yang lebih besar dibandingkan daerah dengan pendapatan yang relatif rendah. Temuan ini sejalan dengan konsep *pollution haven hypothesis*. Sedangkan untuk rasio kapital-tenaga kerja relatif, walaupun hasil kurang mendukung konsep FEH sebelumnya, namun perlu dipertimbangkan kembali koefisien pada interaksi final antara perdagangan, pendapatan relatif, dan rasio kapital-tenaga kerja relatif. Sehingga, untuk memudahkan interpretasi setiap efek yang sudah mengantisipasi adanya bentuk interaksi, diberikan perhitungan elastisitas yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Elastisitas Skala, Teknik, Komposisi, dan Perdagangan

Variabel	Ukuran Intensitas Perdagangan	
	<i>Trade Share</i>	<i>Composite Trade Share</i>
Skala	0,5405*** (0,1592)	0,5330*** (0,1773)
Teknik	-0,1537 (0,2859)	-0,4001* (0,2265)
Komposisi	0,4397* (0,2308)	0,6864*** (0,2229)
<i>Trade-induced composition</i>	-0,0433 (0,0487)	-0,0855* (0,0465)

Keterangan: *, **, *** masing-masing menunjukkan signifikansi pada taraf nyata 10%, 5%, dan 1%. *Robust Standard Error* disajikan dalam tanda kurung. Elastisitas dievaluasi pada rata-rata sampel menggunakan *Delta method*.

Tabel 3 menampilkan elastisitas untuk efek skala (skala ekonomi), efek teknik (pendapatan per kapita), efek komposisi atau *indirect trade-induced composition effect* (rasio K/L), serta (*direct trade-induced composition effect* (intensitas perdagangan), berdasarkan hasil estimasi model C dengan metode *fixed effects* pada Tabel 2. Elastisitas dievaluasi pada rata-rata sampel dengan mengasumsikan bahwa nilai rata-rata mampu mewakili seluruh observasi.

Efek skala menggambarkan pergeseran sumber daya untuk meningkatkan produktifitas agregat dalam ekonomi. Dengan semakin terbukanya perdagangan, maka akan meningkatkan aktifitas ekonomi dan permintaan akan penggunaan lingkungan. Selain itu, keterbukaan perdagaan juga akan meningkatkan akses pada bahan bakar impor yang lebih murah. Hal ini berimbang pada peningkatan polusi. Studi ini menemukan bahwa peningkatan 1% pada skala ekonomi, dengan menahan determinan lainnya konstan, diduga akan menaikkan emisi CO₂ per kapita sekitar 0,53-0,54%. Nilai elastisitas ini dihasilkan, baik oleh model dengan *trade share* (TS) maupun *composite trade share* (CTS) dengan signifikansi yang tinggi, di bawah taraf nyata 1%.

Efek teknik menggambarkan adanya perbaikan pada standar produksi dalam menghasilkan limbah emisi sebagai upaya pemerintah dalam merespon peningkatan permintaan akan lingkungan yang bersih (yang terasosiasi dengan adanya peningkatan pendapatan). Selain itu, dengan semakin terbukanya perdagangan, maka peluang akan akses teknologi modern yang ramah lingkungan pun akan lebih besar. Sehingga efek ini menjelaskan adanya pengurangan polusi sebagai akibat dari kegiatan perdagangan. Studi ini menemukan bahwa efek teknik memiliki elastisitas negatif sebesar 0,4%. Nilai ini signifikan hanya pada model yang menggunakan ukuran CTS. Jika dibandingkan dengan efek skala, perubahan dari efek teknik ini bernilai lebih kecil. Menurut Copeland (2013),

agar efek teknik ini berfungsi secara efektif, permintaan akan lingkungan yang bersih harus dimediasi secara efektif melalui peningkatan biaya akan polusi yang dalam beberapa kasus terjadi melalui tekanan informal dari masyarakat. Pemerintah harus responsif terhadap preferensi warga dan menaikkan biaya lingkungan seiring dengan pertumbuhan pendapatan. Oleh karena itu, keterbukaan dan efisiensi dari proses politik penting untuk kebijakan lingkungan, seperti halnya untuk standar tenaga kerja (Copeland, 2013).

