

EVALUATING GREEN EFFICIENCY OF MANUFACTURE SECTOR AND ITS DETERMINANTS IN EAST JAVA PROVINCE

Iqram Ramadhan Jamil*¹ 
Ananda Sintia Putri²
Nur Azizah Arianggi Suryaatmaja³

^{1,2,3}Program Studi Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Padjadjaran

ABSTRACT

East Java is one of the provinces in Indonesia that carries out intensive development in the industrial sector to improve the welfare of its society. However, massive industrial activity will pose its challenges, such as increased emissions and environmental degradation. This study aims to determine the manufacturing sub-sector that produces CO₂ emissions and has the lowest green efficiency as well as its determinant variables. There are three stages of analysis applied in this research i.e. carbon emission measurement, Slack Based Measurement-Data Envelopment Analysis (SBM-DEA), and Tobit regression. The study use 5-digit manufacturing subsector data based on the International Standard Industrial Classification (ISIC) system, obtained from the Indonesian Central Agency of Statistics (BPS) which is deflated against the East Java Regional Gross Domestic Product (GRDP) deflator with 2010 as the base year. The results of the analysis show that in general, the manufacturing subsector in East Java produces quite high CO₂ emissions of 85.28 tons. The subsector with the highest average CO₂ emissions in East Java in 2017 was the fertilizer industry, in 2018 the non-ferrous base metal manufacturing industry, and in 2019 the steel rolling industry. Then, the drying industry and tobacco depreciation became the sub-sector with the lowest average green efficiency in East Java Province in 2017. Meanwhile, in 2018 it was the milling industry of various nuts (including Leguminous) and in 2019 it was the coffee processing industry. The Tobit regression results show that the energy structure and industrial concentration have no significant effect on the green efficiency value of the manufacturing subsector. Meanwhile, spending on R&D has a significant negative effect on green efficiency. Therefore, the recommendations given are encourage the use of environmentally friendly raw materials and fuels, increasing green innovation, and increasing consumer awareness regarding environmental issues.

Keywords: Green Efficiency, SBM-DEA, Tobit Regression, East Java Province, Manufacture Industry

ABSTRAK

Jawa Timur merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang melakukan pembangunan pada sektor industri secara intensif guna meningkatkan

RIWAYAT ARTIKEL

Tanggal Masuk:
28 Agustus 2022
Tanggal Revisi:
10 Februari 2023
Tanggal Diterima:
28 Februari 2023
Tersedia online:
31 Maret 2023

*Korespondensi:
Iqram Ramadhan Jamil
E-mail:
Iqram19001@mail.unpad.ac.id

kesejahteraan masyarakatnya. Meskipun demikian, kegiatan industri yang masif akan menimbulkan tantangan tersendiri seperti peningkatan emisi dan degradasi lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui subsektor manufaktur yang menghasilkan emisi CO₂ dan memiliki efisiensi hijau terendah serta variabel determinannya. Terdapat tiga tahap analisis yang digunakan, yaitu pengukuran emisi karbon, Slack Based Measurement-Data Envelopment Analysis (SBM-DEA), dan regresi Tobit. Data yang digunakan adalah data subsektor manufaktur 5 digit berdasarkan sistem International Standard Industrial Classification (ISIC), diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) yang dideflasikan terhadap deflator Produk Domestik Bruto Regional (PDRB) Jawa Timur dengan tahun 2010 sebagai tahun dasar. Hasil analisis menunjukkan secara umum subsektor manufaktur di Jawa Timur menghasilkan emisi CO₂ yang cukup tinggi sebesar 85,28 ton. Subsektor dengan rata-rata emisi CO₂ tertinggi di Jawa Timur tahun 2017 adalah Industri pupuk lainnya, tahun 2018 adalah Industri pembuatan logam dasar bukan besi, dan tahun 2019 adalah Industri penggilingan baja (Steel Rolling). Kemudian, Industri pengeringan dan pengolahan tembakau menjadi subsektor dengan nilai rata-rata efisiensi hijau terendah di Provinsi Jawa Timur tahun 2017. Sedangkan, pada tahun 2018 adalah Industri penggilingan aneka kacang (termasuk Leguminous) dan tahun 2019 adalah Industri pengolahan kopi. Hasil regresi Tobit menunjukkan bahwa struktur energi, dan konsentrasi industri tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai efisiensi hijau subsektor manufaktur. Sedangkan, pengeluaran R&D secara signifikan berpengaruh negatif terhadap efisiensi hijau. Oleh karena itu, rekomendasi yang diberikan adalah mendorong penggunaan bahan baku dan bahan bakar ramah lingkungan, peningkatan inovasi hijau, serta peningkatan kesadaran konsumen terkait isu lingkungan.

Kata Kunci: Efisiensi Hijau, Green Efficiency, SBM-DEA, Regresi Tobit, Provinsi Jawa Timur, Industri Manufaktur

JEL : C14; L60; O14; R11

Pendahuluan

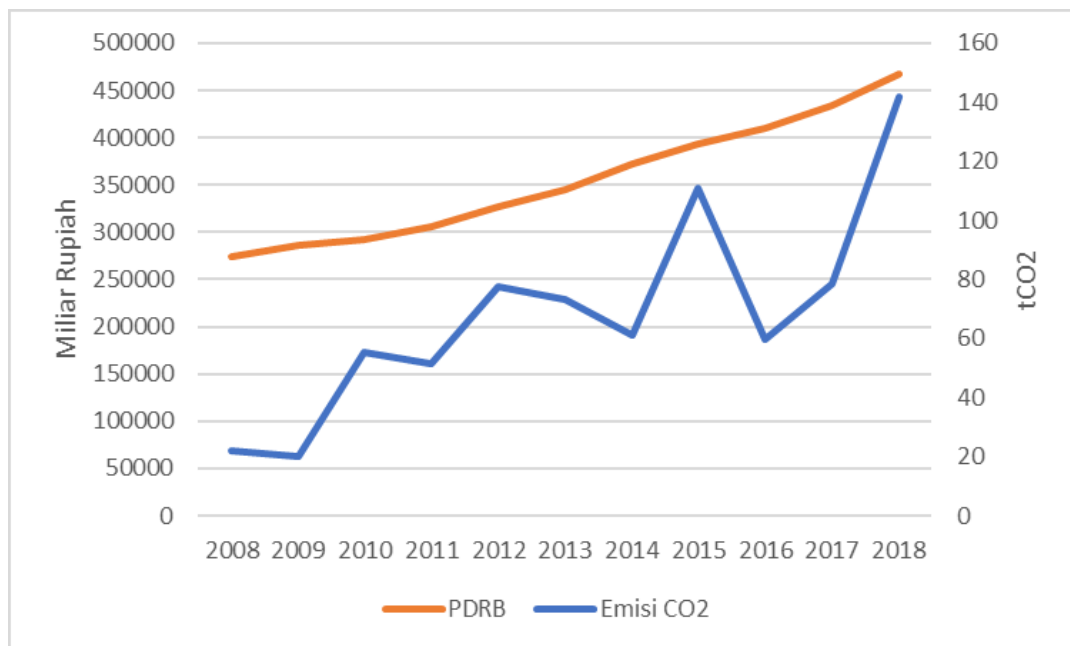
Industri manufaktur berperan penting di dalam perekonomian. Hal ini terlihat dari industri manufaktur yang memiliki kontribusi terbesar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), PDB atas dasar harga berlaku (ADBH) menurut lapangan usaha, industri manufaktur memiliki kontribusi sebesar 19,29% terhadap total PDB Indonesia dan pada kuartal II 2021 nilai dari industri manufaktur adalah sebesar Rp 805,62 dari 4.175,84 triliun ([Katadata.co.id](https://katadata.co.id), 2021). Akan tetapi, selain memberikan dampak positif terhadap perekonomian, kegiatan industri manufaktur dapat menimbulkan permasalahan lingkungan.

