

Pemetaan Bibliometrik Studi Efisiensi Energi Dan Emisi Karbon Pada Sektor Manufaktur

Evi Jesika Sinaga^{*1}, Isti Surjandari¹

¹Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kukusan, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat, 16425

^{*}Corresponding Author : sinaga.evijesika@gmail.com

Abstrak

Sektor manufaktur merupakan salah satu penggerak perekonomian namun memiliki kontribusi besar terhadap konsumsi energi dan emisi karbon. Tantangan perubahan iklim mendorong sektor manufaktur untuk berupaya melakukan efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon guna untuk menuju netral emisi dan ekonomi rendah karbon. Penelitian ini menyajikan pemetaan bibliometrik menggunakan VOSviewer terhadap publikasi terkait dengan efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur dari tahun 2015-2025. Dari analisis, penelitian menunjukkan bahwa: (a) jumlah artikel terkait dengan topik meningkat dari tahun 2016; (b) China, Amerika Serikat, dan Inggris berkontribusi signifikan dalam topik ini; (c) Efisiensi energi dan pemanfaatan energi merupakan kata kunci yang paling mendominasi (29,7%); (d) sementara itu, *Life Cycle Assessment* (21,2%) merupakan kata kunci yang telah digunakan dalam bidang penelitian efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur dalam beberapa tahun terakhir dimana terjadi peningkatan tren yang mengindikasikan pergeseran perhatian menuju pendekatan penilaian lingkungan yang lebih komprehensif dalam upaya pengurangan emisi karbon pada sektor manufaktur.

Kata kunci: Efisiensi Energi, Emisi Karbon, Sektor Manufaktur, Analisis Bibliometrik, VOSviewer

Abstract

The manufacturing sector is one of the economy's drivers, but it significantly contributes to energy consumption and carbon emissions. The challenge of climate change encourages the manufacturing sector to strive for energy efficiency and carbon emission reduction to achieve an emission-neutral and low-carbon economy. This research presents a bibliometric mapping using VOSviewer of publications related to energy efficiency and carbon emissions in the manufacturing sector from 2015 to 2025. From the analysis, the research shows that: (a) the number of articles related to the topic has grown from 2016; (b) China, the United States, and the United Kingdom contributed significantly to this topic; (c) energy efficiency and energy utilization are the most dominating keywords (29,7%); (d) while, life cycle assessment (21,2%) is a popular keyword that has been used in the research field of energy efficiency and carbon emissions in the manufacturing sector in recent years where there is an increasing trend indicating a shift in attention towards a more comprehensive environmental assessment approach in efforts to reduce carbon emissions in the manufacturing sector.

Keywords : Energy Efficiency, Carbon Emissions, Manufacturing Sector, Bibliometric Analysis, VOSviewer

PENDAHULUAN

Sektor manufaktur merupakan salah satu penggerak utama pertumbuhan ekonomi di berbagai negara. Namun, di balik kontribusinya terhadap produk domestik bruto (PDB), sektor ini menjadi penyumbang signifikan terhadap konsumsi energi dan emisi karbon. Ketergantungan pada penggunaan energi fosil dalam produksi menjadikan sektor manufaktur memiliki urgensi dalam upaya pengurangan emisi karbon serta transisi menuju ekonomi rendah karbon (Worrell et al., 2009).

Dalam menghadapi tantangan perubahan iklim serta komitmen global seperti dalam Perjanjian Paris, efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon menjadi upaya strategis yang perlu dioptimalkan. Efisiensi energi tidak hanya berperan dalam mengurangi biaya operasional, tetapi juga berdampak langsung terhadap pengurangan emisi karbon (J. Li et al., 2020).

Seiring dengan komitmen akan netral emisi serta meningkatnya kesadaran akan pentingnya keberlanjutan, berbagai negara telah mengadopsi kebijakan dan regulasi yang mendorong industri agar lebih ramah lingkungan (Seo, 2017). Upaya efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon kini menjadi bagian penting dari strategi industri nasional maupun internasional (Li et al., 2022). Di sisi lain, sektor manufaktur menghadapi tekanan dalam mempertahankan daya saing untuk meningkatkan ekonomi sembari menyesuaikan proses produksi agar selaras dengan prinsip-prinsip keberlanjutan. Hal ini menciptakan kebutuhan yang signifikan untuk studi-studi inovatif yang dapat menghubungkan upaya efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon untuk mendukung keberlanjutan lingkungan (Cheng et al., 2019).