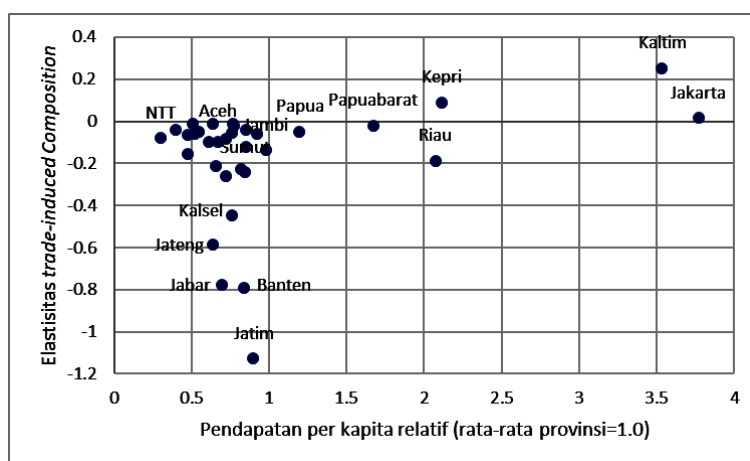
Efek komposisi (*indirect trade-induced composition effect*) merujuk pada perubahan *share* output barang padat polusi dalam perekonomian. Andaikan jika barang padat modal juga merupakan barang padat polusi, maka akumulasi stok kapital dari waktu ke waktu akan meningkatkan polusi karena mendorong perekonomian untuk terspesialisasi pada barang-barang padat modal. Namun ketika terjadi peningkatan jumlah tenaga kerja, *share* output barang padat modal di perekonomian akan berkurang seiring dengan peningkatan barang padat karya yang lebih minim polusi. Akibatnya, ada tidaknya peningkatan pada polusi dapat terlihat dari rasio kapital dan tenaga kerja (Antweiler et al., 2001; Copeland, 2013). Seperti halnya untuk kasus ini, hasil elastisitas untuk efek komposisi berada di sekitar nilai 0,4-0,7. Kenaikan 1% pada rasio kapital-tenaga kerja disinyalir akan meningkatkan emisi CO₂ per kapita sebesar 0,4% hingga 0,7%, dengan *magnitude* dan tingkat signifikansi yang lebih tinggi pada model dengan ukuran CTS dibandingkan dengan TS.

Keterbukaan perdagangan mampu mempengaruhi lingkungan melalui dampaknya pada perubahan harga, yang kemudian berpengaruh kepada penentuan produksi dan konsumsi (Copeland, 2013). Andaikan suatu daerah memiliki keunggulan komparatif pada barang pada karya, dengan adanya liberalisasi perdagangan, harga dari barang padat karya tersebut akan meningkat menyesuaikan dengan kondisi pasar yang lebih luas. Akibatnya, perekonomian daerah tersebut akan semakin terspesialisasi dalam memproduksi barang padat karya demi mencari keuntungan. Hal ini akan berdampak pada penurunan polusi. Namun hal sebaliknya akan terjadi bila keunggulan komparatif daerah tersebut ada pada barang pada modal. Oleh karena itu, pertimbangan keunggulan komparatif di suatu daerah merupakan faktor penting dalam menilai pengaruh keterbukaan perdagangan terhadap tingkat polusi di suatu daerah, dan hal ini dapat terlihat melalui *direct trade-induced composition effect*.

