



## Analisis Tingkat Kinerja Eko-Efisiensi di 5 Negara ASEAN dengan Metode Data Envelopment Analysis

### *Analysis of Eco-Efficiency Performance Levels in 5 ASEAN Countries Using Data Envelopment Analysis Method*

Nabila Wahyu Mulia<sup>1</sup>; Norma Ayu Elvina<sup>2</sup>

Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia  
Email: [nabila.wahyum@student.uns.ac.id](mailto:nabila.wahyum@student.uns.ac.id); [normaayuelvina@student.uns.ac.id](mailto:normaayuelvina@student.uns.ac.id)

#### ABSTRACT

**Keywords:**  
ASEAN;  
Eco-efficiency;  
Data Envelopment  
Analysis (DEA)

*The rapid economic development in ASEAN countries has resulted in significant progress across various sectors, but it has also led to increased use of natural resources and detrimental environmental impacts. To achieve sustainable development, the concept of eco-efficiency, which integrates economic growth with environmental protection, becomes crucial. This study focuses on analyzing the level of eco-efficiency performance in five ASEAN countries, namely Indonesia, Malaysia, Thailand, the Philippines, and Vietnam, using the Data Envelopment Analysis (DEA) method for the period 2010-2020. The results show that Thailand faces specific challenges related to carbon emission levels exceeding projections, while the Philippines, Indonesia, Malaysia, and Vietnam demonstrate more efficient performance. Factors influencing eco-efficiency performance include electricity consumption levels, renewable energy, workforce, fossil fuel consumption, GDP, and carbon emission levels. This analysis highlights the importance of strategic policies supporting clean energy use, investment in green technologies, and workforce training in eco-efficient practices. With these measures, ASEAN countries are expected to improve their eco-efficiency performance and contribute to sustainable development in the region. The study also provides a comparative overview of the successes and challenges faced by each country, which can serve as a basis for policy-making related to sustainable development in ASEAN. Thus, this research is expected to make a significant contribution to the development of regional strategies to achieve sustainable development goals and strengthen cooperation among ASEAN countries in addressing global environmental challenges.*

#### ABSTRAK

**Kata kunci:**  
ASEAN;  
Eko-efisiensi;  
Data Envelopment  
Analysis (DEA)

Perkembangan ekonomi yang pesat di negara-negara ASEAN telah menghasilkan kemajuan signifikan dalam berbagai sektor, namun juga menyebabkan peningkatan penggunaan sumber daya alam dan dampak lingkungan yang merugikan. Untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, konsep eko-efisiensi yang mengintegrasikan pertumbuhan ekonomi dengan perlindungan lingkungan menjadi sangat penting. Penelitian ini fokus pada analisis tingkat kinerja eko-efisiensi di lima negara ASEAN, yaitu Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, dan Vietnam, menggunakan metode Data Envelopment Analysis (DEA) untuk periode 2010-2020. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Thailand menghadapi tantangan khusus terkait

---

dengan tingkat emisi karbon yang melebihi proyeksi, sementara Filipina, Indonesia, Malaysia, dan Vietnam menunjukkan kinerja yang lebih efisien. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kinerja eko-efisiensi meliputi tingkat konsumsi energi listrik, energi terbarukan, angkatan kerja, konsumsi bahan bakar fosil, GDP, dan tingkat emisi karbon. Analisis ini menyoroti pentingnya kebijakan strategis yang mendukung penggunaan energi bersih, investasi dalam teknologi hijau, dan pelatihan tenaga kerja dalam praktik-praktik eko-efisien. Dengan langkah-langkah tersebut, negara-negara ASEAN diharapkan dapat meningkatkan kinerja eko-efisiensi mereka dan berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan di kawasan ini. Penelitian ini juga memberikan gambaran komparatif tentang keberhasilan dan tantangan yang dihadapi oleh masing-masing negara, yang dapat menjadi dasar bagi pengambilan kebijakan terkait dengan pembangunan berkelanjutan di ASEAN. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan strategi regional untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan dan memperkuat kerjasama antar negara di ASEAN dalam menghadapi tantangan lingkungan global.