Berbagai studi telah dilakukan untuk mengeksplorasi keterkaitan antara konsumsi energi, emisi karbon pada sektor manufaktur (Iqbal et al., 2019; Wang et al., 2019). Namun, seiring bertambahnya jumlah publikasi mengenai topik ini, muncul tantangan dalam memahami arah perkembangan penelitian, tren utama, dan kontribusi ilmiah dari negara atau institusi tertentu. Selain itu, belum banyak kajian yang secara komprehensif memetakan studi ini dari perspektif bibliometrik, sehingga pendekatan tersebut penting untuk mengidentifikasi kesenjangan riset dan peluang studi di masa depan.

Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk melakukan pemetaan bibliometrik terhadap studi efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur. Dengan memanfaatkan data publikasi, penelitian ini akan mengeksplorasi tren publikasi, pola kolaborasi antarpengarang, institusi dan negara, serta visualisasi topik studi yang paling relevan dalam sepuluh tahun terakhir. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam merumuskan arah studi di masa depan serta mendorong kerja sama strategis dalam upaya efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan bibliometrik dalam menganalisis tren dan perkembangan studi terkait efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur. Pendekatan bibliometrik dipilih karena mampu memberikan gambaran kuantitatif mengenai tren publikasi ilmiah, termasuk pola kolaborasi, kata kunci yang sering digunakan, serta pengaruh referensi dalam literatur terkait (Fan et al., 2023).

Pemetaan bibliometrik dilakukan untuk menjawab beberapa pertanyaan seperti: (1) Bagaimana tren publikasi mengenai efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur dari waktu ke waktu? (2) Negara/wilayah mana yang paling berkontribusi dalam bidang ini? (3) Apa saja topik yang sedang berkembang atau menjadi tren saat ini dalam kajian tersebut? (4) Bagaimana hubungan antara efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur terhadap topik terbaru yang ditemukan?

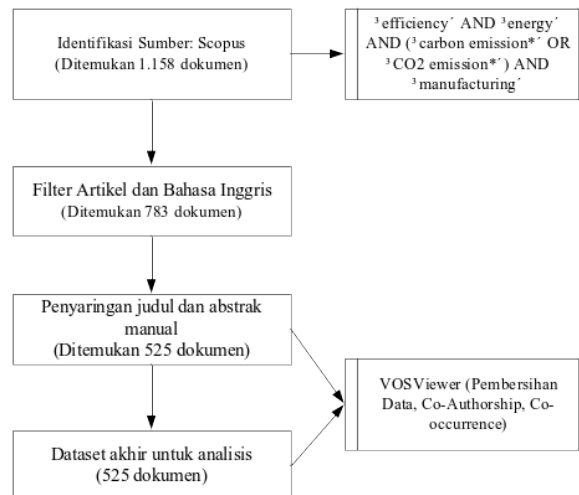
Data diperoleh dari basis data Scopus dengan menggunakan kata kunci pencarian yaitu “efficiency” AND “energy” AND (“carbon emission*” OR “CO2 emission*”) AND “manufacturing”. Pencarian publikasi yang dianggap relevan terhadap topik kajian dilakukan dari rentang tahun 2015-2025.

Dari hasil pencarian pada database Scopus, diperoleh 1.158 dokumen yang terkait dengan kata kunci pencarian. Kemudian, jenis literatur dibatasi pada “artikel berbahasa Inggris” dan diperoleh 783. Judul dan abstrak dari literatur yang diperoleh diidentifikasi dan disaring sesuai dengan ketentuan berikut: (1) terkait dengan sektor manufaktur; (2) konten studi melibatkan energi dan emisi karbon dari sektor manufaktur; dan (3) teks lengkap

tersedia. Penyaringan dilakukan secara manual berdasarkan ketentuan di atas untuk mengecualikan subjek dan konten studi yang tidak relevan sehingga diperoleh 525 dokumen yang akan digunakan sebagai dataset dalam penelitian ini. Gambar 1 menunjukkan alur dalam proses pengumpulan dataset literatur.