Studi ini menemukan elastisitas yang signifikan pada *direct trade-induced composition effect* hanya pada model yang menggunakan ukuran CTS sebagai proksi perdagangannya. Nilai yang diperoleh adalah sebesar -0,085. Tanda yang negatif menggambarkan bahwa pengaruh perdagangan terhadap emisi lebih didominasi oleh perbedaan regulasi lingkungan antar daerah (*pollution haven hypothesis*), dibandingkan dengan perbedaan akan rasio kapital-tenaga kerja (Duodu, 2018). Kenaikan 1% poin intensitas perdagangan yang terinduksi akibat dari keunggulan komparatif suatu daerah, diduga akan menurunkan emisi CO₂ per kapita sebanyak 0,085%. Walaupun begitu, menurut Antweiler et al. (2001) dan Duodu (2018) (*direct*) *trade-induced composition effect* ini mungkin saja tidak akan sama untuk seluruh wilayah karena sifatnya yang bergantung pada keunggulan komparatifnya. Untuk melihat lebih jauh, pada Gambar 3 diberikan plot elastisitas dari *trade-induced composition effect* untuk setiap provinsi.

Gambar 3 memasang elastisitas *trade-induced composition* terhadap pendapatan relatif dari setiap provinsi. Walaupun dari hasil terlihat bahwa elastisitas terdistribusi di sekitar nol, namun ada suatu bentuk kecenderungan yaitu nilai elastisitas negatif untuk provinsi dengan pendapatan relatif yang rendah dan nilai elastisitas positif untuk provinsi dengan pendapatan relatif tinggi yang ekstrim, terutama Kalimantan Timur. Nilai yang positif menggambarkan bahwa posisi relatif dari *endowment* yang ada di Kalimantan Timur lebih menentukan spesialisasi kegiatan ekspor impornya dibandingkan posisi relatif dari tingkat regulasi lingkungannya, dan hal yang sebaliknya pun terjadi pada daerah dengan elastisitas negatif. Namun, pada kasus ini, provinsi dengan pendapatan yang relatif rendah

(diasosiasikan dengan regulasi lingkungan yang longgar) justru memiliki elastisitas yang negatif. Hal ini dapat dikarenakan bahwa provinsi dengan pendapatan yang relatif rendah cenderung memiliki kapital yang juga rendah, akibat dari biaya yang dihadapkan terlalu tinggi (Antweiler et al., 2001). Sehingga, walaupun pendapatan yang rendah diasosiasikan dengan kendornya aturan mengenai lingkungan, namun 'keuntungan' ini ditepis oleh mahalnya harga dari kapital. Hal ini menjadi bukti bahwa kedua teori parsial ini (FEH dan PHH) bekerja melawan satu sama lain, dan untuk melihat efek perdagangan terhadap emisi karbon di suatu wilayah tidak dapat dilihat sekedar dari dominasi regulasi atau kah *factor endowment* yang ada, namun kedua faktor tersebut harus dipertimbangkan secara simultan.



Gambar 3. Elastisitas Trade-Induced Composition pada Setiap Provinsi

Berdasarkan hasil perhitungan elastisitas secara keseluruhan, adanya dominasi positif dari keseluruhan elastisitas menggambarkan bahwa peningkatan intensitas cenderung mengarah kepada peningkatan emisi CO₂ per kapita. Hasil ini serupa dengan penelitian sebelumnya yang juga melakukan analisa dekomposisi efek perdagangan terhadap emisi CO₂, yaitu Cole & Elliott (2003), Managi et al. (2009), Yunfeng & Laike (2010), dan Duodu (2018). Berbeda dengan hasil Antweiler et al. (2001) yang mendapatkan hubungan negatif namun dengan polutan SO₂ sebagai variabel dependen. Walaupun menggunakan model yang sedikit berbeda, hasil studi Cole & Elliott (2003), Managi et al. (2009), serta Yunfeng & Laike (2010) juga menemukan bahwa efek skala lebih mendominasi dari efek teknik. Berbalik dengan hasil yang diperoleh Antweiler et al. (2001) dan Duodu (2018). Hal ini dapat dikarenakan penggunaan sampel yang didominasi oleh negara-negara maju pada keduanya. Selain itu, ditemukan nilai elastisitas positif bagi keseluruhan efek komposisi dengan elastisitas positif untuk *trade-induced composition effect* pada studi Cole & Elliott (2003), Managi et al. (2009), dan Duodu (2018), namun elastisitas yang negatif pada studi ini dan Antweiler et al. (2001) Sedangkan, hasil studi Yunfeng & Laike (2010) tidak memecah efek komposisi yang ada dikarenakan penggunaan metode Input-Output.

