



DINAMIKA DAN STRUKTUR PENGETAHUAN DALAM TRANSISI ENERGI BERKELANJUTAN: PENDEKATAN BIBLIOMETRIK

(Dynamics And Structure of Knowledge In Sustainable Energy Transitions : A Global Data- Based Bibliometric Approach)

Nazwa Alya¹, Muhammad Irfan Syahputra², Ridwan Arjuna³

^{1,2,3}) Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan

Corresponding Author: nazwaalya467@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Page : 42 – 51</p> <p>Submission Date: 22 / April / 2026</p> <p>Accepted Date: 20 / Mei / 2026</p> <p>Published Date: 1 / Juni / 2026</p>	<p><i>This study examines the dynamics and knowledge structure of sustainable energy transition research using a bibliometric approach based on global data. A total of approximately 2,000 documents indexed in Scopus from 2021 to 2026 were analyzed using VOSviewer and Bibliometrix. The results reveal a significant increase in publications, indicating rapid development and growing global attention to energy transition issues. The knowledge structure is clustered into four main areas: energy technology systems, advanced energy materials, economic and policy aspects, and environmental sustainability. Renewable energy emerges as the most dominant theme, highlighting its central role in connecting various research domains. Despite this progress, challenges such as knowledge fragmentation and unequal global research contributions remain. This study provides comprehensive insights into research trends, collaboration patterns, and thematic evolution, while identifying future research directions, including the integration of smart technologies, interdisciplinary approaches, and data-driven energy policies to support a more effective and sustainable global energy transition.</i></p>
<p>Keywords sustainable energy, renewable energy, energy transition, bibliometric analysis, energy policy</p>	
<p>EMAIL</p>	<p>ABSTRAK</p>
<p>1:nazwaalya467@email.com 2:irfansyahputra3@email.com 3:ridwanarjuna0701@email.com</p>	<p>Penelitian ini mengkaji dinamika dan struktur pengetahuan dalam transisi energi berkelanjutan menggunakan pendekatan bibliometrik berbasis data global. Sebanyak ±2000 dokumen dari Scopus periode 2021–2026 dianalisis menggunakan VOSviewer dan Bibliometrix. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan jumlah publikasi, yang mencerminkan perkembangan pesat serta meningkatnya perhatian global terhadap isu transisi energi. Struktur pengetahuan terbagi ke dalam empat klaster utama, yaitu sistem teknologi energi, material energi lanjutan, aspek ekonomi dan kebijakan, serta keberlanjutan lingkungan. Energi terbarukan menjadi tema paling dominan yang berperan sebagai penghubung berbagai bidang penelitian. Meskipun demikian, masih terdapat tantangan berupa fragmentasi pengetahuan dan ketimpangan kontribusi global. Penelitian ini memberikan gambaran komprehensif mengenai tren, pola kolaborasi, serta perkembangan tema penelitian, sekaligus mengidentifikasi arah penelitian masa depan, seperti integrasi teknologi cerdas, pendekatan interdisipliner, dan kebijakan energi berbasis data.</p>
<p>Kata kunci: energi berkelanjutan, energi terbarukan, transisi energi, analisis bibliometrik, kebijakan energi</p> <p>Main Figure</p>  	

PENDAHULUAN

Transisi energi global menjadi isu strategis yang didorong oleh meningkatnya permintaan energi, ketergantungan pada bahan bakar fosil, serta dampak perubahan iklim dan emisi karbon. Ketergantungan tersebut tidak hanya memperburuk degradasi lingkungan, tetapi juga menciptakan ketidakstabilan dalam sistem energi global [1], [2], [3]. Oleh karena itu, peralihan menuju *sustainable energy transition* berbasis energi terbarukan menjadi kebutuhan mendesak. Namun, transisi ini merupakan fenomena multidimensional yang melibatkan interaksi kompleks antara teknologi, kebijakan, ekonomi, dan aspek sosial dalam suatu sistem yang terintegrasi [4]. Seiring dengan itu, publikasi ilmiah di bidang ini meningkat pesat, mencakup berbagai topik seperti integrasi energi terbarukan, dekarbonisasi, dan digitalisasi sistem energi. Pertumbuhan literatur yang cepat ini menyebabkan fragmentasi pengetahuan, sehingga diperlukan pendekatan sistematis untuk memahami dinamika dan struktur pengetahuan secara komprehensif [5], [6].