Kegiatan manusia dan lingkungan hidup memiliki hubungan timbal balik yang saling memengaruhi. Oleh karena itu, semakin banyak kegiatan manusia khususnya di sektor industri, akan memiliki dampak secara langsung terhadap kualitas lingkungan. Pertumbuhan ekonomi yang meningkat dari kegiatan industri akan memperbaiki kesejahteraan hidup masyarakat. Namun, pencegahan risiko pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan industri perlu dilakukan, seiring dengan semakin gencarnya kegiatan industrialisasi. Bahan bakar fosil yang digunakan dalam proses industri untuk sektor peleburan, kimia, dan manufaktur menjadikan sektor industri ini sebagai penyumbang polutan udara terbesar kedua di Indonesia ([Kautsar & Herlinda, 2021](#)). Polusi udara akan mengakibatkan berbagai masalah kesehatan seperti asma, kanker paru-paru, penyakit pernapasan kronis dan akut, stroke, maupun

penyakit jantung. Polusi udara akan menyebabkan biaya sosial dan ekonomi yang tinggi serta berkontribusi pada pemanasan global (Kautsar & Herlinda, 2021).

Jawa Timur merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang banyak melakukan upaya pembangunan sarana dan prasarana baik secara fisik maupun nonfisik. Pembangunan tersebut lebih ditekankan kepada kegiatan industri. Hal tersebut dilatarbelakangi dengan peranan strategis yang dimiliki sektor tersebut terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Jawa Timur. Sektor industri mampu menyumbang 30,6% dari keseluruhan PDRB Jawa Timur. Terdapat tiga subsektor industri yang cukup dominan kontribusinya terhadap PDRB Jawa Timur, yaitu industri pengolahan makanan dan minuman sebesar 37,29%, disusul dengan industri yang terkait dengan tembakau sebesar 5,82%, dan industri kimia farmasi sebesar 8%.

Sektor industri manufaktur di Jawa Timur merupakan sektor yang memiliki tren pertumbuhan positif. Pada periode 2008 hingga 2018, nilai produksi sektor tersebut terus mengalami peningkatan. Meskipun demikian, emisi yang dihasilkan oleh sektor industri manufaktur juga memiliki tren yang relatif meningkat. Sehingga, hal ini mengakibatkan Provinsi Jawa Timur menjadi provinsi penghasil CO₂ yang tinggi di Indonesia.



Gambar 1: Tren Nilai Produksi dan Total Emisi CO₂ Sektor Manufaktur di Jawa Timur Tahun 2008-2018

Sumber: *Climate Watch Indonesia* dan BPS Jawa Timur, diolah penulis

Penekanan pembangunan pada kegiatan industri mengakibatkan salah satu kota di Jawa Timur, yaitu Surabaya menjadi kota paling tercemar kedua di Indonesia setelah Jakarta (IQAir, 2022). Selain itu, terdapat banyak pabrik dan wilayah industri yang berdiri di Kabupaten Mojokerto pada tahun 2020 mengakibatkan kerugian yang dialami masyarakat dari pencemaran lingkungan yang dihasilkan pabrik-pabrik tersebut (Purwanto, 2021). Tidak hanya itu, Pembangunan Jembatan Suramadu yang berdampak positif terhadap pembangunan kegiatan perindustrian di Jawa Timur ternyata memiliki skor dampak lingkungan yang dinilai masih tinggi, khususnya bagi industri kecil dan menengah (Utami et al., 2010). Kegiatan industri juga memberikan permasalahan lingkungan di Kabupaten Sidoarjo, di mana terjadi alih fungsi

lahan yang semula digunakan untuk pertanian dan pertambakan kemudian dijadikan lahan industri. Kegiatan industri ini memberikan dampak buruk bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan akibat dari limbah yang belum dikelola dengan baik (Wasista & Nawiyanto, 2014).

Berdasarkan latar belakang tersebut, diketahui bahwa sektor industri memberikan kontribusi yang besar terhadap pertumbuhan ekonomi. Akan tetapi, sektor ini juga memberikan dampak buruk bagi lingkungan melalui emisi yang dihasilkannya. Sehingga, agar dapat menjaga tren produktivitas sektor industri sekaligus mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan, maka diperlukan pengukuran efisiensi lingkungan atau *green efficiency* (Iram et al., 2020). Di mana hasil pengukuran tersebut dapat menjadi landasan dalam peningkatan performa lingkungan pada sektor industri (Song et al., 2012). Seperti penelitian yang telah dilakukan di China bahwa dengan adanya *green development* maka akan mendorong produktivitas tenaga kerja, efisiensi energi, dan efisiensi lingkungan di industri manufaktur (Yuan & Xiang, 2018).

Meskipun demikian, penelitian terkait efisiensi hijau pada sektor manufaktur di Indonesia maupun Jawa Timur masih sulit ditemukan. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap literatur ekonomi lingkungan terkait efisiensi hijau baik secara empiris maupun kontekstual. Di mana menjadi penelitian yang memiliki tujuan untuk mengidentifikasi tingkat emisi yang dihasilkan, nilai efisiensi hijau, serta variabel yang berpengaruh terhadap nilai efisiensi pada subsektor industri manufaktur di Provinsi Jawa Timur. Terdapat beberapa rekomendasi berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan yang dapat menjadi referensi dalam pengambilan kebijakan.

Tinjauan Pustaka

Kerusakan lingkungan akibat pertumbuhan ekonomi yang cepat perlu segera diselesaikan (Shuai & Fan, 2020). Sebagai tempat manusia untuk hidup, sebuah provinsi memiliki sumber daya yang dapat digunakan untuk meningkatkan pembangunan ekonomi, tetapi degradasi fungsi lingkungan menjadi tantangan tersendiri. Oleh karena itu, konsep *green development* atau pembangunan hijau menjadi fokus pembangunan yang melibatkan unsur lingkungan. Banyak peneliti yang telah melakukan studi mengenai konsep *green development*. Penelitian yang dilakukan oleh David Pearce menekankan inti dari *green development* sebagai penjagaan lingkungan (Pearce et al., 1989). Untuk mengembangkan teori keberlanjutan, *green development* diartikan sebagai penjagaan lingkungan dan pertumbuhan ekonomi (Sauri-Pujol, 1992). Pada tahun 2010, The United Nations Environment Programme (UNEP) mencatat bahwa kesejahteraan manusia dan keadilan sosial menjadi tujuan dari pembangunan hijau (Sukhdev, 2010), maka kerangka kerja yang harus dibentuk adalah keseimbangan antara lingkungan, ekonomi, dan sosial. Ling Guo et al. (2013) menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi, perlindungan terhadap lingkungan dan masyarakat adalah faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi lingkungan. Beberapa penelitian terdahulu, yaitu penelitian yang menguji hubungan antara pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi (Gong et al., 2014) dan hubungan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan sosial (Nguyen et al., 2017) menunjukkan keterkaitan yang rumit antara lingkungan, ekonomi, dan sosial serta bagaimana cara untuk menyeimbangkan ketiga hal tersebut.

Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi, lingkungan, dan sosial adalah dengan mengevaluasi penggunaan lahan. Secara umum, definisi dari eko-efisiensi, efisiensi hijau, dan efisiensi lingkungan adalah sama, yang berarti memperoleh *benefit* optimal dari sektor ekonomi dan ekologi dengan sumber daya yang lebih sedikit (Sorvari et al., 2009). Maka dari itu, terminologi *green efficiency* atau efisiensi hijau

akan digunakan dalam penelitian ini. *Green efficiency* adalah alat analisis yang penting untuk menghitung hubungan antara aktivitas pembangunan oleh manusia dan dampak lingkungan (Tang, 2015; Q. Wang et al., 2014). *Green efficiency* merujuk pada pengurangan dampak ekologi dan intensitas sumber daya di seluruh aktivitas industri atau setidaknya konsisten pada daya dukung bumi untuk menyediakan barang dan jasa dengan harga yang dapat bersaing (J. Zhang et al., 2018). Penggunaan lahan industrial harus memaksimalkan kombinasi *benefit* yang dirasakan pada sektor ekonomi, masyarakat, dan sistem ekologi (Wey & Hsu, 2014). Oleh karena itu, sangat penting untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan lahan guna mencapai pembangunan ekonomi yang berkelanjutan (Y. Zhang et al., 2015).