Peningkatan emisi karbon yang diakibatkan oleh semakin tingginya aktifitas perdagangan, tentunya perlu diantisipasi oleh pemerintah dan masyarakatnya. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah melalui pengaturan pada harga komoditas (Copeland, 2013). Peningkatan harga pada komoditas barang 'bersih' dapat menurunkan emisi melalui efek komposisi. Selain itu, apabila peningkatan ini berakibat pada peningkatan pendapatan dari tenaga kerjanya dan agregat pendapatan keseluruhan, maka pengurangan emisi dapat

juga terjadi sebagai akibat dari efek teknik (Copeland, 2013). Akan tetapi, kebijakan berbasis pasar ini lebih sulit untuk dirancang dan diimplementasikan akibat dari adanya politik pertimbangan ekonomi. Walaupun secara teori, kebijakan ini umumnya lebih hemat biaya dibandingkan kebijakan khusus sektoral. Namun, kebijakan sektoral lah yang umumnya lebih sering diterapkan, karena kebijakan khusus sektoral dapat mengatasi kegagalan pasar yang tidak mampu ditangani oleh kebijakan harga (Somanathan et al., 2014).

Jika dilihat berdasarkan efek dekomposisi, untuk menurunkan tingkat emisi, pemanfaatan efek teknik ataupun *direct trade-induced composition* akan lebih baik dibandingkan dengan penurunan skala ekonomi ataupun rasio kapital-tenaga kerja. Pemanfaatan efek teknik dapat dilakukan salah satunya yaitu melalui peningkatan biaya/pajak polusi seiring dengan peningkatan pendapatan masyarakat, ditambah dengan penerapan beberapa kebijakan khusus sektoral. Sebagai contoh, pada sektor industri, dilakukan pemasangan sistem untuk memonitoring, menguji, dan mengevaluasi tingkat emisi limbah, serta melaporkannya kepada kementerian lingkungan. Selain itu, perlu adanya insentif finansial untuk memotivasi pelaku usaha dalam berinvestasi pada teknologi/kegiatan dalam penggunaan bahan bakar energi yang lebih efisien. Contoh lainnya yaitu pada sektor transportasi. Penetapan pajak yang lebih besar untuk kendaraan pribadi diupayakan untuk mendorong penggunaan kendaraan publik sehingga menurunkan kuantitas dari limbah polusi kendaraan. Sebagai gantinya, perlu dilakukannya revitalisasi pada angkutan umum untuk meningkatkan kenyamanan dan keamanan konsumen, serta penggunaan bahan bakar yang lebih efisien. Namun dari itu semua, hal yang tentunya lebih penting untuk diperbaiki terlebih dahulu agar terselenggaranya kebijakan yang tepat sasaran yaitu perbaikan sistem pengawasan dan penegakkan aturan, serta pemberantasan korupsi dan suap dari sistem birokrasi pemerintah.

Selanjutnya, dengan melihat karakteristik dan elastisitas dari *direct trade-induced composition effect* di setiap provinsi, dapat menjadi dasar acuan untuk menentukan daerah-daerah yang memerlukan perhatian khusus. Tidak hanya untuk perdagangan internasional, pemerintah juga perlu mengawasi aktifitas dari perdagangan antar provinsi. Hal ini dikarenakan longgarnya hambatan perdagangan yang ada, menyebabkan peningkatan dan perpindahan emisi CO₂ memiliki skala yang lebih besar pada perdagangan antar provinsi (Guo et al., 2012; Zhang et al. 2014). Guo et al. (2012) mengusulkan untuk diadopsinya 'prinsip bersama' dalam menanggulangi peningkatan emisi, terutama pada kasus perdagangan antar provinsi. Prinsip ini bertujuan untuk membagi tanggung jawab peningkatan emisi antar produsen dan konsumen. Produsen memang menghasilkan limbah emisi dalam prosesnya dalam memproduksi barang kotor, namun hal ini juga didorong oleh adanya permintaan dari konsumen (Lenzen et al., 2007). Sehingga, dengan diadopsinya prinsip ini diharapkan meningkatkan kesadaran akan lingkungan bagi kedua pihak.