---

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan ekonomi di negara-negara ASEAN telah membawa kemajuan signifikan dalam berbagai sektor. Namun, pertumbuhan ini juga disertai dengan peningkatan penggunaan sumber daya alam dan dampak lingkungan yang merugikan. Untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, konsep eko-efisiensi menjadi sangat penting (Xing *et al.*, 2018). Eko-efisiensi mengacu pada pencapaian kinerja ekonomi yang tinggi dengan dampak lingkungan yang minimal (Nursinta Dewi *et al.*, 2022). Analisis tingkat kinerja eko-efisiensi di negara-negara ASEAN penting untuk memahami sejauh mana negara-negara tersebut mampu mengintegrasikan pertumbuhan ekonomi dengan pelestarian lingkungan.

ASEAN, atau Perhimpunan Bangsa-Bangsa Asia Tenggara, terdiri dari sepuluh negara anggota yang memiliki beragam tingkat perkembangan ekonomi dan kebijakan lingkungan. Dalam analisis ini, fokus akan diberikan pada lima negara ASEAN yang memiliki peran ekonomi signifikan dan data lingkungan yang memadai, yaitu Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, dan Vietnam. Kelima negara ini mewakili berbagai tahapan perkembangan ekonomi dan upaya lingkungan di kawasan ini.

Eko-efisiensi merupakan pendekatan yang menggabungkan peningkatan produktivitas ekonomi dengan pengurangan dampak lingkungan (Maros and Juniar, 2016). Dalam konteks ASEAN, penerapan prinsip eko-efisiensi menjadi krusial mengingat tekanan yang semakin meningkat pada sumber daya alam dan lingkungan. Negara-negara ASEAN menghadapi tantangan dalam mengelola limbah, mengurangi emisi gas rumah kaca, serta menjaga keanekaragaman hayati, semuanya di tengah upaya untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan sosial (Xing *et al.*, 2018).

Kebijakan kinerja eko-efisiensi dalam sektor ekonomi merupakan upaya strategis untuk mengintegrasikan pertumbuhan ekonomi dengan pengelolaan sumber daya dan perlindungan lingkungan (Xia *et al.*, 2022). Melalui pendekatan ini, pemerintah dan perusahaan berusaha untuk meningkatkan efisiensi dalam penggunaan energi, air, dan bahan baku, sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan seperti emisi gas rumah kaca dan limbah berbahaya (Jiang *et al.*, 2023). Kinerja eko-efisiensi mempromosikan inovasi teknologi yang ramah lingkungan dan praktik bisnis yang berkelanjutan, dengan tujuan tidak hanya untuk meminimalkan biaya produksi tetapi juga untuk memperbaiki reputasi perusahaan di mata konsumen yang semakin sadar

lingkungan (Ma *et al.*, 2024). Di tingkat kebijakan, langkah-langkah ini sering kali didukung oleh insentif fiskal, regulasi lingkungan yang ketat, serta kerja sama antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat sipil dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan secara holistik. Dengan menerapkan prinsip-prinsip kinerja eko-efisiensi, sektor ekonomi dapat bergerak menuju pertumbuhan yang lebih inklusif dan ramah lingkungan, yang sejalan dengan komitmen global untuk menghadapi tantangan perubahan iklim dan degradasi lingkungan.

Pentingnya penelitian mengenai analisis tingkat kinerja eko-efisiensi di lima negara ASEAN (Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, dan Vietnam) menjadi semakin relevan seiring dengan meningkatnya kesadaran global terhadap isu perubahan iklim dan keberlanjutan. Eko-efisiensi, yang mengintegrasikan prinsip-prinsip efisiensi ekonomi dan perlindungan lingkungan, merupakan pendekatan yang semakin diakui sebagai kunci dalam mencapai pembangunan berkelanjutan. Di tengah tekanan global untuk mengurangi jejak karbon dan dampak lingkungan, negara-negara ASEAN menghadapi tantangan besar dalam menyeimbangkan pertumbuhan ekonomi dengan perlindungan ekosistem.