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu, terdapat sejumlah metode yang digunakan untuk menghitung efisiensi lahan. Jika dilihat dari perspektif faktor tunggal, produktivitas dapat secara langsung merefleksikan hubungan antara input lahan dan output ekonomi serta lebih mudah untuk membuat komparasi antar wilayah (Chen et al., 2018). Penelitian mengenai efisiensi yang berhubungan dengan aspek ekologi atau lingkungan membutuhkan perhitungan untuk mengeluarkan hasil yang tidak diinginkan dari model evaluasi efisiensi (Martin et al., 2018). Model *Slacks-based Measurement* (SBM) digunakan untuk mengukur efisiensi alokatif lahan konstruksi menggunakan fungsi produksi Cobb-Douglas yang diperluas dengan hasil yang tidak diinginkan (P. Wang et al., 2017). Selain itu, model regresi Tobit digunakan untuk menganalisis faktor yang memengaruhi *green efficiency* dan menentukan faktor yang mendorong *green development*. Regresi Tobit adalah model sebagai alat analisis yang efektif untuk penelitian lebih lanjut dari analisis *Data Envelopment Analysis* (DEA) karena efisiensi hijau juga dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal yang perlu diukur. Penelitian Joshua & Bekun (2020) menyatakan terdapat hubungan kausal negatif antara emisi penggunaan batu bara dan degradasi lingkungan di Afrika Selatan. Emisi yang tinggi dari konsumsi batu bara disinyalir dapat menimbulkan kerugian serius bagi perekonomian. Untuk itu, *Research & Development* (R&D) diperlukan untuk menganalisa tingkat penggunaan energi. Dana yang dikeluarkan untuk R&D berpengaruh sejalan dengan meningkatnya profit, efisiensi produksi yang dilakukan, dan meminimalisir dampak ketidakpastian akibat perubahan kondisi lingkungan (Song et al., 2018). Industri manufaktur memiliki dampak lingkungan yang signifikan akibat emisi polusi yang dihasilkan dari proses produksi manufaktur. Selain itu, struktur industri yang terkonsentrasi dapat mengurangi atau memperburuk emisi polutan (Sun et al., 2020). Penelitian sebelumnya menemukan bahwa penggunaan lahan industri yang efisien memiliki hubungan kuat dengan pembangunan industri. Saat ini, konsumsi energi dan hasil yang tidak diinginkan telah dimasukkan pada perhitungan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan lahan industri. Namun, bagaimanapun, sebagian besar penelitian fokus pada kawasan industri (LU et al., 2014) sementara penelitian untuk perspektif daerah pedesaan dan perkotaan masih jarang dilakukan.

Metode Penelitian

Metode

Penelitian ini mengadopsi pendekatan yang digunakan oleh Kumar (2010) dan Wang et al. (2017), di mana kedua penelitian tersebut memiliki tujuan yang identik dengan studi ini, yaitu mengukur nilai efisiensi lingkungan dan faktor yang mempengaruhinya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini terdapat 3 tahapan analisis, yaitu: pertama, karena keterbatasan data terkait dengan polusi yang dihasilkan dalam sebuah industri, penelitian ini akan mencoba untuk mengukur jumlah emisi CO₂ dari penggunaan bahan bakar setiap subsektor yang diteliti. Kemudian, dilakukan *Slack Based Measurement-Data Envelopment Analysis* (SBM-DEA) untuk

mengukur nilai efisiensi hijau dari setiap subsektor manufaktur. Terakhir, dilakukan regresi Tobit untuk mengetahui variabel yang dapat berpengaruh secara signifikan terhadap nilai efisiensi hijau.

a. Mengukur Emisi CO₂

Ketersediaan data emisi lingkungan yang dikeluarkan oleh subsektor industri manufaktur cukup sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan konversi jumlah bahan bakar yang digunakan menjadi total emisi CO₂ yang dihasilkan. Jenis emisi tersebut digunakan karena berdampak signifikan terhadap kerusakan lingkungan dan mendorong terjadinya pemanasan global (Lin et al., 2020). Koefisien konversi bahan bakar menjadi total emisi CO₂ didasarkan pada publikasi yang dilakukan oleh U.S. *Energy Information Administration* (EIA) (2018), sebagai berikut.

Tabel 1: Nilai Koefisien Emisi CO₂ Berdasarkan Jenis Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Volume atau Massa untuk Menghasilkan 1 Ton CO ₂
Bensin	8,78 galon = 33,25*10 ⁻³ liter
Solar	10,19 galon = 38,56*10 ⁻³ liter
Gas natural	54,87 ribu kaki kubik = 1,55*10 ⁻³ m ³
Batu bara	1.827,04 ton pendek = 1.657,12*10 ⁻³ ton

Sumber: (EIA, 2018)

Agar mendapatkan total emisi CO₂ yang dihasilkan berdasarkan jumlah bahan bakar yang digunakan dari masing-masing subsektor, maka persamaan konversi yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$E_{hi} = \frac{1}{c_h} \times P_{hi}$$

$$E_j = \sum E_{hi}$$

Di mana E adalah total emisi CO₂ yang dihasilkan, c adalah koefisien emisi CO₂ berdasarkan jenis bahan bakar, dan P adalah jumlah bahan bakar yang digunakan. Sedangkan, h adalah indikator jenis bahan bakar, i adalah indikator perusahaan, dan j adalah indikator subsektor manufaktur.

b. *Slack Based Measurement-Data Envelopment Analysis* (SBM-DEA)

Untuk mengukur nilai efisiensi hijau, dilakukan metode statistik non-parametrik yaitu *Data Envelopment Analysis* (DEA). Metode tersebut dapat menunjukkan kemampuan relatif dari *Decisions Making Unit* (DMU) dalam penggunaan kombinasi *output* dan *input* dibandingkan dengan unit lainnya. Kemudian, akan didapatkan skor efisiensi dengan rentang 0 hingga 1. Apabila skor efisiensi DMU semakin mendekati 1, maka DMU tersebut dikatakan semakin efisien. Sebaliknya, jika skor efisiensi DMU semakin menjauhi 1, maka DMU tersebut dikatakan semakin tidak efisien.

Meskipun demikian, model DEA klasik tidak lagi relevan dalam menunjukkan tingkat efisiensi terdapat *output* yang tidak diinginkan (Wang et al., 2017). Hal ini dapat dilihat pada industri pengolahan yang selain memproduksi barang sebagai *output* yang diinginkan, juga menghasilkan emisi yang memiliki dampak negatif. Model DEA klasik yang tidak dapat membedakan jenis *output*, akan terdapat kemungkinan perusahaan yang paling

tinggi efisiensinya adalah perusahaan dengan tingkat emisi yang tinggi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dapat digunakan model *Slack Based Measurement-DEA* (SBM-DEA). Model tersebut memasukkan variabel yang tidak diinginkan secara langsung dalam persamaan, sehingga hasil pengukuran efisiensi dapat terhindar dari bias (Xu et al., 2020). Dalam pengukuran efisiensi hijau, penelitian ini menggunakan model SBM-DEA sebagaimana yang dinotasikan oleh Tone (2003) dengan persamaan sebagai berikut.

$$\theta^* = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)}$$

Subject to $x_0 = X\lambda + s^-$

$$y_0^g = Y^g \lambda - s^g$$

$$y_0^b = Y^b \lambda - s^b$$

$$s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \lambda \geq 0$$

Di mana X adalah *input*, Y^g adalah *output* yang diinginkan, Y^b adalah *output* yang tidak diinginkan. m merupakan jumlah variabel *input*, s_1 merupakan jumlah variabel *output* yang diinginkan, dan s_2 merupakan jumlah variabel *output* yang tidak diinginkan. Selain itu, terdapat tiga *slacks* di dalam persamaan yaitu s^- yang merepresentasikan kelebihan dalam penggunaan *input*, s^g yang merepresentasikan kelangkaan dalam produksi *output* yang diinginkan, dan s^b yang merepresentasikan kelebihan dalam produksi *output* yang tidak diinginkan. DMU akan mencapai kondisi yang efisiensi ketika nilai θ^* sama dengan 1, atau ketika $s^- = 0$, $s^g = 0$, dan $s^b = 0$.