Pengaplikasian sederhana dari 'prinsip bersama' ini dapat dilakukan melalui pemberian pajak polusi. Setiap provinsi dapat menyesuaikan pajak polusi berdasarkan pengurangan emisi yang sudah ditargetkan. Melalui data intensitas emisi per output, ditentukan besarnya pajak yang harus dibayarkan. Pembayaran ini dapat ditanggung sebagian oleh produsen, dan sebagian lainnya dipajakan pada kenaikan harga dari barang kotor tersebut kepada konsumen. Dengan peningkatan harga akibat pajak ini, maka provinsi importir akan terdorong untuk mencari produk dengan harga yang lebih murah, dengan kata lain dari provinsi yang dapat menghasilkan produk dengan intensitas emisi yang lebih rendah. Kemudian dari penurunan permintaan ini akan mendorong produsen untuk memperbaiki teknologi produksinya sehingga menghasilkan produk dengan intensitas emisi yang lebih rendah. Hal ini dapat mengurangi tanggung jawab produsen untuk membayar pajak polusi, serta dapat menarik konsumen dengan penetapan harga yang lebih rendah.

Selain itu, pemerintah harus selektif dalam melakukan transfer industri untuk mendorong pembangunan ekonomi dengan menghindari transfer industri tinggi emisi. Selektif dalam pemilihan transfer industri dapat dilakukan dengan memberikan izin usaha melalui persyaratan bahwa intensitas emisi per output di bawah ambang batas yang ditargetkan, atau setidaknya di bawah intensitas emisi per output per sektor yang ada saat ini. Serta perlunya mendorong transfer industri dengan teknologi yang lebih modern dan tidak terpaku hanya kepada industri tradisional (Guo et al., 2012). Hal ini dapat dilakukan melalui pemberian insentif pada pelaku usaha untuk mengurangi biaya yang harus dikeluarkan dalam berinvestasi untuk memanfaatkan teknologi modern yang lebih ramah lingkungan.

Kesimpulan

Studi ini bertujuan untuk melihat hubungan antara keterbukaan perdagangan dengan tingkat emisi CO₂ per kapita di Indonesia dengan mendekomposisikan efek tersebut menjadi efek skala (*scale effect*), efek teknik (*technique effect*), dan efek komposisi (*composition effect*). Selain itu, penggunaan dua ukuran intensitas perdagangan yaitu *trade share* (TS) dan *composite trade share* (CTS) juga dilakukan guna membandingkan kemampuan keduanya dalam menjelaskan keterbukaan perdagangan. Data yang digunakan yaitu data 33 provinsi dengan periode 2010-2018. Adanya keterbatasan data menyebabkan perlunya pendekatan dalam menghitung tingkat emisi CO₂ per provinsi, yaitu melalui konversi karbon pada data konsumsi BBM dan listrik dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). Walaupun tidak secara langsung menggunakan data emisi aktual, namun diharapkan data yang ada mampu mewakili penggunaan terbanyak penghasil emisi karbon.