Penelitian ini menjadi signifikan karena berbagai negara di ASEAN memiliki kebijakan dan tingkat implementasi eko-efisiensi yang berbeda-beda, yang memberikan gambaran komparatif tentang keberhasilan dan tantangan yang dihadapi. Misalnya, Indonesia telah mengembangkan program industri hijau, Malaysia fokus pada pengurangan intensitas energi, Thailand mengadopsi ekonomi sirkular, Filipina memperkuat pertanian berkelanjutan, dan Vietnam meningkatkan efisiensi energi. Analisis ini dapat membantu memahami efektivitas kebijakan yang telah diterapkan serta mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah mengevaluasi berbagai aspek eko-efisiensi namun seringkali berfokus pada masing-masing negara tanpa memberikan perspektif regional yang komparatif. Salah satu studi yang menyoroti eko-efisiensi regional adalah "Measuring Regional Eco-Efficiency in China (2003–2016): A 'Full World' Perspective and Network Data Envelopment Analysis" yang membahas pentingnya eko-efisiensi dalam mencapai pembangunan alam yang terkoordinasi, perekonomian, dan masyarakat. Studi ini menggunakan jaringan DEA untuk mengevaluasi eko-efisiensi provinsi-provinsi di Tiongkok, memberikan wawasan mengenai karakteristik ruang waktu dan faktor-faktor yang mempengaruhinya (Ren *et al.*, 2020). Selain itu, "Konvergensi Emisi CO<sub>2</sub> di Negara-Negara ASEAN: Pendekatan Model Solow Hijau yang Ditambah" memberikan kerangka metodologi yang relevan untuk menganalisis emisi karbon dioksida dan eko-efisiensi di negara-negara ASEAN, meskipun fokus utamanya adalah pada konvergensi emisi dibandingkan analisis eko-efisiensi holistik di seluruh negara ASEAN. beberapa dimensi.

Permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana negara-negara ASEAN dapat meningkatkan kinerja eko-efisiensi di tengah pertumbuhan ekonomi yang pesat dan berbagai tantangan lingkungan. Fenomena ini menimbulkan gap antara teori eko-efisiensi dan praktik nyata di lapangan. Misalnya, meskipun ada kebijakan yang mendukung, implementasinya seringkali menghadapi hambatan seperti keterbatasan teknologi, kurangnya kesadaran industri, dan dukungan finansial yang tidak memadai.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Menganalisis tingkat kinerja eko-efisiensi di Indonesia, Malaysia, Thailand, Filipina, dan Vietnam dan (2) Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kinerja eko-efisiensi di lima negara ASEAN. Keterbaruan penelitian ini terletak pada pendekatan komparatif dan integratif yang digunakan untuk mengkaji kinerja eko-efisiensi dan kebijakan di lima negara ASEAN secara simultan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan strategi regional untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan dan memperkuat kerjasama antar negara di ASEAN dalam menghadapi tantangan lingkungan global.

## METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang bersumber dari berbagai lembaga internasional, yaitu *World Bank* dan *The Global Economy*. Data yang dikumpulkan meliputi Produk Domestik Bruto (PDB), tingkat konsumsi energi terbarukan, tingkat konsumsi energi listrik, tingkat konsumsi energi fosil, tingkat angkatan kerja, dan tingkat emisi karbon. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Data Envelopment Analysis (DEA). DEA adalah metode non-parametrik yang membandingkan kinerja suatu unit, misalnya negara, dengan unit lain yang sejenis berdasarkan input dan output yang digunakan. Metode ini dapat mengidentifikasi unit-unit yang efisien dan tidak efisien, serta mengukur tingkat efisiensi suatu unit (Tsaples and Papathanasiou, 2021). Dalam penelitian ini, DEA akan digunakan untuk menganalisis tingkat kinerja eko-efisiensi di lima negara ASEAN. Tingkat kinerja eko-efisiensi diukur dengan membandingkan output ekonomi (PDB) dan tingkat emisi karbon dengan input berupa tingkat konsumsi energi terbarukan, tingkat konsumsi energi listrik, tingkat konsumsi energi fosil, dan tingkat angkatan kerja. Negara-negara yang memiliki rasio output-input yang lebih tinggi akan dianggap lebih efisien dalam menggunakan sumber dayanya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil analisis tingkat kinerja eko-efisiensi di 5 negara ASEAN (Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam, dan Filipina)