Pemilihan Variabel

Variabel yang digunakan dalam model SBM-DEA dibedakan menjadi 2, yaitu *input* dan *output*. Variabel *input* yang digunakan dalam model adalah proksi dari sumber daya yang digunakan dalam proses produksi. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kumar Mandal & Madheswaran (2010), variabel *input* yang digunakan dalam model adalah kapital, material, tenaga kerja, dan konsumsi energi. Sebagaimana yang dijelaskan oleh Setiawan et al. (2012), kapital adalah aset tetap yang dimiliki perusahaan, biaya pembelian bahan baku mentah domestik, dan impor sebagai proksi dari material. Sedangkan, tenaga kerja diprosikan dengan jumlah pekerja dan konsumsi energi adalah biaya yang dikeluarkan untuk pembelian bahan bakar (Kumar Mandal & Madheswaran, 2010). Terdapat variabel *output* yang merupakan proksi dari hasil kegiatan produksi, yaitu nilai produksi sebagai *output* yang diinginkan dan jumlah emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar sebagai *output* yang tidak diinginkan (Wang & Chen, 2021).

c. Regresi Tobit

Setelah pengukuran efisiensi hijau dilakukan, penelitian ini menerapkan model regresi Tobit. Model tersebut menghubungkan variabel dependen non-negatif dengan variabel independen ketika data memiliki sifat sensorik (Sağlam, 2018). Nilai efisiensi hijau memiliki batas bawah yaitu 0 dan batas atas yaitu 1. Penelitian ini menggunakan beberapa variabel independen yang dapat berpengaruh terhadap nilai efisiensi hijau ke dalam model. Variabel-variabel tersebut didasarkan kepada beberapa hipotesis, sebagai berikut:

Hipotesis 1: Struktur Energi Menurunkan Efisiensi

Pan et al. (2013), menjelaskan bahwa konsumsi batu bara dapat menurunkan nilai efisiensi lingkungan. Hal ini dikarenakan penggunaan batu bara dapat menghasilkan tingkat emisi yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini memasukkan variabel struktur energi yang merupakan persentase pengeluaran untuk batu bara terhadap pengeluaran untuk seluruh bahan bakar yang dikeluarkan oleh industri. Variabel tersebut diekspektasikan berdampak negatif terhadap efisiensi hijau.

Hipotesis 2: Pengeluaran untuk *Research & Development* (R&D) Berpengaruh Positif terhadap Efisiensi

Terjadinya peningkatan kesadaran terkait dengan isu lingkungan mendorong transisi ekonomi berkelanjutan melalui inovasi teknologi produksi yang lebih ramah lingkungan (Fernández Fernández et al., 2018). Sedangkan, penerapan teknologi tersebut dapat dilakukan dengan adanya pengeluaran untuk R&D (Sun et al., 2020). Berdasarkan penelitian Wang et al. (2020), diketahui bahwa pengeluaran untuk R&D berpengaruh positif terhadap pengembangan energi berkelanjutan yang dapat menurunkan tingkat emisi. Oleh karena itu, variabel pengeluaran untuk R&D diekspektasikan untuk memiliki pengaruh positif terhadap efisiensi hijau di dalam model.

Hipotesis 3: Konsentrasi Industri Berpengaruh Positif terhadap Efisiensi

Wang et al. (2018) menemukan bahwa konsentrasi industri yang tinggi dapat berpengaruh negatif terhadap polusi. Dimana ketika tingkat konsentrasi industri semakin tinggi, perusahaan besar akan mendapatkan tekanan berupa pengawasan yang ketat dari pihak yang berwenang. Sehingga, perusahaan tersebut akan memanfaatkan teknologi dan kemampuan finansialnya agar dapat memproduksi dengan meminimalisasi dampak lingkungan. Pada penelitian ini, variabel konsentrasi industri yang diekspektasikan berdampak positif terhadap efisiensi hijau. Konsentrasi industri sendiri diukur dengan menggunakan *Herfindahl–Hirshman Index* (HHI), dengan persamaan sebagai berikut.

$$HHI_j = (MS_i)^2$$

Dimana, j adalah indikator subsektor manufaktur, i merupakan indikator dari perusahaan di dalam subsektor. sedangkan MS merupakan pangsa pasar perusahaan i pada subsektor j .

Berdasarkan hipotesis-hipotesis tersebut, model regresi tobit yang digunakan dalam penelitian ini dapat dinotasikan ke dalam persamaan di bawah ini.

$$Eff_{jt} = \beta_0 + \beta_1 SE_{jt} + \beta_2 RD_{jt} + \beta_3 HHI_{jt} + \varepsilon_{jt}$$

Di mana j merepresentasikan indikator subsektor manufaktur yang diteliti dan t merepresentasikan deret waktu observasi. Eff_{jt} merupakan variabel dependen dan merupakan notasi dari efisiensi hijau subsektor yang memiliki nilai diantara 0 hingga 1. SE_j adalah persen pengeluaran untuk konsumsi batu bara dari keseluruhan pengeluaran untuk bahan bakar yang digunakan, RD_j adalah nilai pengeluaran untuk R&D, dan IC_j adalah derajat konsentrasi industri subsektor yang diteliti. Sedangkan, β_0 adalah konstanta; β_1 , β_2 , dan β_3 adalah parameter yang diestimasi, serta ε_j merupakan *error-term* dari model yang digunakan.

Data

Penelitian ini menggunakan data subsektor manufaktur 5 digit berdasarkan sistem *International Standard Industrial Classification* (ISIC). Data tersebut bersumber dari hasil survei tahunan industri manufaktur dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS). Lebih jauh, penelitian ini berfokus terhadap observasi dalam rentang tahun 2017-2019. Kemudian, dilakukan beberapa penyesuaian terhadap data yang digunakan dalam penelitian di mana variabel kapital, material, konsumsi energi, nilai *output*, dan pengeluaran untuk R&D dideflasikan terhadap deflator PDRB Jawa Timur dengan tahun 2010 sebagai tahun dasar.

Dalam penelitian ini terdapat penyesuaian terhadap data yang digunakan dalam model SBM-DEA. Hal tersebut dikarenakan terdapat nilai 0 dalam data variabel yang digunakan di dalam model. Padahal, model SBM-DEA memerlukan data yang bersifat positif (Tone & Tsutsui, 2009). Oleh karena itu, observasi yang memiliki nilai 0 dikeluarkan dari sampel untuk memenuhi kondisi tersebut (C. N. Wang et al., 2019).