Untuk menjawab tujuan penelitian, studi ini menggunakan metode regresi panel yang dilanjutkan dengan perhitungan elastisitas. Dari hasil analisis, ditemukan bahwa adanya dominasi efek yang positif menunjukkan bahwa semakin terbukanya perdagangan maka emisi CO₂ per kapita di Indonesia pun akan semakin meningkat. Apabila ditelaah lebih lanjut, kontribusi terbesar dalam peningkatan emisi ada pada *indirect trade-induced composition effect*, yaitu perubahan yang diakibatkan oleh rasio kapital dan tenaga kerja. Lalu, efek skala (perluasan pasar) yang lebih besar dibandingkan dengan efek teknik (efisiensi produksi) menggambarkan bahwa masih diperlukannya pemanfaatan inovasi teknologi yang lebih ramah lingkungan bagi para pelaku usaha, serta adanya peningkatan dalam ketetapan dan kepatuhan terhadap regulasi mengenai lingkungan. Sedangkan, *direct trade-induced effect* memiliki elastisitas yang negatif menandakan bahwa pola perdagangan lebih didorong oleh perbedaan regulasi dibandingkan dengan perbedaan pada *factor endowment*. Namun pada kasus Indonesia, hal ini diakibatkan oleh masih terpusatnya kapital di provinsi-provinsi tertentu yang menyebabkan sebagian besar provinsi lain memiliki rasio kapital-tenaga kerja yang rendah. Sehingga, walaupun suatu daerah memiliki kelonggaran dalam regulasi lingkungan, namun hal ini tidak diiringi oleh dominasi barang padat polusi dikarenakan jumlah tenaga kerja yang jauh melampaui kapital yang ada.

Selanjutnya, untuk menjawab tujuan penelitian kedua, studi ini menemukan bahwa ukuran *composite trade share* mampu menjelaskan keterbukaan perdagangan lebih baik dibandingkan ukuran *trade share* karena selain mampu membandingkan aktivitas perdagangan dengan perekonomian domestiknya, namun juga dapat membandingkan besarnya kegiatan ekspor dan impor tersebut secara relatif dengan daerah lainnya. Selain itu, dari hasil estimasi yang diberikan oleh model dengan menggunakan CTS, diperoleh signifikansi yang lebih tinggi dibandingkan ukuran TS. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *composite trade share* lebih mampu menangkap efek dari keterbukaan perdagangan.

Adapun kontribusi dari studi ini yaitu dapat dijadikan sebagai landasan dasar bagi berbagai pihak yang ingin mengoptimalkan manfaat dari keterbukaan perdagangan dibandingkan dengan dampak negatif yang ditimbulkannya untuk lingkungan. Contohnya yaitu, meningkatkan harga komoditas barang 'bersih' dapat menurunkan emisi melalui mekanisme efek komposisi dan efek teknik, atau kebijakan sektoral seperti kenaikan pajak emisi dan aturan mengenai penerapan teknologi yang lebih modern (efek teknik), atau dapat juga dengan mengatur arah dari perdagangan melalui adopsi 'prinsip bersama' dalam perdagangan antar provinsi. Selain itu, studi ini juga berkontribusi dengan memberikan gambaran baru dalam penggunaan ukuran lain dari intensitas perdagangan.