Pemetaan bibliometrik pada penelitian ini akan menggunakan alat analisis VOSviewer

untuk memvisualisasikan informasi literatur. Pemetaan bibliometrik yang dilakukan bertujuan untuk memvisualisasikan dan menganalisis hubungan kuantitatif dan struktur distribusi literatur melalui statistik dengan berdasarkan karakteristik dari atribut literatur (Van Eck & Waltman, 2010).



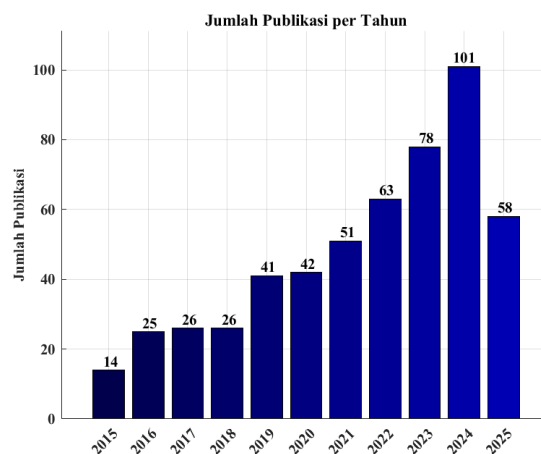
Gambar 1. Alur pengumpulan Dataset Literatur

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Kuantitatif Berdasarkan Jumlah Publikasi

Tren peningkatan jumlah publikasi merupakan salah satu indikator penting dari perkembangan suatu topik riset. Gambar 2 menunjukkan bahwa

studi terkait efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur meningkat dari tahun 2016-2024, bahkan pada pertengahan tahun 2025, jumlah publikasi sudah mencapai 58 dokumen. Tren pertumbuhan ini didorong oleh komitmen global dalam upaya netral emisi sesuai dengan Perjanjian Paris (United Nations Climate Change, 2025).

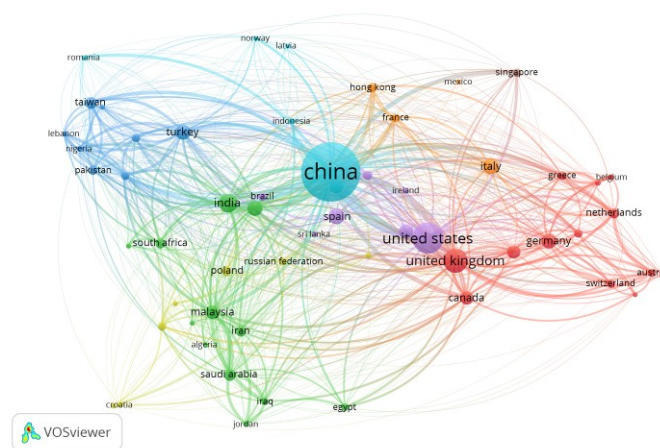


Gambar 2. Distribusi Jumlah Makalah yang Diterbitkan dari Tahun 2015-2025

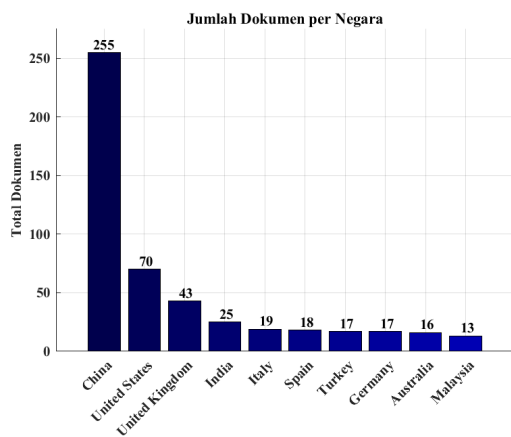
2. Analisis Kuantitatif Berdasarkan Negara/Wilayah