Tabel 2: Statistik Deskriptif Subsektor Manufaktur Provinsi Jawa Timur Tahun 2017-2019

Variabel	Obs	Mean	Std. Dev	Min	Maks	Satuan
Bensin	526	103189,6	586254,9	0	10110301	Liter
Solar	526	298086,4	1305527	0	18062704	Liter
Batu bara	526	307493,3	3420386	0	76680520	Ton
Gas (Pgn)	526	770936,2	4613911	0	78942320	m ³
Gas (Non-Pgn)	526	531470,6	7956978	0	1,77*10 ⁸	m ³
Tenaga kerja	526	1777,709	5895,195	10	108268	Orang
Material	526	399,448	1262,976	5,28*10 ⁻⁴	18092,76	Miliar rupiah
Kapital	526	1112,313	14344,53	1,2*10 ⁻³	288222,3	Miliar rupiah
Pengeluaran bahan bakar	526	14,187	97,157	5,141	1490,466	Miliar rupiah
Nilai produksi	526	6166,424	15365,38	0,032	142822,9	Miliar rupiah
Pengeluaran untuk batu bara	526	1,597	12,407	0	236,541	Miliar rupiah
Pengeluaran untuk R&D	526	0,152	0,713524	0	8,139	Miliar rupiah
HHI	526	0,378	0,336	0,007	1	

Berdasarkan tabel 2, dapat diketahui bahwa terdapat standar deviasi yang tinggi, baik pada input maupun output dari Subsektor manufaktur yang diteliti. Kondisi ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup tinggi dalam hal teknologi antar subsektor (Setiawan et al., 2012).

Hasil dan Pembahasan

Hasil Pengukuran Emisi Karbon

Tabel 3: Statistik Deskriptif Emisi CO₂ pada Subsektor Manufaktur di Provinsi Jawa Timur Tahun 2017-2019

Variabel	Mean	Std. Dev	Min	Maks
Emisi CO ₂	851.2819	6351.065	0.000319	114322.2

Berdasarkan tabel 3, subsektor manufaktur di Provinsi Jawa Timur tahun 2017-2019 memiliki rata-rata emisi CO₂ sebesar 851,29 ton, nilai emisi CO₂ terendah 0,0003 ton, dan nilai emisi CO₂ tertinggi sebesar 114.322,2 ton. Sedangkan, selisih emisi CO₂ dalam subsektor manufaktur bersifat signifikan sebesar 6.351,065.

Tabel 4: Subsektor dengan Emisi CO₂ Tertinggi di Provinsi Jawa Timur Tahun 2017-2019

Nama Subsektor	2017	Nama Subsektor	2018	Nama Subsektor	2019
Industri pupuk lainnya	114.322,2	Industri pembuatan logam dasar bukan besi	6368,744	Industri penggilingan baja (<i>Steel Rolling</i>)	2.649,874
Industri kaca lembaran	75.131,65	Industri penggilingan baja (<i>Steel Rolling</i>)	3973,29	Industri perlengkapan rumah tangga dari porselen	1.672,805
Industri kertas lainnya	24.378,12	Industri pompa lainnya, kompresor, kran, dan klep/katup	2482,742	Industri pemintalan benang jahit	749,3426
Industri ember, kaleng, drum dan wadah sejenis dari logam	24.031,18	Industri kemasan dan kotak dari kertas dan karton	106,9104	Industri bahan baku pemberantas hama (bahan aktif)	41,13161
Industri kimia dasar organik lainnya	20.279,12	Industri penggilingan aneka kacang (termasuk <i>Leguminous</i>)	87,07983	Industri barang galian bukan logam lainnya YTDL	21,29832

Tabel 4 menunjukkan subsektor manufaktur dengan rata-rata emisi CO₂ tertinggi di provinsi Jawa Timur tahun 2017-2019 dengan penyebaran jenis industri yang berbeda-beda. Pada tahun 2017, lima subsektor penyumbang emisi CO₂ tertinggi di Jawa Timur antara lain Industri pupuk lainnya dengan 114322,2 ton; Industri kaca lembaran sebesar 75131,65 ton; Industri kertas lainnya sebesar 24378,12 ton; Industri ember, kaleng, drum, dan wadah sejenis dari logam dengan 24031,18 ton; dan Industri kimia dasar organik lainnya sebesar 20279,12 ton.

Pada tahun 2018, Industri pembuatan logam dasar bukan besi menjadi subsektor dengan rata-rata emisi CO₂ tertinggi dengan 6368,744 ton, diikuti dengan Industri penggilingan baja (*Steel Rolling*) sebesar 3973,29 ton; Industri pompa Lainnya, kompresor, kran, dan klep/katup dengan 2482,742 ton; Industri kemasan dan kotak dari kertas dan kardus dengan emisi CO₂ sebesar 106,9104 ton; dan Industri penggilingan aneka kacang (termasuk *Leguminous*) sebesar 87,078983 ton.

Industri penggilingan baja (*Steel Rolling*) naik peringkat menjadi subsektor rata-rata emisi CO₂ tertinggi di Jawa Timur tahun 2019 dengan pengeluaran emisi sebesar 2649,874 ton. Industri perlengkapan rumah tangga dan porselen berada di posisi kedua dengan rata-rata emisi 1672,805 ton, diikuti dengan Industri permintaan benang jahit sebesar 749,3426 ton; Industri bahan baku pemberantas hama (bahan aktif) sebesar 41,13161 ton; dan Industri barang galian bukan logam lainnya YTDL (Yang Tidak Termasuk Dalam Lainnya) sebesar 21,29832 ton.

Hasil Perhitungan Efisiensi Hijau

Tabel 5: Statistik Deskriptif Efisiensi Hijau pada Subsektor Manufaktur di Provinsi Jawa Timur Tahun 2017-2019

Variabel	Mean	Std. Dev	Min	Maks
Efisiensi hijau	0,128	0,287	0	1

Tabel 5 menunjukkan rata-rata efisiensi hijau untuk seluruh subsektor manufaktur di Provinsi Jawa Timur pada periode 2017-2019 di mana rata-rata efisiensi hijau ialah sebesar 0,128, dengan nilai efisiensi hijau terendah sebesar 0, dan nilai efisiensi hijau tertinggi sebesar 1. Nilai efisiensi hijau sebesar 1 menunjukkan bahwa subsektor tersebut paling efisien dalam pengelolaan lingkungan. Selanjutnya, standar deviasi dari efisiensi hijau adalah sebesar 0,287, hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai efisiensi yang cukup tinggi antar subsektor manufaktur Provinsi Jawa Timur.

Tabel 6: Subsektor dengan Skor Efisiensi Hijau Terendah di Provinsi Jawa Timur Tahun 2017-2019

Nama Subsektor	2017	Nama Subsektor	2018	Nama Subsektor	2019
Industri pengeringan dan pengolahan tembakau	0,00158	Industri penggilingan aneka kacang (termasuk <i>Leguminous</i>)	0	Industri pengolahan kopi	0
Industri barang tanah liat/keramik dan porselen lainnya bukan bahan bangunan	0,00161	Industri batik	0,00001	Industri perlengkapan dan peralatan rumah tangga (tidak termasuk furnitur)	0
Industri penggarangan/pengeringan ikan	0,00196	Industri Kapur	0,00001	Industri perhiasan imitasi dan barang sejenis	0
Industri bahan amelioran (pembenah tanah)	0,00225	Industri Kapuk	0,00002	Industri produk farmasi untuk manusia	0,00001
Industri pengolahan rumput laut	0,00227	Industri alas kaki untuk keperluan sehari-hari	0,00002	Industri barang dari semen dan kapur untuk konstruksi	0,00001

Tabel 6 menunjukkan subsektor manufaktur dengan rata-rata skor efisiensi hijau terendah di Provinsi Jawa Timur tahun 2017-2019 dengan penyebaran jenis industri yang berbeda-beda. Pada tahun 2017, lima subsektor dengan rata-rata skor efisiensi hijau terendah antara lain: Industri pengeringan dan pengolahan tembakau dengan rata-rata skor 0,00158; Industri barang tanah liat/keramik dan porselen lainnya bukan bahan bangunan sebesar 0,00161; Industri penggarangan/pengeringan ikan sebesar 0,00196; Industri bahan amelioran (pembenah tanah) sebesar 0,00225; dan Industri pengolahan rumput laut sebesar 0,00227.