Pendekatan *bibliometric analysis* menawarkan solusi untuk memetakan perkembangan penelitian melalui analisis tren publikasi, struktur konseptual berbasis *co-occurrence*, jaringan kolaborasi (*co-authorship*), serta pengaruh ilmiah melalui analisis sitasi [7]. Meskipun studi bibliometrik telah dilakukan, sebagian besar masih bersifat parsial dan belum mengintegrasikan dinamika penelitian, struktur pengetahuan, dan kolaborasi global secara simultan, terutama dengan memanfaatkan data terkini pasca-2020. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis sekitar 2.000 dokumen Scopus periode 2021–2025 (serta dokumen 2026 yang telah terindeks sebagai *early access* apabila tersedia) menggunakan VOSviewer dan Bibliometrix (RStudio) guna mengidentifikasi tren penelitian, struktur pengetahuan, serta arah riset masa depan. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis, metodologis, dan praktis dalam mendukung pengembangan transisi energi berkelanjutan secara global [8], [9], [10].

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis *bibliometric analysis* untuk menganalisis dinamika dan struktur pengetahuan dalam bidang *sustainable energy transition*. Data diperoleh dari database Scopus dengan rentang waktu 2021–2026 menggunakan kata kunci yang relevan, dengan kriteria artikel jurnal berbahasa Inggris pada bidang energi dan lingkungan. Sebanyak ± 2000 dokumen yang memenuhi kriteria kemudian diseleksi dan dibersihkan untuk memastikan relevansi dan menghindari duplikasi sebelum dianalisis lebih lanjut [11]. Pengumpulan data dilakukan menggunakan *search string* sebagai berikut: TITLE-ABS-KEY (“sustainable energy transition” OR “energy transition” OR “renewable energy transition” OR “clean energy transition”) AND PUBYEAR > 2020 AND PUBYEAR < 2027.

Analisis dilakukan melalui identifikasi tren publikasi, pemetaan struktur konseptual menggunakan *co-occurrence*, analisis kolaborasi ilmiah melalui *co-authorship*, serta evaluasi pengaruh ilmiah melalui analisis sitasi. Proses analisis memanfaatkan VOSviewer untuk visualisasi jaringan bibliometrik dan RStudio (Bibliometrix) untuk analisis statistik dan eksplorasi tren penelitian. Pendekatan ini memungkinkan pemahaman yang sistematis terhadap perkembangan, struktur pengetahuan, serta arah penelitian masa depan dalam transisi energi berkelanjutan [12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tren Publikasi (Documents by Year)

Visualisasi *documents by year* menunjukkan bahwa publikasi terkait *sustainable energy transition* mengalami peningkatan signifikan selama periode 2021–2025, dari sekitar 1.200 dokumen pada tahun 2021 menjadi puncaknya lebih dari 4.400 dokumen pada tahun 2025.

Klaster merah didominasi oleh topik teknis seperti *solar energy*, *optimization*, *energy management*, dan *smart grid*, yang menunjukkan fokus kuat pada pengembangan teknologi dan efisiensi sistem energi. Klaster hijau berfokus pada aspek material dan proses seperti *catalysis*, *electrolysis*, *hydrogen*, dan *biomass*, yang mencerminkan penelitian pada level fundamental dan inovasi teknologi energi baru. Sementara itu, klaster biru menyoroti dimensi ekonomi dan kebijakan, seperti *investments*, *economic growth*, *environmental policy*, dan *sustainability*, yang menegaskan bahwa transisi energi tidak terlepas dari faktor ekonomi dan regulasi[15].

Keberadaan beberapa klaster ini menunjukkan bahwa struktur pengetahuan dalam bidang ini bersifat multidisiplin dan saling terhubung. Node dengan ukuran besar seperti *renewable energy*, *solar energy*, dan *sustainable development* menunjukkan peran sentral sebagai konsep inti yang menghubungkan berbagai subbidang penelitian[16].

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih sistematis mengenai struktur pengetahuan dalam bidang *sustainable energy transition*, dilakukan analisis *co-occurrence* kata kunci yang kemudian divisualisasikan ke dalam beberapa klaster tematik. Hasil pengelompokan tersebut dirangkum dalam Tabel 1.