Analisis kuantitatif menunjukkan bahwa 45 negara telah berpartisipasi dalam penelitian mengenai efisiensi energi dan emisi karbon selama periode peninjauan. China, Amerika Serikat dan Inggris merupakan tiga negara teratas dalam hal publikasi. China menerbitkan sebanyak 255 dokumen, Amerika Serikat sebanyak 70 dokumen dan Inggris sebanyak 43 dokumen. Kontribusi dari ketiga negara tersebut mencapai 70% dari seluruh publikasi dalam dataset. Hal tersebut mengindikasikan

bahwa ketiga negara tersebut memiliki kontribusi yang signifikan dalam studi yang terkait dengan efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur. Gambar 3 menunjukkan distribusi negara yang berfokus pada studi efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur. Gambar 4 menunjukkan 10 negara dengan kontribusi terbesar dalam publikasi mengenai efisiensi energi dan emisi karbon, sedangkan Indonesia masih menerbitkan 3 dokumen sepanjang tahun periode analisis.



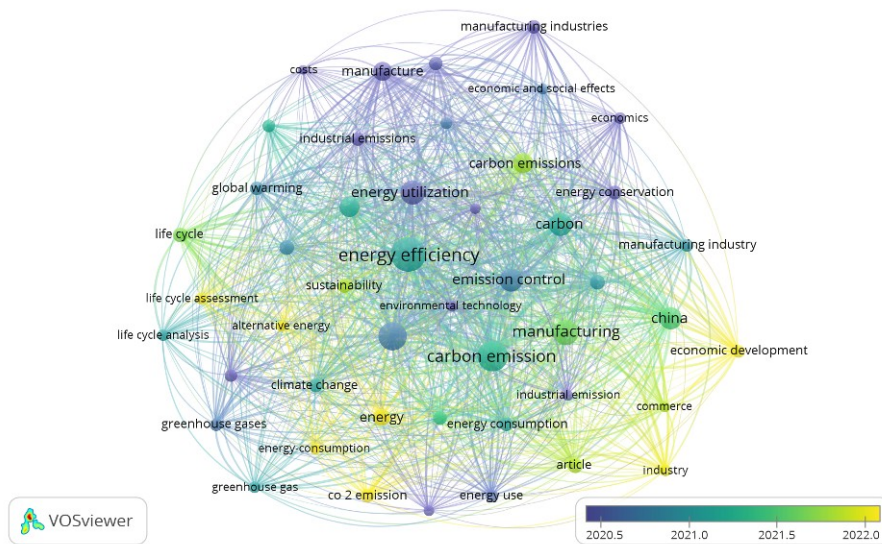
Gambar 3. Co-authorship Berdasarkan Negara (2015-2025)



Gambar 4. 10 Negara Penelitian Terbanyak

3. Analisis Kuantitatif Berdasarkan Kata Kunci Bersama

Kata kunci pada umumnya mencakup objek dan bidang penelitian yang dapat mengungkapkan tren penelitian pada bidang tersebut. Analisis kaya kunci bersama merupakan metode yang umum digunakan dalam pemetaan bibliometrik (Zou et al., 2018). Gambar 5 menunjukkan distribusi kata kunci, dimana setiap node mewakili kata kunci dan warna mewakili cluster yang berbeda.



Gambar 5. Distribusi Kata Kunci Bersama (2015-2025)

Tabel 1. Kata Kunci Terbanyak

No	Kata Kunci	Frekuensi	Keterkaitan	Persentase
1	energy efficiency	280	1636	9,1
2	carbon emission	217	1555	7,1
3	carbon dioxide	200	1366	6,5
4	manufacturing	152	1131	4,9
5	energy utilization	136	974	4,4
6	carbon	134	985	4,4
7	emission control	133	964	4,3
8	china	118	868	3,8
9	sustainable development	95	651	3,1
10	carbon emissions	93	585	3,0