Pada tahun 2018, Industri penggilingan aneka kacang (termasuk *Leguminous*) merupakan subsektor yang memiliki nilai rata-rata skor efisiensi hijau terendah sebesar 0, selanjutnya Industri batik dan Industri kapur dengan nilai sebesar 0,00001, kemudian diikuti oleh Industri kapuk dan Industri alas kaki untuk keperluan sehari-hari dengan nilai sebesar 0,00002.

Setiap tahunnya terdapat perubahan subsektor industri yang memiliki rata-rata skor efisiensi hijau terendah. Di tahun 2019, subsektor yang memiliki rata-rata skor efisiensi hijau terendah adalah Industri pengolahan kopi, Industri perlengkapan dan peralatan rumah tangga

(tidak termasuk *Furniture*), dan Industri perhiasan imitasi dan barang sejenis sebesar 0, kemudian diikuti oleh Industri produk farmasi untuk manusia dan Industri barang dari semen dan kapur untuk konstruksi dengan nilai rata-rata skor sebesar 0,00001.

Interaksi antara Efisiensi Hijau dan Emisi CO₂

Gambar 2: Grafik Emisi Co₂ dan Skor Efisiensi Hijau Tahun 2017-2019 Subsektor Industri Manufaktur



Dalam analisis SBM-DEA, terdapat tiga *slacks* berupa kelebihan dalam penggunaan *input*, kelangkaan dalam produksi *output* yang diinginkan, dan kelebihan dalam produksi *output* yang tidak diinginkan. Ketiga *slacks* tersebut dapat memengaruhi nilai efisiensi hijau, sehingga nilai efisiensi hijau tidak dapat diinterpretasikan secara langsung. Oleh karena itu, Gambar 2 dibutuhkan untuk menjelaskan nilai dari efisiensi hijau. Berdasarkan Gambar 2, dapat diketahui bahwa selama tahun 2017-2019 dalam subsektor Industri Manufaktur di Provinsi Jawa Timur terdapat indikasi, yaitu ketika nilai rata-rata skor efisiensi hijau rendah, subsektor tersebut memiliki emisi CO₂ yang tinggi. Sehingga, dapat dikatakan bahwa skor efisiensi yang rendah berkaitan dengan tingginya jumlah emisi yang dihasilkan oleh Subsektor manufaktur sebagai *output* yang tidak diinginkan.

Hasil Regresi Tobit antara Efisiensi Hijau terhadap Determinannya

Tabel 7: Hasil Regresi Tobit

Variabel Independen	Variabel Dependen: Nilai efisiensi hijau	
	Panel Tobit	Pooled Tobit
Struktur energi	-0,000832 (0,000595)	-0,000834 (0,000591)
Pengeluaran untuk R&D	-0,0341* (0,0196)	-0,0327* (0,0193)
HHI	-0,00796	-0,00924

Variabel Independen	Variabel Dependen: Nilai efisiensi hijau	
	Panel Tobit	Pooled Tobit
	(0,0414)	(0,0415)
Konstanta	0,152***	0,152***
	(0,0224)	(0,0223)
Observasi	526	526
Jumlah Subsektor	343	

Analisis variabel yang berpengaruh terhadap efisiensi hijau di dalam penelitian ini menggunakan regresi Panel Tobit. Kemudian, dilakukan *robustness check* untuk menguji konsistensi hubungan dari variabel yang diteliti dengan menggunakan regresi *Pooled Tobit*. Berdasarkan tabel 7 dapat dilihat bahwa regresi Panel Tobit dan regresi *Pooled Tobit* menunjukkan hasil yang identik, baik pada tingkat signifikansi maupun arah hubungan variabel yang berpengaruh terhadap efisiensi hijau. Sehingga, hasil kedua metode regresi tersebut dapat memiliki penjelasan yang semisal.

Variabel struktur energi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi hijau subsektor manufaktur. Temuan ini tidak mendukung hipotesis awal dalam penelitian, akan tetapi sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Wang et al. (2017). Hal tersebut dapat dikaitkan dengan komposisi konsumsi batu bara yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan total konsumsi bahan bakar. Berdasarkan tabel 2, rata-rata pengeluaran untuk batu bara berkisar 1,597 miliar. Angka tersebut relatif jauh lebih rendah dibandingkan dengan rata-rata pengeluaran untuk bahan bakar yang bernilai 14,187 miliar.

Terdapat hubungan negatif antara pengeluaran R&D terhadap nilai efisiensi hijau. Hubungan R&D yang negatif terhadap efisiensi tidak selaras dengan hipotesis awal penelitian, dan dengan penelitian Kustiningsih & Tjahjadi (2020) yang menyatakan bahwa inovasi hijau berperan penting dalam mencapai *cost efficiency* untuk meningkatkan *business process performance* dan *cost performance* industri di Jawa Timur. Selain itu, penelitian Tjahjadi et al., (2020) menunjukkan R&D dan orientasi pasar yang bersifat hijau memiliki efek positif terhadap performa bisnis di Jawa Timur. Bagaimanapun, suatu industri perlu untuk menerapkan inovasi hijau yang dapat meningkatkan nilai efisiensi hijau dan performa bisnis. Namun, selaras dengan hasil penelitian Lee & Min (2015) yang menggunakan sampel observasi perusahaan manufaktur di Jepang selama periode 2001-2010. Efek negatif dari R&D pada emisi karbon semakin melemah ketika sebuah perusahaan meningkatkan R&D untuk inovasi non-lingkungan. Secara intuitif, peningkatan *output* yang dihasilkan dari R&D non-hijau dapat memperburuk kinerja lingkungan. Selain itu, *mismatch* antara pengeluaran R&D baik terhadap perbedaan harga aktual dan *marginal output*, *spillover* teknologi, dan distrupsi kelembagaan memengaruhi nilai efisien hijau secara negatif Li et al. (2023). Dalam beberapa aspek di atas, pengeluaran R&D berpengaruh negatif terhadap nilai efisiensi hijau secara tidak langsung.

Hasil regresi menunjukkan bahwa konsentrasi industri tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai efisiensi hijau subsektor. Hal ini dikarenakan terdapat faktor lain yang berpengaruh yaitu preferensi konsumen terhadap isu lingkungan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Simon & Prince (2016), industri dengan konsentrasi yang rendah atau bersifat kompetitif akan memiliki insentif lebih kuat untuk menanggapi preferensi konsumen dengan mengurangi polusi daripada perusahaan yang menghadapi persaingan lebih lemah. Faktor preferensi konsumen untuk lingkungan bersih akan menjadi sumber endogenitas, terutama jika terwujud dalam tekanan fasilitas dalam mengungkapkan lebih banyak polusi dan juga berkorelasi dengan

persaingan. Namun, peningkatan kesadaran konsumen terhadap isu lingkungan masih perlu ditingkatkan dan di samping permintaan akan produk ramah lingkungan masih stagnan (Arli et al., 2018). Hal ini menyebabkan perusahaan di dalam subsektor manufaktur tidak memiliki insentif lebih untuk meningkatkan performa lingkungan.