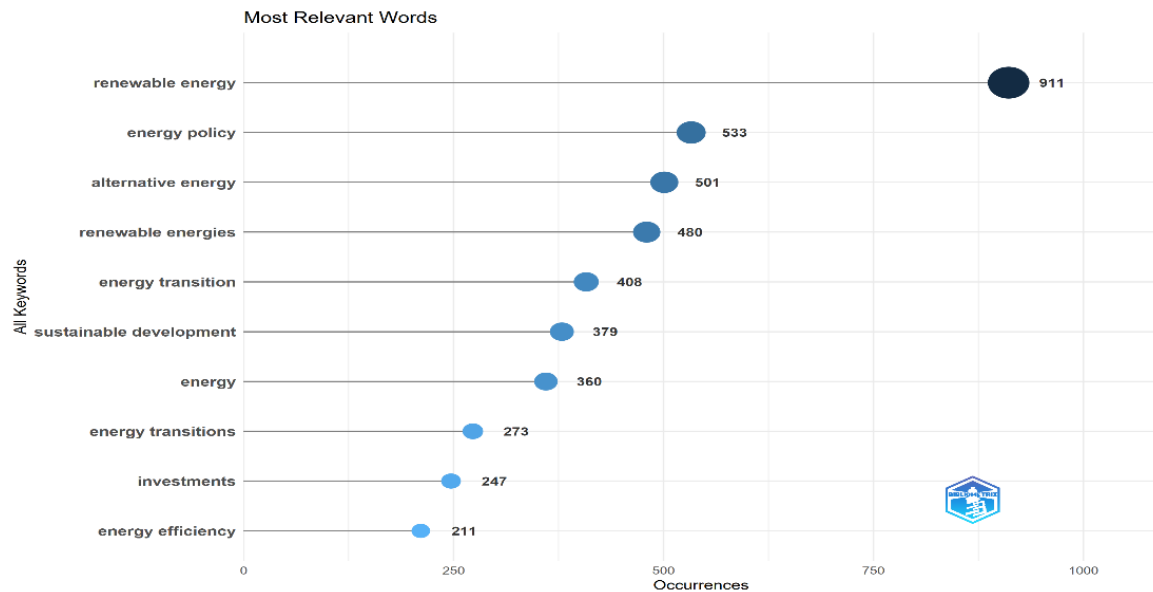
Tabel 1. Struktur Klaster Co-occurrence dalam Penelitian Transisi Energi Berkelanjutan

Klaster	Kata Kunci Utama	Fokus Kajian	Insight Utama
C1 (Merah)	energi terbarukan, energi surya, optimasi, smart grid	Teknologi & Sistem Energi	Dominasi pada pengembangan dan integrasi sistem energi modern
C2 (Hijau)	hidrogen, elektrolisis, katalisis, biomassa	Material & Proses Energi Lanjutan	Arah penelitian menuju inovasi energi bersih berbasis material
C3 (Biru)	investasi, ekonomi, kebijakan, keberlanjutan	Ekonomi & Kebijakan Energi	Transisi energi dipengaruhi oleh faktor ekonomi dan regulasi
C4 (Kuning/Ungu)	karbon, LCA, ekonomi sirkular, emisi	Keberlanjutan Lingkungan	Fokus pada dampak lingkungan dan evaluasi keberlanjutan

Tabel 1. mengilustrasikan struktur pengetahuan dalam penelitian *sustainable energy transition* yang terbagi ke dalam empat klaster utama. Klaster teknologi energi menunjukkan peran dominan dalam pengembangan dan integrasi sistem energi terbarukan, sementara klaster material energi menekankan arah inovasi menuju energi bersih berbasis hidrogen dan biomassa. Di sisi lain, klaster ekonomi dan kebijakan menegaskan bahwa keberhasilan transisi energi sangat dipengaruhi oleh faktor investasi dan regulasi, sedangkan klaster lingkungan menyoroti pentingnya evaluasi dampak dan keberlanjutan. Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan bahwa bidang transisi energi bersifat multidisiplin dan memerlukan pendekatan integratif antar domain[17].

3. Analisis Kata Kunci Dominan (Most Relevant Words)

Analisis frekuensi kata kunci menunjukkan bahwa *renewable energy* merupakan topik paling dominan dengan jumlah kemunculan tertinggi (~911), diikuti oleh *energy policy*, *alternative energy*, dan *energy transition*. Hal ini mengindikasikan bahwa penelitian tidak hanya berfokus pada aspek teknologi, tetapi juga pada kerangka kebijakan dan strategi implementasi.