Tabel 2. Kata Kunci Terbaru

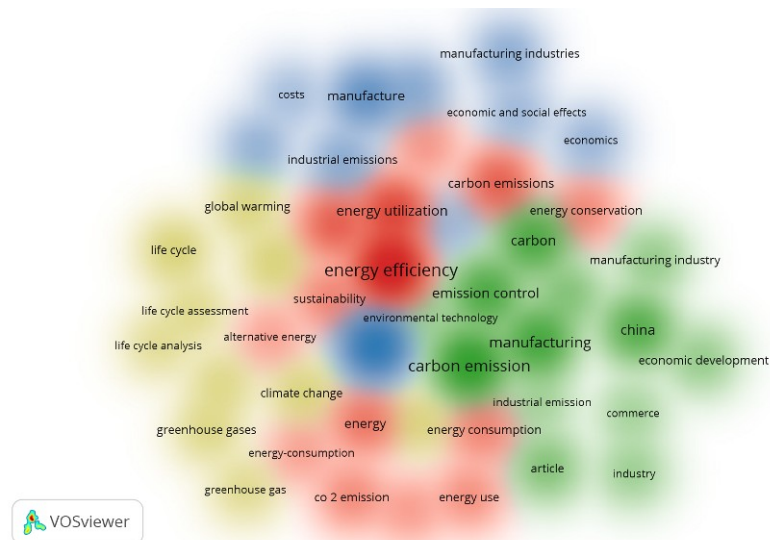
No	Kata Kunci	Frekuensi
1	economic development	38

2	life cycle assessment	36
3	environmental management	27
4	industrial emission	27

Terdapat 47 kata kunci dengan total kemunculan sebanyak 3.075 dimana pada Gambar 5 dan Tabel 1 diperoleh bahwa lima kata kunci dengan frekuensi tertinggi adalah “*energi efisien*” dengan kemunculan sebanyak 280, “*carbon emission*” sebanyak 217, “*manufacturing*” sebanyak 152, “*energy utilization*” dengan kemunculan sebanyak 136 serta “*emission control*” sebanyak 133.

Selain itu, pada Tabel 2 terdapat beberapa kata kunci bersama dengan frekuensi

tertinggi dari keterbaruan (tahun 2022) yaitu “*economic development*”, “*sustainability*” dan “*life cycle assessment*”, “*environmental management*”, “*industrial emission*”, dan “*alternative energy*”. Kemunculan kata-kata kunci ini pada tahun terbaru mencerminkan pergeseran tren penelitian ke arah yang lebih berkelanjutan dan strategis, seiring meningkatnya urgensi global terhadap pembangunan ekonomi yang selaras dengan prinsip keberlanjutan dan pendekatan berbasis siklus hidup.



Gambar 6. Kepadatan Kata Kunci Bersama (2015-2025)

Gambar 6 menunjukkan kepadatan (density) kemunculan dan keterkaitan antar kata kunci dalam literatur yang berkaitan dengan efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur. Warna biru, merah, dan hijau mengindikasikan area dengan kepadatan sedang sampai tinggi dengan kata kunci yang sering muncul yaitu “*energy efficiency*”, “*carbon emission*” dan “*energy*”. Hal ini

menunjukkan bahwa ketika topik tersebut merupakan topik yang paling dominan dibahas dalam literatur. Sedangkan warna kuning menunjukkan kepadatan rendah yang mencakup kata kunci yang muncul lebih jarang dan spesifik seperti *“life cycle assessment”* yang mengindikasikan ruang pengembangan topik lebih lanjut pada bidang ini.

Tabel 3. Cluster Kata Kunci

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4
Alternative Energy	Article	Carbon Dioxide	Carbon Footprint
Carbon Emission	Carbon	Costs	Climate Change
Co2 Emission	Carbon Emission	Economic Analysis	Gas Emissions
co ₂ emissions	China	Economic and Social Effects	Global Warming
Energy	Commerce	Economics	Greenhouse Gas
Energy Conservation	Economic Development	Environmental management	Greenhouses Gases

Energy Consumption	Emission Control	Industrial emission	Life Cycle
Energy Efficiency	Environmental Economic	Investments	Life Cycle Analysis
Energy Use	Environmental Technology	Manufacture	Life Cycle Assessment
Energy Utilization	Industrial Emission	Manufacturing industries	Environmental Impact
Energy-Consumption	Industry		
Optimization	Manufacturing		
Sustainability	Manufacturing Industry		
Sustainable Development			