**Table 1.** Hasil Analisis Nilai total PDB

DMU	Score	Proportionate	Slack	Projection	Actual
Filipina	1.0	0.0	0.0	361751145451.6	361751145451.6
Indonesia	1.0	0.0	0.0	1059054842698.5	1059054842698.5
Malaysia	1.0	0.0	0.0	337456163961.2	337456163961.2
Thailand	-0.8	132186596737.0	0.0	632643861692.8	500457264955.8
Vietnam	1.0	0.0	0.0	346615738537.8	346615738537.8

Sumber: World Bank dan The Global Economy, 2010-2020 (diolah)

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa dengan orientasi output, untuk mencapai tingkat efisiensi seharusnya nilai total GDP di Thailand sebesar 632643861692.8 dan apabila dibandingkan dengan nilai aktualnya terjadi kekurangan GDP sebesar 132186596737.0 yang ditunjukkan dari nilai proportionate dan slack. Sedangkan di negara Filipina, Indonesia, Malaysia, dan Vietnam tidak terjadi kelebihan maupun kekurangan GDP.

**Table 2.** Hasil Analisis Nilai Total Tingkat Emisi Karbon

DMU	Proportionate	Slack	Projection	Actual
Filipina	0	0	1.19	1.19
Indonesia	0	0	2.07	2.07
Malaysia	0	0	7.38	7.38
Thailand	0.98	0	4.70	3.71
Vietnam	0	0	3.68	3.68

Sumber: World Bank dan The Global Economy, 2010-2020 (diolah)

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa dengan orientasi output, untuk mencapai tingkat efisiensi seharusnya nilai total tingkat emisi karbon di Thailand sebesar 4.70 dan apabila dibandingkan dengan nilai aktualnya terjadi kelebihan Tingkat Emisi Karbon sebesar 0.98 yang ditunjukkan dari nilai proportionate dan slack. Sedangkan

di negara Filipina, Indonesia, Malaysia, dan Vietnam tidak terjadi kelebihan maupun kekurangan Tingkat Emisi Karbon.

**Table 3.** Hasil Analisis Nilai Total Tingkat konsumsi Energi Listrik

DMU	Proportionate	Slack	Projection	Actual
Filipina	0	0	92.73	92.73
Indonesia	0	0	266.03	266.03
Malaysia	0	0	142.32	142.32
Thailand	0	0	193.2	193.20
Vietnam	0	0	216.88	216.88

Sumber: World Bank dan The Global Economy, 2010-2020 (diolah)

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa dengan orientasi output. Di negara Filipina, Indonesia, Malaysia, Thailand dan Vietnam tidak terjadi kelebihan maupun kekurangan tingkat ekonsumsi energi listrik.

**Table 4.** Hasil Analisis Nilai Total Tingkat Konsumsi Energi Terbarukan

DMU	Proportionate	Slack	Projection	Actual
Filipina	0	0	29.06	29.06
Indonesia	0	0	22.01	22.01
Malaysia	0	0	5.84	5.84
Thailand	0	-6.46	14.37	20.83
Vietnam	0	0	19.11	19.11

Sumber: World Bank dan The Global Economy, 2010-2020 (diolah)

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa dengan orientasi output, untuk mencapai tingkat efisiensi seharusnya nilai total tingkat konsumsi energi terbarukan di Thailand sebesar 14.37 dan apabila dibandingkan dengan nilai aktualnya terjadi kekurangan Tingkat Emisi Karbon sebesar 6.46 yang ditunjukkan dari nilai proportionate dan slack. Sedangkan di negara Filipina, Indonesia, Malaysia, dan Vietnam tidak terjadi kelebihan maupun kekurangan Tingkat Konsumsi Energi Terbarukan.