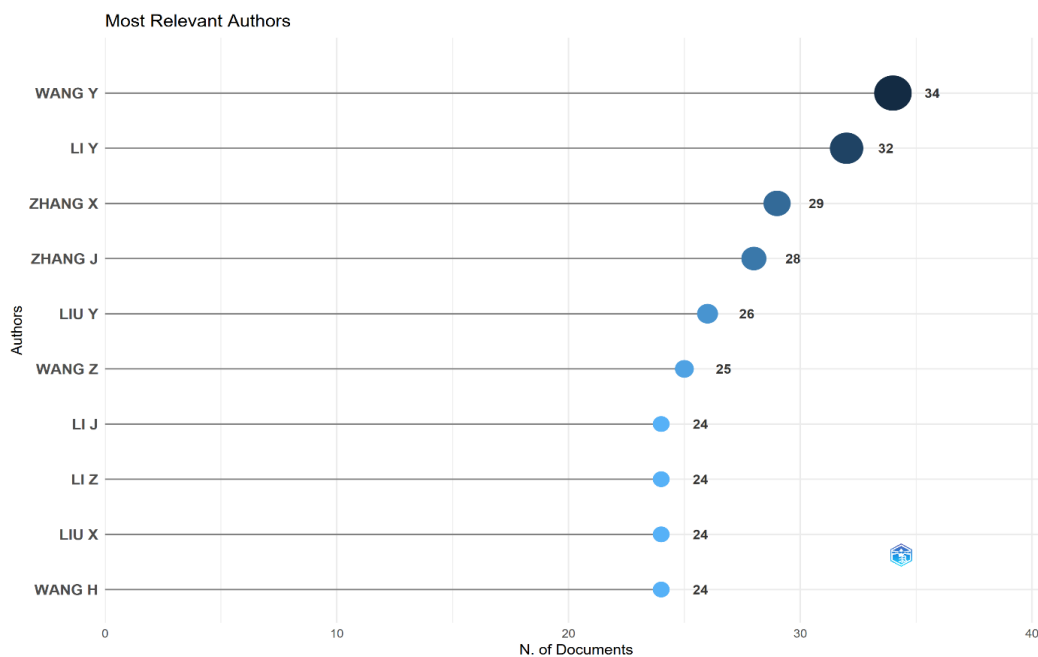


Gambar 3. Kata Kunci Paling Relevan dalam Penelitian Transisi Energi

Kehadiran kata kunci seperti *investments* dan *energy efficiency* menunjukkan meningkatnya perhatian terhadap aspek ekonomi dan optimalisasi sistem energi. Selain itu, munculnya istilah *sustainable development* menegaskan keterkaitan erat antara transisi energi dan agenda pembangunan berkelanjutan. Distribusi kata kunci ini menunjukkan bahwa penelitian berkembang menuju pendekatan yang lebih holistik, mengintegrasikan aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan[18].

4. Analisis Produktivitas Penulis (Most Relevant Authors)

Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa penulis memiliki kontribusi signifikan dalam bidang ini, dengan jumlah publikasi tertinggi mencapai lebih dari 30 dokumen.