Tabel 3 menunjukkan cluster dari setiap kata kunci tersebut. Pada cluster 1 terdiri dari 14 kunci menunjukkan fokus penelitian pada strategi penghematan energi dan penggunaan sumber energi alternatif untuk mendukung pembangunan berkelanjutan di sektor manufaktur. Kata "energy efficiency" sendiri memiliki occurrence tertinggi (280), mencerminkan signifikansi topik ini dalam literatur. Pada Cluster 2 terdiri dari 13 kata kunci dengan fokus penelitian dalam cluster ini berkaitan dengan hubungan antara regulasi lingkungan, perkembangan ekonomi, dan penerapan teknologi untuk pengurangan emisi karbon. Ini menunjukkan bahwa aspek kebijakan dan insentif ekonomi menjadi bagian penting dalam strategi dekarbonisasi sektor industri. Pada Cluster 3 terdiri dari 10 kata kunci dimana cluster ini menekankan pentingnya pendekatan manajerial dan analisis ekonomi terhadap pengendalian emisi karbon. Penelitian dalam tema ini cenderung menggunakan metode kuantitatif untuk menilai dampak ekonomi dari aktivitas pengurangan emisi di sektor manufaktur. Pada Cluster 4 terdiri dari 10 kata kunci Cluster ini menekankan pendekatan LCA (*Life Cycle Assessment*) untuk mengukur jejak karbon secara komprehensif dari proses manufaktur, serta kontribusinya terhadap perubahan iklim global. Kata kunci dalam cluster ini menunjukkan tren meningkat dalam literatur 5 tahun terakhir.

Dengan total 47 kata kunci, cluster efisiensi energi mencakup 14 item (29,7%) dimana persentase tertinggi dalam keseluruhan jaringan kata kunci. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian di bidang ini merupakan pilar utama dalam studi karbon dan energi di sektor

manufaktur. Sebaliknya, tema terkait *life cycle analysis* hanya mencakup 21,2% dari total, namun menunjukkan tren peningkatan dalam 5 tahun terakhir.

4. Hubungan antara Efisiensi Energi dan Emisi Karbon pada Sektor Manufaktur terhadap topik terbaru yang ditemukan

Efisiensi energi dan emisi karbon merupakan dua hal penting dalam menilai keberlanjutan pada sektor manufaktur. Efisiensi energi mencerminkan seberapa optimal energi digunakan dalam proses produksi untuk menghasilkan produk, sementara emisi karbon menunjukkan dampak lingkungan dari penggunaan energi terutama energi berbasis fosil (Pérez et al., 2017).

Dalam konteks ini, *Life Cycle Assessment* (LCA) menjadi alat analisis yang relevan dan komprehensif karena mampu mengkaji dampak lingkungan dari seluruh siklus hidup produk dimana salah satu indikator lingkungan yang paling sering dianalisis adalah total emisi gas rumah kaca. Melalui pendekatan LCA, tahap paling boros energi dan penyumbang emisi terbesar pada sektor manufaktur dapat diidentifikasi (Sun et al., 2024). LCA memungkinkan untuk mengidentifikasi fase dalam siklus hidup manufaktur yang paling banyak mengonsumsi energi dan menghasilkan emisi karbon. Dengan demikian, analisis ini memberikan gambaran holistic mengenai bagaimana peningkatan efisiensi energi dapat berdampak secara keseluruhan terhadap pengurangan emisi karbon pada sektor manufaktur.