**Table 5.** Hasil Analisis Nilai Total Tingkat Angkatan Kerja

DMU	Proportionate	Slack	Projection	Actual
Filipina	0	0	54.75	54.75
Indonesia	0	0	67.40	67.40
Malaysia	0	0	65.28	65.28
Thailand	0	-1.12	65.90	67.02
Vietnam	0	0	73.28	73.28

Sumber: World Bank dan The Global Economy, 2010-2020 (diolah)

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa dengan orientasi output, untuk mencapai tingkat efisiensi seharusnya nilai total Tingkat Angkatan Kerja di Thailand sebesar 65.90 dan apabila dibandingkan dengan nilai aktualnya terjadi kekurangan Tingkat Angkatan Kerja sebesar 1.12 yang ditunjukkan dari nilai proportionate dan slack. Sedangkan di negara Filipina, Indonesia, Malaysia, dan Vietnam tidak terjadi kelebihan maupun kekurangan tingkat angkatan kerja.

**Table 6.** Hasil Analisis Nilai Tingkat konsumsi Bahan Bakar Fosil

DMU	Proportionate	Slack	Projection	Actual
Filipina	0	0	61.412139	61.41
Indonesia	0	0	65.265687	65.27
Malaysia	0	0	96.751881	96.75
Thailand	0	0	80.666997	80.67
Vietnam	0	0	69.821837	69.82

Sumber: World Bank dan The Global Economy, 2010-2020 (diolah)

Hasil analisis di atas menunjukkan bahwa dengan orientasi output. Di negara Filipina, Indonesia, Malaysia, Thailand dan Vietnam tidak terjadi kelebihan maupun kekurangan Tingkat konsumsi Bahan Bakar Fosil.

## **B. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kinerja eko-efisiensi di 5 negara ASEAN**

Tingkat kinerja eko-efisiensi di lima negara ASEAN dipengaruhi oleh berbagai faktor yang mencakup tingkat konsumsi energi listrik, konsumsi energi terbarukan, angkatan kerja, konsumsi bahan bakar fosil, GDP, dan emisi karbon. Tingkat konsumsi energi listrik memainkan peran penting dalam kinerja eko-efisiensi suatu negara; negara yang bergantung pada energi fosil cenderung memiliki emisi karbon tinggi, yang menghambat kinerja eko-efisien, serta mencerminkan ketidak-efisienan dalam produksi dan distribusi energi. Di sisi lain, konsumsi energi terbarukan menjadi faktor kunci dalam meningkatkan kinerja eko-efisiensi. Negara yang berhasil beralih ke energi terbarukan, seperti matahari, angin, dan biomassa, cenderung memiliki jejak karbon lebih rendah dan lebih berkelanjutan dalam jangka panjang. Tingkat angkatan kerja juga mempengaruhi kinerja eko-efisiensi; tenaga kerja terdidik dan terlatih membantu menerapkan praktik eko-efisien dalam industri dan sektor lainnya, serta meningkatkan partisipasi masyarakat dalam upaya mengurangi konsumsi energi dan limbah. Selain itu, tingkat konsumsi bahan bakar fosil berdampak signifikan terhadap kinerja eko-efisiensi. Negara dengan ketergantungan tinggi pada bahan bakar fosil menghadapi tantangan besar dalam mengurangi emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi, yang dapat dicapai melalui pengembangan transportasi berkelanjutan dan kebijakan energi bersih. GDP sebagai indikator pertumbuhan ekonomi juga memengaruhi kinerja eko-efisiensi. Negara dengan GDP tinggi mungkin memiliki lebih banyak sumber daya untuk investasi dalam teknologi hijau dan infrastruktur ramah lingkungan, namun juga mungkin mengalami konsumsi energi besar dan emisi karbon tinggi. Tingkat emisi karbon adalah parameter penting yang menunjukkan dampak lingkungan dari aktivitas ekonomi suatu negara. Negara dengan emisi karbon tinggi menghadapi tekanan untuk meningkatkan kinerja eko-efisiensi guna meminimalkan dampak lingkungan negatif dan memenuhi kewajiban internasional dalam mengurangi emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, untuk mencapai kinerja eko-efisiensi yang tinggi, negara-negara ASEAN perlu menemukan keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, pengurangan konsumsi energi, dan penurunan emisi karbon melalui kebijakan yang mendukung investasi dalam teknologi hijau, efisiensi energi, dan perlindungan lingkungan secara keseluruhan.