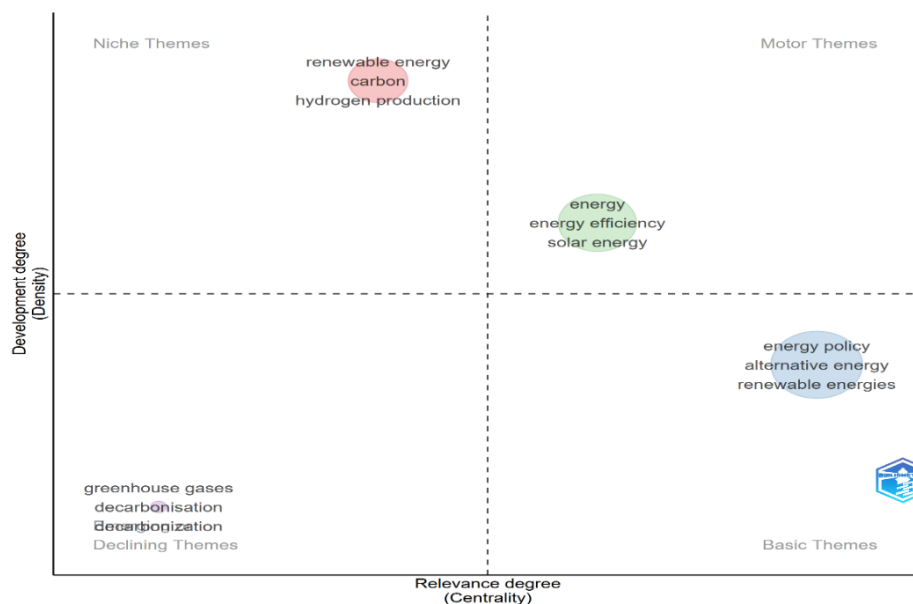


Gambar 4. Penulis Paling Produktif dalam Bidang Transisi Energi

Dominasi penulis tertentu mencerminkan adanya pusat-pusat penelitian (*research hubs*) yang aktif dalam mengembangkan studi transisi energi. Namun, distribusi produktivitas yang relatif tersebar menunjukkan bahwa bidang ini tidak didominasi oleh satu kelompok saja, melainkan melibatkan banyak peneliti dari berbagai negara. Hal ini memperkuat karakter global dan kolaboratif dari penelitian *sustainable energy transition*[19].

5. Analisis Tema Penelitian (Thematic Map)

Peta tematik mengelompokkan topik penelitian ke dalam empat kuadran utama berdasarkan *centrality* dan *density*. Pada kuadran motor themes, terdapat topik seperti *energy*, *energy efficiency*, dan *solar energy*, yang menunjukkan bahwa topik ini memiliki tingkat perkembangan tinggi sekaligus relevansi besar dalam struktur penelitian. Topik ini merupakan penggerak utama dalam bidang transisi energi.

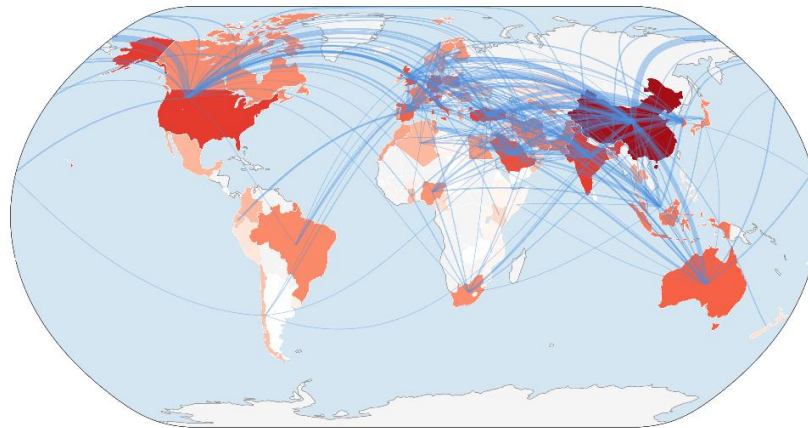


Gambar 5. Peta Tematik Penelitian (Thematic Map)

Kuadran basic themes mencakup *energy policy*, *alternative energy*, dan *renewable energies*, yang berperan sebagai fondasi penelitian namun masih memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut. Sementara itu, niche themes seperti *hydrogen production* dan *carbon* menunjukkan topik yang sangat spesifik dan berkembang secara mendalam, namun belum terintegrasi luas. Di sisi lain, declining themes seperti *decarbonization* dan *greenhouse gases* mengindikasikan adanya pergeseran fokus penelitian ke arah pendekatan yang lebih aplikatif dan teknologi[20].

6. Analisis Kolaborasi Global (World Collaboration Map)

Peta kolaborasi global menunjukkan bahwa penelitian transisi energi bersifat sangat internasional, dengan konektivitas tinggi antar negara. Negara-negara seperti Amerika Serikat, China, dan negara-negara Eropa menunjukkan peran dominan baik dalam jumlah publikasi maupun jaringan kolaborasi.



Gambar 6. Peta Kolaborasi Global Penelitian Transisi Energi

China dan Amerika Serikat terlihat sebagai pusat utama produksi dan kolaborasi ilmiah, sementara negara-negara berkembang mulai menunjukkan peningkatan partisipasi dalam jaringan global. Kepadatan koneksi antar negara mencerminkan pentingnya kolaborasi lintas batas dalam menghadapi tantangan global seperti transisi energi. Namun demikian, masih terdapat ketimpangan kontribusi antara negara maju dan berkembang, yang menunjukkan adanya peluang untuk memperluas kolaborasi global secara lebih inklusif[21].