Daftar Pustaka

- Al-Mulali, U., Ozturk, I., & Lean, H. H. (2015). The influence of economic growth, urbanization, trade openness, financial development, and renewable energy on pollution in Europe. *Natural Hazards* 79, 621–644. doi:10.1007/s11069-015-1865-9.
- Albert, S., Bronen, R., Tooler, N., Leon, J., Yee, D., Ash, J., Boseto, D., & Grinham, A. (2018). Heading for the hills: climate-driven community relocations in the Solomon Islands and Alaska provide insight for a 1.5 °C future. *Regional Environmental Change*, 18, 2261–2272. doi:10.1007/s10113-017-1256-8.
- Antweiler, W., Copeland, B. R., & Taylor, M. S. (2001). Is free trade good for the environment? *American Economic Review*, 91(4), 877-908. doi:10.1257/aer.91.4.877.
- Atteridge, A., Shrivastava, M. K., Pahuja, N., & Upadhyay, H. (2012). Climate policy in India: What shapes international, national and state policy? *AMBIO*, 41(1), 68–77. doi:10.1007/s13280-011-0242-5.
- BAPPENAS. (2011). Guideline for implementing greenhouse gas emission reduction action plan (english version). *Ministry of National Development Planning Republic of Indonesia*, 165. Retrieved from: http://ranradgrk.bappenas.go.id/rangrk/admincms/downloads/publications/Gudeline_for_implementing_green_house_gas_emission_reduction_action_plan.pdf.
- BAPPENAS. (2014). *Progress of addressing climate change in Indonesia 2010-2014. September*, 50. http://ranradgrk.bappenas.go.id/rangrk/images/documents/Progress_of_Addressing_Climate_Change_in_Indonesia_2010-2014.pdf.
- Chen, W., Qu, S., & Han, M. S. (2021). Environmental implications of changes in China's inter-provincial trade structure. *Resources, Conservation and Recycling*, 167. doi:10.1016/j.resconrec.2021.105419.
- Cole, M. A., & Elliott, R. J. R. (2003). Determining the trade-environment composition effect: The role of capital, labor and environmental regulations. *Journal of Environmental Economics and Management*, 46(3), 363-383. doi:10.1016/S0095-0696(03)00021-4.
- Copeland, B. R. (2013). Trade and the environment. In *Palgrave handbook of international trade* (pp. 423–496). Palgrave Macmillan, London.
- Dogan, E., Seker, F., & Bulbul, S. (2017). Investigating the impacts of energy consumption, real GDP, tourism and trade on CO₂ emissions by accounting for cross-sectional dependence: A panel study of OECD countries. *Current Issues in Tourism*, 20(16), 1701-1719. doi:10.1080/13683500.2015.1119103.
- Duodu, A. (2018). *Is trade bad for the environment? Decomposing the impact of trade on environmental quality*. Lund University.
- Grossman, G., & Krueger, A. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *NBER Working Papers 3914, National Bureau of Economic Research, Inc.* doi:10.3386/w3914.
- Guo, J., Zhang, Z., & Meng, L. (2012). China's provincial CO₂ emissions embodied in international and interprovincial trade. *Energy Policy*, 42, 486–497. doi:10.1016/j.enpol.2011.12.015.
- Huang, Y., Chen, X., Zhu, H., Huang, C., & Tian, Z. (2019). The heterogeneous effects of FDI and foreign trade on CO₂ emissions: Evidence from China. *Mathematical Problems in Engineering*. doi:10.1155/2019/9612492.
- International Energy Agency. (2020). *CO₂ emissions from fuel combustion*. Retrieved from: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/6296011e-4fed-40c3-95a0-1367a4c4484a/CO2Highlights2020.xls>.
- IPCC. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth*

assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

- IPCC. (2018). Framing and context. In *Global Warming of 1.5°C.*, (pp 57–71). Retrieved from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter1_Low_Res.pdf.
- Jayanthakumaran, K., Verma, R., & Liu, Y. (2012). CO₂ emissions, energy consumption, trade and income: A comparative analysis of China and India. *Energy Policy* 42, 450-460. doi:10.1016/j.enpol.2011.12.010.
- Korves, N., Martinez-Zarzoso, I., & Monika, A. (2011). Is free trade good or bad for the environment? New empirical evidence. In *Climate Change - Socioeconomic Effects*. doi:10.5772/23008.
- Lenzen, M., Murray, J., Sack, F., & Wiedmann, T. (2007). Shared producer and consumer responsibility - Theory and practice. *Ecological Economics*, 61(1), 27–42. doi:10.1016/j.ecolecon.2006.05.018.
- Mahmood, H., Maalel, N., & Zarrad, O. (2019). Trade openness and CO₂ emissions: Evidence from Tunisia. *Sustainability*, 11(12). doi:10.3390/su10023295.
- Managi, S., Hibiki, A., & Tsurumi, T. (2009). Does trade openness improve environmental quality? *Journal of Environmental Economics and Management*, 58(3), 346-363. doi:10.1016/j.jeem.2009.04.008.
- Mgbemene, C. A., Nnaji, C. C., & Nwozor, C. (2016). Industrialization and its backlash: Focus on climate change and its consequences. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(4), 301-316. doi:10.3923/jest.2016.301.316.
- Nakano, S., Okamura, A., Sakurai, N., Suzuki, M., Tojo, Y., & Yamano, N. (2009). The measurement of CO₂ embodiments in international trade. In *OECD Science, Technology and Industry Working Papers* (Vol. 3). doi:10.1787/18151965.
- Oktavilia, S., & Firmansyah, F. (2016). The relationships of environmental degradation and trade openness in Indonesia. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 6(6):125-129.
- Rahman, M. Z. (2013). Relationship between trade openness and carbon emission: A case of Bangladesh. *Journal of Empirical Economics*, 1(4), 126-134.
- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fifita, S., Forster, P., Ginzburg, V., Handa, C., Khesghi, H., Kobayashi, S., Kriegler, E., Mundaca, L., Séférian, R., & Vilarinho, M. V. (2018). Mitigation pathways compatible with 1.5°C in the context of sustainable development. In *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission path. IPCC Special Report Global Warming of 1.5 °C.* Retrieved from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/02/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf.
- Saboori, B., Sulaiman, J. Bin, & Mohd, S. (2012). An empirical analysis of the environmental kuznets curve for co2 emissions in Indonesia: The role of energy consumption and foreign trade. *International Journal of Economics and Finance*, 4(2), 243-251. doi:10.5539/ijef.v4n2p243.
- Shahbaz, M., Hye, Q. M. A., Tiwari, A. K., & Leitão, N. C. (2013). Economic growth, energy consumption, financial development, international trade and CO₂ emissions in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 109-121. doi:10.1016/j.rser.2013.04.009.
- Shahbaz, M., & Leitão, C. N. (2013). Portuguese carbon dioxide emissions and economic growth: A time series analysis. *Bulletin of Energy Economics*, 1, 1–7.
- Shahbaz, M., Tiwari, A. K., & Nasir, M. (2013). The effects of financial development, economic growth, coal consumption and trade openness on CO₂ emissions in South Africa. *Energy Policy*, 61, 1452-1459 doi:10.1016/j.enpol.2013.07.006.
- Sharma, S. S. (2011). Determinants of carbon dioxide emissions: Empirical evidence from 69 countries. *Applied Energy*, 88(1), 376–382. doi:10.1016/j.apenergy.2010.07.022.
- Somanathan, E., Sterner, T., Sugiyama, T., Chimanikire, D., Dubash, N. K., Essandoh-Yeddu, J., Fifita, S., Goulder, L., Jaffe, A., Labandeira, X., Managi, S., Mitchell, C., Montero, J. P., Teng, F., & Zyllic, T. (2014). National and sub-national policies and institutions. In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (pp.1141–1205). Cambridge University Press. Retrieved from: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter15.pdf.
- Squalli, J., & Wilson, K. (2011). A new measure of trade openness. *World Economy*, 34(10), 1745-1770. doi:10.1111/j.1467-9701.2011.01404.x.
- Stoessel, M. (2001). Trade liberalization and climate change. *The Graduate Institute of International Studies, Geneva*, (pp.69–88).

- Weber, C. L., Peters, G. P., Guan, D., & Hubacek, K. (2008). The contribution of Chinese exports to climate change. *Energy Policy*, *36*(9), 3572–3577. doi:10.1016/j.enpol.2008.06.009.
- Yunfeng, Y. F., & Laike, Y. K. (2010). China's foreign trade and climate change: A case study of CO₂ emissions. *Energy Policy*, *38*(1), 350-356. doi:10.1016/j.enpol.2009.09.025.
- Zhang, S., Liu, X., & Bae, J. (2017). Does trade openness affect CO2 emissions: evidence from ten newly industrialized countries? *Environmental Science and Pollution Research*, *24*, 17616–17625. doi:10.1007/s11356-017-9392-8.
- Zhang, Z., Guo, J., & Hewings, G. J. D. (2014). The effects of direct trade within China on regional and national CO2 emissions. *Energy Economics*, *46*, 161–175. doi:10.1016/j.eneco.2014.09.011.