## **SIMPULAN**

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa dalam konteks meningkatkan kinerja eko-efisiensi di lima negara ASEAN, perlu ditekankan bahwa negara Thailand memiliki tantangan khusus terkait dengan tingkat emisi karbon yang melebihi proyeksi. Oleh karena itu, fokus utama bagi Thailand adalah mengurangi ketergantungan pada bahan

bakar fosil dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Langkah-langkah strategis seperti mengadopsi kebijakan energi yang mendukung penggunaan energi bersih, mendorong investasi dalam teknologi hijau, dan memperkuat infrastruktur untuk energi terbarukan dapat menjadi solusi yang efektif. Selain itu, upaya untuk meningkatkan kesadaran lingkungan dan melatih angkatan kerja dalam praktik-praktik eko-efisien juga akan menjadi langkah penting dalam mengatasi tantangan ini. Dengan langkah-langkah ini, Thailand dapat bergerak menuju ke arah pengurangan emisi karbon dan mencapai kinerja eko-efisiensi yang lebih baik serta berkontribusi pada pembangunan yang berkelanjutan di wilayah ASEAN.

## DAFTAR PUSTAKA

- Jiang, P.P., Wang, Y., Luo, J., Zhu, L., Shi, R., Hu, S. and Zhu, X. (2023), "Measuring static and dynamic industrial eco-efficiency in China based on the MinDS-Malmquist-Luenberger model", *Environment, Development and Sustainability*, Springer Netherlands, Vol. 25 No. 6, pp. 5241–5261, doi: 10.1007/s10668-022-02263-0.
- Jamil, I. R., Putri, A. S., & Suryaatmaja, N. A. A. (2023). Evaluating Green Efficiency of Manufacture Sector and Its Determinants in East Java Province. *East Java Economic Journal*, 7(1), 90-108.
- Ma, L., Ma, S., Tang, Q., Sun, M., Yan, H., Yuan, X., Tian, W., et al. (2024), *Environmental Regulation Effect on the Different Technology Innovation-Based the Empirical Analysis*, *PLoS ONE*, Vol. 19, doi: 10.1371/journal.pone.0296008.
- Maros, H. and Juniar, S. (2016), "Penerapan Prinsip Eko-Efisiensi dengan Memanfaatkan Limbah Ampas Tebu Sebagai Bahan Bakar Ketel Uap", pp. 1–23.
- Nursinta Dewi, D.R., Saptadi, S. and Prastawa, H. (2022), "Eco-efficiency Modeling in the Production of Alcohol Based on Data Envelopment Analysis", *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol. 20 No. 2, pp. 325–334, doi: 10.14710/jil.20.2.325-334.
- Ren, W., Zhang, Z., Wang, Y., Xue, B. and Chen, X. (2020), "Measuring regional eco-efficiency in China (2003–2016): A 'full world' perspective and network data envelopment analysis", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 17 No. 10, doi: 10.3390/ijerph17103456.
- Sari, D. P., Hartini, S., Rinawati, D. I., & Wicaksono, T. S. (2012). Pengukuran Tingkat Eko-efisiensi Menggunakan Life Cycle Assessment untuk Menciptakan Sustainable Production di Usaha Kecil Menengah Batik. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Industri*, 14(2), 137-144.
- Tsaples, G. and Papathanasiou, J. (2021), "Data envelopment analysis and the concept of sustainability: A review and analysis of the literature", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Elsevier Ltd, Vol. 138 No. November 2020, p. 110664, doi: 10.1016/j.rser.2020.110664.
- Xia, B., Dong, S., Li, Z., Zhao, M., Sun, D., Zhang, W. and Li, Y. (2022), "Eco-Efficiency and Its Drivers in Tourism Sectors with Respect to Carbon Emissions from the Supply Chain: An Integrated EEIO and DEA Approach", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 19 No. 11, doi: 10.3390/ijerph19116951.
- Xing, Z., Wang, J. and Zhang, J. (2018), "Expansion of environmental impact assessment for eco-efficiency evaluation of China's economic sectors: An economic input-output based frontier approach", *Science of the Total Environment*, Elsevier B.V., Vol. 635, pp. 284–293, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.076.