Simpulan

Perkembangan sektor industri manufaktur merupakan hal yang penting untuk mendorong kesejahteraan masyarakat. Meskipun demikian, terdapat permasalahan yang muncul perkembangan industri tersebut, yaitu berupa permasalahan lingkungan. Dengan menggunakan tiga tahapan analisis, penelitian ini bertujuan untuk memetakan Subsektor manufaktur berdasarkan tingkat emisi CO₂ dan efisiensi hijau, serta menganalisis bagaimana hubungan efisiensi hijau dengan variabel yang dapat memengaruhinya. Hasilnya, dapat diketahui bahwa dalam rentang tahun 2017-2019, selalu terjadi pergantian subsektor dengan emisi tertinggi dan terendah maupun dengan nilai efisiensi hijau tertinggi serta terendah. Selain itu, penelitian ini juga menemukan bahwa nilai efisiensi hijau akan cenderung menurun ketika emisi yang dihasilkan meningkat. Sementara itu, hasil regresi tobit menunjukkan bahwa variabel struktur energi dan konsentrasi industri tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai efisiensi hijau. Sedangkan, variabel pengeluaran untuk R&D memiliki pengaruh yang negatif dan signifikan terhadap nilai efisiensi hijau.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, variabel struktur energi yang merepresentasikan komposisi penggunaan batu bara tidak berpengaruh signifikan terhadap efisiensi hijau. Akan tetapi, arah hubungan dari kedua variabel tersebut adalah negatif yang mengindikasikan peningkatan komposisi batu bara akan menurunkan nilai efisiensi hijau subsektor industri. Oleh karena itu, penulis merekomendasikan penggunaan bahan baku dan bahan bakar ramah lingkungan yang masif pada sektor industri. Bioenergi memiliki peranan substansial pada sistem energi dunia dan dalam pengelolaan perubahan iklim karena merupakan bagian dari transformasi energi. Bioenergi sejalan dengan target iklim yang lebih ketat di mana pada 2050 terdapat tiga kali biaya yang lebih tinggi dengan kerugian konsumsi ekonomi yang berpotensi berlipat ganda ketika pasokan bioenergi dibatasi (Rose et al., 2014). Penggunaan bahan baku dan bahan bakar yang ramah lingkungan tentu perlu memenuhi standar persyaratan produksi sehingga tetap mendapatkan luaran produk yang terbaik (Cobo-Ceacero et al., 2019).

Sementara itu, hubungan negatif antara pengeluaran R&D dengan nilai efisiensi hijau menunjukkan bahwa inovasi yang dilakukan pada subsektor manufaktur di Jawa Timur tidak berorientasi lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan implementasi strategi inovasi hijau oleh perusahaan seperti merancang produk hijau dan prosedur distribusi, penggunaan teknologi bersih, pencegahan polusi, dan proses manajemen hijau dapat menciptakan keunggulan kompetitif yang berkelanjutan (Ge et al., 2018). Strategi inovasi hijau perusahaan harus sejalan dengan tren dan kondisi ekonomi terbaru. Jika inovasi hijau dilakukan secara efektif, maka akan memiliki berbagai manfaat bagi perusahaan, seperti meningkatkan nilai potensial sebuah produk dan meningkatkan penerimaan perusahaan. Keputusan bagi perusahaan untuk melaksanakan inovasi hijau didorong oleh tekanan dari pemangku kepentingan, regulasi pemerintah, dan permintaan dari konsumen (Guoyou et al., 2013).

Perusahaan yang ada di dalam industri harus mendapatkan tekanan untuk dapat memproduksi secara ramah lingkungan. Tekanan tersebut berasal dari masyarakat yang memiliki kesadaran mengonsumsi produk yang ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan keputusan konsumen dalam membeli suatu produk ramah lingkungan dilatar belakangi oleh beberapa

faktor seperti sikap konsumen, norma subjektif, kontrol perilaku yang dirasakan, identitas diri pro-lingkungan, dan kesiapan konsumen (Arli et al., 2018). Meningkatnya kesadaran konsumen terkait isu lingkungan mendorong perusahaan manufaktur untuk memproduksi dengan meminimalisasi dampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian Mufidah et al (2018) menunjukkan bahwa mempertahankan dan meningkatkan strategi penerapan produk ekolabel akan membantu untuk membuat persepsi positif tentang produk ramah lingkungan kepada konsumen, sehingga meningkatkan konsumsi pada produk tersebut. Dalam penelitian tersebut juga dikatakan bahwa Indonesia memiliki kekuatan lebih untuk “go green” dan dapat menjadi kesempatan baik guna mendorong performa perusahaan dalam kegiatan pro-lingkungan dengan menggunakan produk ramah lingkungan.

Daftar Pustaka

- Arli, D., Tan, L. P., Tjiptono, F., & Yang, L. (2018). Exploring Consumers' Purchase Intention Towards Green Products in an Emerging Market: The Role of Consumers' Perceived Readiness. *International Journal of Consumer Studies*, 42(4), 389–401. <https://doi.org/10.1111/ijcs.12432>
- Chen, W., Shen, Y., Wang, Y., & Wu, Q. (2018). The Effect of Industrial Relocation On Industrial Land Use Efficiency in China: A Spatial Econometrics Approach. *Journal of Cleaner Production*, 205, 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.106>
- Climate Watch Indonesia Country Platform. (n.d.). *GHG Emissions Inventory - MOEF*. Retrieved April 18, 2022, from <https://indonesia.climatewatchdata.org/id/emissions-portal?breakBy=sector-absolute&gas=55>
- Cobo-Ceacero, C. J., Cotes-Palomino, M. T., Martínez-García, C., Moreno-Maroto, J. M., & Uceda-Rodríguez, M. (2019). Use of Marble Sludge Waste in The Manufacture of Eco-Friendly Materials: Applying the Principles of the Circular Economy. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(35), 35399–35410. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05098-x>
- Fernández Fernández, Y., Fernández López, M. A., & Olmedillas Blanco, B. (2018). Innovation for Sustainability: The impact of R&D spending on CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3459–3467. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.001>
- Ge, B., Yang, Y., Jiang, D., Gao, Y., Du, X., & Zhou, T. (2018). An Empirical Study on Green Innovation Strategy and Sustainable Competitive Advantages: Path and boundary. *Sustainability (Switzerland)*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/su10103631>
- Gong, J., Chen, W., Liu, Y., & Wang, J. (2014). The Intensity Change of Urban Development Land: Implications for the City Master Plan of Guangzhou, China. *Land Use Policy*, 40, 91–100. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.05.001>
- Guoyou, Q., Saixing, Z., Chiming, T., Haitao, Y., & Hailiang, Z. (2013). Stakeholders' Influences on Corporate Green Innovation Strategy: A Case Study of Manufacturing Firms in China. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 20(1), 1–14. <https://doi.org/10.1002/csr.283>
- Iram, R., Zhang, J., Erdogan, S., Abbas, Q., & Mohsin, M. (2020). Economics of Energy and Environmental Efficiency: Evidence from OECD Countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(4), 3858–3870. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07020-x>
- IQAir. (2022). *2021 World Air Quality Report*.

- IQAir. (2022). *Kota Paling Berpolusi di Dunia*. Retrieved April 18, 2022, from <https://www.iqair.com/id/world-most-polluted-cities?continent=59af92b13e70001c1bd78e53&country=Rqrg4reHqi8taY4re&state=&sort=-rank&page=1&perPage=50&cities=>
- Joshua, U., & Bekun, F. V. (2020). The path to achieving environmental sustainability in South Africa: the role of coal consumption, economic expansion, pollutant emission, and total natural resources rent. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 9435–9443. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07546-0>
- Katadata.co.id. (2021). *Berapa Kontribusi Industri Pengolahan Terhadap PDB Nasional? | Databoks*. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/08/10/berapa-kontribusi-industri-pengolahan-terhadap-pdb-nasional>
- Kautsar, M. F., & Herlinda, O. (2021). *Laporan dan analisa pencemaran udara di Indonesia: Air Pollution CISDI Report 2021*.
- Kustiningsih, N., & Tjahjadi, B. (2020). Mediating effect of business process performance on innovation strategy-cost performance relationship: case study of manufacturing industry in East Java Province, Indonesia. In *Int. J. Business Performance Management* (Vol. 21, Issue 3).
- Kumar Mandal, S., & Madheswaran, S. (2010). Environmental efficiency of the Indian cement industry: An interstate analysis. *Energy Policy*, 38(2), 1108–1118. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.10.063>
- Lee, K. H., & Min, B. (2015). Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, 108, 534–542. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.114>
- Li, T., Shi, Z., Han, D., & Zeng, J. (2023). Agglomeration of the new energy industry and green innovation efficiency: Does the spatial mismatch of R&D resources matter? *Journal of Cleaner Production*, 383. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135453>
- Lin, X., Zhu, X., Han, Y., Geng, Z. and Liu, L. (2020), “Economy and carbon dioxide emissions effects of energy structures in the world: Evidence based on SBM-DEA model”, *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V., Vol. 729, p. 138947.
- Ling Guo, L., Qu, Y., & Tseng, M. L. (2017). The interaction effects of environmental regulation and technological innovation on regional green growth performance. *Journal of cleaner production*, 162, 894-902.
- Martin, D. M., Mazzotta, M., & Bousquin, J. (2018). Combining ecosystem services assessment with structured decision making to support ecological restoration planning. *Environmental Management*, 62(3), 608–618. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1038-1>
- Mufidah, I., Jiang, B. C., Lin, S. C., Chin, J., Rachmaniati, Y. P., & Persada, S. F. (2018). Understanding the consumers’ behavior intention in using green ecolabel product through Pro-Environmental Planned Behavior model in developing and developed regions: Lessons learned from Taiwan and Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/su10051423>
- Nguyen, T. A., Kuroda, K., & Otsuka, K. (2017). Inclusive impact assessment for the sustainability of vegetable oil-based biodiesel – Part I: Linkage between inclusive impact index and life cycle sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 166, 1415–1427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.059>