KESIMPULAN DAN SARAN

Efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon pada sektor manufaktur merupakan upaya yang strategis dalam mewujudkan komitmen netral emisi. Berdasarkan hasil pemetaan bibliometrik terhadap publikasi efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur menunjukkan tren peningkatan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. China, Amerika Serikat, dan Inggris merupakan negara yang paling berkontribusi pada studi ini. Fokus utama penelitian banyak tertuju pada “carbon emission” dan “energy utilization” namun keterbaruan menunjukkan bahwa arah penelitian yang berkaitan dengan efisiensi energi dan emisi karbon pada sektor manufaktur mengarah kepada analisis siklus hidup produk (*Life Cycle Assessment*). Pemetaan bibliometrik menunjukkan pencapaian penelitian tertinggi pada tema efisiensi energi (29,7%), disusul tema regulasi dan ekonomi (27,6%). Meskipun tema LCA dan dampak iklim masih terbatas (21,2%), tren terbaru menunjukkan peningkatan perhatian terhadap pendekatan holistik dalam penilaian emisi karbon sektor manufaktur.

Sebagai saran untuk penelitian di masa depan, dibutuhkan kajian lebih lanjut mengenai pendekatan LCA dalam meningkatkan efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Hal tersebut dilakukan untuk mengidentifikasi titik-titik kritis penghematan energi dan pengurangan emisi karbon sepanjang siklus hidup produk.

Selain itu, penting untuk mengarahkan topik studi ini pada negara-negara berkembang agar solusi efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon dapat disesuaikan dengan kondisi lokal pada negara tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui Seed Funding Professor FTUI Research Grant No: NKB-3452/UN2.F4.D/PPM.00.00/2024.

DAFTAR PUSTAKA

Cheng, Y., Lv, K., Wang, J., & Xu, H. (2019). Energy efficiency, carbon dioxide emission efficiency, and related abatement costs in regional China: A synthesis of input-output analysis and DEA. *Energy Efficiency*, 12(4), 863–

877. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9695-8>

Fan, J., Meng, X., Tian, J., Xing, C., Wang, C., & Wood, J. (2023). A review of transportation carbon emissions research using bibliometric analyses. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 10(5), 878–899.

<https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.09.002>

Iqbal, W., Altalbe, A., Fatima, A., Ali, A., & Hou, Y. (2019). A DEA Approach for Assessing the Energy, Environmental and Economic Performance of Top 20 Industrial Countries. *Processes*, 7(12), 902.

<https://doi.org/10.3390/pr7120902>

Li, J., Ma, J., & Wei, W. (2020). Analysis and Evaluation of the Regional Characteristics of Carbon Emission Efficiency for China. *Sustainability*, 12(8), 3138.

<https://doi.org/10.3390/su12083138>

Li, S., Wang, W., Diao, H., & Wang, L. (2022). Measuring the Efficiency of Energy and Carbon Emissions: A Review of Definitions, Models, and Input-Output Variables. *Energies*, 15(3), 962.

<https://doi.org/10.3390/en15030962>

Pérez, K., González-Araya, M. C., & Iriarte, A. (2017). Energy and GHG emission efficiency in the Chilean manufacturing industry: Sectoral and regional analysis by DEA and Malmquist indexes. *Energy Economics*, 66, 290–302.

<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2017.05.022>

Seo, S. N. (2017). Beyond the Paris Agreement: Climate change policy negotiations and future directions. *Regional Science Policy & Practice*, 9(2), 121–141.

<https://doi.org/10.1111/rsp3.12090>

Sun, H., Chen, Y., Chen, S., & Zhao, Z. (2024). Promoting the “Chinese experience” of carbon neutrality—Evidence of carbon emission pilot governance in Guangdong Province based on the EIO-LCA model. *Energy Strategy Reviews*, 53, 101393.

<https://doi.org/10.1016/j.esr.2024.101393>

- United Nations Climate Change. (2025). The Paris Agreement. <https://unfccc.int/>
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523–538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Wang, L.-W., Le, K.-D., & Nguyen, T.-D. (2019). Assessment of the Energy Efficiency Improvement of Twenty-Five Countries: A DEA Approach. *Energies*, 12(8), 1535. <https://doi.org/10.3390/en12081535>
- Worrell, E., Bernstein, L., Roy, J., Price, L., & Harnisch, J. (2009). Industrial energy efficiency and climate change mitigation. *Energy Efficiency*, 2(2), 109–123. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9032-8>
- Zou, X., Yue, W. L., & Vu, H. L. (2018). Visualization and analysis of mapping knowledge domain of road safety studies. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 131–145. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.06.010>