- Pan, H., Zhang, H., & Zhang, X. (2013). China's provincial industrial energy efficiency and its determinants. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(5–6), 1032–1039. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.09.006>
- Pearce, D., Markandya, A., & Barbier, E. B. (1989). *Blueprint for a Green Economy*.
- Purwanto, W. J. (2021). Kajian Normatif Mengenai Dampak Lingkungan Hidup dan Pengelolaan Limbah B3 di Wilayah Mojokerto. *Indonesian Journal of Law and Economics Review*, 10. <https://ijler.umsida.ac.id>
- Rose, S. K., Kriegler, E., Bibas, R., Calvin, K., Popp, A., van Vuuren, D. P., & Weyant, J. (2014). Bioenergy in energy transformation and climate management. *Climatic Change*, 123(3–4), 477–493. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0965-3>
- Sağlam, Ü. (2018). A two-stage performance assessment of utility-scale wind farms in Texas using data envelopment analysis and Tobit models. In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 201). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.034>
- Sauri-Pujol, D. (1992). Environment and economy: property rights and public policy.
- Shuai, S., & Fan, Z. (2020). Modeling the role of environmental regulations in regional green economy efficiency of China: Empirical evidence from super efficiency DEA-Tobit model. *Journal of Environmental Management*, 261(November 2019), 110227. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110227>
- Setiawan, M., Emvalomatis, G., & Oude Lansink, A. (2012). The relationship between technical efficiency and industrial concentration: Evidence from the Indonesian food and beverages industry. *Journal of Asian Economics*, 23(4), 466–475. <https://doi.org/10.1016/j.asieco.2012.01.002>
- Simon, D. H., & Prince, J. T. (2016). The effect of competition on toxic pollution releases. *Journal of Environmental Economics and Management*, 79, 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2016.03.001>
- Song, M., Wang, S., & Sun, J. (2018). Environmental regulations, staff quality, green technology, R&D efficiency, and profit in manufacturing. *Technological Forecasting and Social Change*, 133(January), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.04.020>
- Sorvari, J., Antikainen, R., Kosola, M. L., Hokkanen, P., & Haavisto, T. (2009). Eco-efficiency in contaminated land management in Finland - Barriers and development needs. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1715–1727. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.002>
- Sukhdev, P., Stone, S., & Nuttall, N. (2010). Green economy, developing countries success stories. *St-Martin-Bellevue: United Nation Environment Programme (UNEP)*.
- Sun, X., Zhou, X., Chen, Z., & Yang, Y. (2020). Environmental efficiency of electric power industry, market segmentation and technological innovation: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, 706(xxxx), 135749. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135749>
- Tang, Z. (2015). An integrated approach to evaluating the coupling coordination between tourism and the environment. *Tourism Management*, 46, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2014.06.001>

- Tjahjadi, B., Soewarno, N., Hariyati, H., Nafidah, L. N., Kustiningsih, N., & Nadyaningrum, V. (2020). The role of green innovation between green market orientation and business performance: its implication for open innovation. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/joitmc6040173>
- Tone, K. (2003). Dealing with undesirable outputs in DEA: A Slacks-Based Measure (SBM) approach. *GRIPS Research Report Series I-2003-0005*.
- Tone, K., & Tsutsui, M. (2009). Network DEA: A slacks-based measure approach. *European Journal of Operational Research*, 197(1), 243–252. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.05.027>
- Utami, I. D., Findiastuti, W., Kuswanto, D., & Singgih, M. L. (2010). Tata Ruang dan Penilaian Dampak Lingkungan Industri di Bangkalan Pasca Pembangunan Jembatan Suramadu Berdasarkan Potensi Daerah. *Jurnal Teknik Industri*, 11, 162–169
- U.S. Energy Information Administration (EIA). (2018). Carbon Dioxide Emissions Coefficients. https://doi.org/https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.php
- Wang, C. N., Luu, Q. C., Nguyen, T. K. L., & Day, J. Der. (2019). Assessing bank performance using dynamic SBM model. *Mathematics*, 7(1). <https://doi.org/10.3390/math7010073>
- Wang, M.-C., & Chen, Z. (2021). The relationship among environmental performance, R&D expenditure and corporate performance: using simultaneous equations model. *Quality & Quantity*. <https://doi.org/10.1007/s11135-021-01238-z>
- Wang, P., Zhu, B., Tao, X., & Xie, R. (2017). Measuring regional energy efficiencies in China: a meta-frontier SBM-Undesirable approach. *Natural Hazards*, 85(2), 793–809. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2605-5>
- Wang, Q., Li, S., & Pisarenko, Z. (2020). Heterogeneous effects of energy efficiency, oil price, environmental pressure, R&D investment, and policy on renewable energy – evidence from the G20 countries. *Energy*, 209, 118322. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118322>
- Wang, Q., Yuan, X., Cheng, X., Mu, R., & Zuo, J. (2014). Coordinated development of energy, economy and environment subsystems - A case study. *Ecological Indicators*, 46, 514–523. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.014>
- Wang, X., Han, L., & Yin, L. (2017). Environmental efficiency and its determinants for manufacturing in China. *Sustainability (Switzerland)*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/su9010047>
- Wang, Z., Jia, H., Xu, T., & Xu, C. (2018). Manufacturing industrial structure and pollutant emission: An empirical study of China. *Journal of Cleaner Production*, 197, 462–471. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.092>
- Wasista, D., & Nawiyanto. (2014). *Perubahan Lingkungan di Kabupaten Sidoarjo Tahun 1970-2006*.
- Wey, W. M., & Hsu, J. (2014). New Urbanism and Smart Growth: Toward achieving a smart National Taipei University District. *Habitat International*, 42, 164–174. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2013.12.001>
- Xu, K., Bossink, B., & Chen, Q. (2020). Efficiency evaluation of regional sustainable innovation

- in China: A slack-based measure (SBM) model with undesirable outputs. *Sustainability (Switzerland)*, 12(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/SU12010031>
- Yuan, B., & Xiang, Q. (2018). Environmental regulation, industrial innovation and green development of Chinese manufacturing: Based on an extended CDM model. *Journal of Cleaner Production*, 176, 895–908. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.034>
- Zhang, J., Chang, Y., Wang, C., & Zhang, L. (2018). The green efficiency of industrial sectors in China: A comparative analysis based on sectoral and supply-chain quantifications. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.015>
- Zhang, Y., Jin, P., & Feng, D. (2015). Does civil environmental protection force the growth of China's industrial green productivity? Evidence from the perspective of rent-seeking. *Ecological Indicators*, 51(2014), 215–227. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.042>