Sebagai sintesis dari seluruh hasil analisis bibliometrik yang telah dilakukan, diperlukan ringkasan komprehensif yang mengintegrasikan temuan utama, interpretasi, serta implikasi penelitian. Oleh karena itu, Tabel 2 menyajikan rangkuman temuan kunci beserta arah penelitian masa depan dalam bidang transisi energi berkelanjutan.

Tabel 2. Sintesis Temuan Utama dan Implikasi Penelitian Transisi Energi Berkelanjutan

Aspek Analisis	Temuan Utama	Interpretasi	Kesenjangan Penelitian	Arah Penelitian Masa Depan
Tren Publikasi	Peningkatan signifikan (2021–2025)	Bidang berkembang pesat dan dinamis	Kurang analisis longitudinal mendalam	Studi evolusi jangka panjang & prediksi tren
Struktur Pengetahuan	Terbentuk 4 klaster utama	Bersifat multidisiplin dan terintegrasi	Fragmentasi antar bidang masih tinggi	Integrasi lintas disiplin
Analisis Kata Kunci	Dominasi energi terbarukan & kebijakan	Fokus pada teknologi dan strategi energi	Minim eksplorasi topik baru	AI, smart energy, digitalisasi energi
Pola Penulis	Kolaborasi ilmiah meningkat	Jaringan global semakin luas	Ketimpangan kontribusi antar negara	Kolaborasi global yang lebih inklusif
Perkembangan Tema	Tema inti (energi efisiensi) dominan	Bidang mulai matang	Tema tertentu masih terisolasi	Integrasi topik hidrogen & net-zero
Kolaborasi Global	Dominasi negara maju	Pusat riset terkonsentrasi	Partisipasi negara berkembang terbatas	Penguatan kolaborasi internasional

Tabel 2. menyajikan sintesis temuan utama yang menunjukkan bahwa penelitian transisi energi berkembang pesat namun masih menghadapi fragmentasi pengetahuan dan ketimpangan kontribusi global. Meskipun tema inti seperti energi terbarukan dan efisiensi energi telah matang, masih terdapat

kesejajaran dalam integrasi lintas disiplin serta eksplorasi topik emerging[22]. Oleh karena itu, arah penelitian masa depan perlu difokuskan pada penguatan kolaborasi internasional, integrasi teknologi cerdas, serta pengembangan kebijakan berbasis data guna mendukung transisi energi yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa penelitian *sustainable energy transition* berkembang secara cepat, kompleks, dan multidisiplin. Struktur pengetahuan didominasi oleh integrasi antara teknologi energi, kebijakan, dan aspek ekonomi, dengan *renewable energy* sebagai inti utama[23]. Meskipun demikian, masih terdapat fragmentasi dalam beberapa area penelitian, khususnya pada integrasi antara inovasi teknologi dan implementasi kebijakan secara global. Temuan ini menegaskan adanya peluang penelitian lanjutan dalam mengintegrasikan berbagai dimensi tersebut secara lebih sistematis, khususnya melalui pendekatan interdisipliner dan kolaborasi global. Selain itu, arah penelitian masa depan cenderung mengarah pada optimalisasi sistem energi, integrasi teknologi cerdas, serta penguatan kebijakan berbasis data untuk mendukung transisi energi berkelanjutan yang lebih efektif[24].

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kajian *sustainable energy transition* berkembang pesat dan memiliki struktur pengetahuan yang kompleks serta multidisiplin, mencakup aspek teknologi, kebijakan, ekonomi, dan lingkungan. Dominasi topik seperti *renewable energy* dan *energy policy* menegaskan pentingnya integrasi antara inovasi teknologi dan strategi implementasi dalam mendukung transisi energi berkelanjutan.

Namun, masih terdapat tantangan berupa fragmentasi penelitian dan ketimpangan kontribusi global. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih integratif serta penguatan kolaborasi internasional. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam memetakan dinamika dan struktur pengetahuan secara komprehensif, serta mengidentifikasi arah penelitian masa depan, khususnya pada integrasi teknologi cerdas dan pengembangan kebijakan berbasis data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Universitas Al-Azhar Medan yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini.
2. Scopus Data Base yang telah menyediakan sampel dan data pendukung untuk penelitian ini.
3. Laboratorium Universitas Al-Azhar Medan yang telah memfasilitasi pengujian sampel dengan standar akurasi tinggi.

Semua pihak yang telah berkontribusi dan memberikan dukungan hingga terselesaikannya penelitian dan penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Berger and J. Lehner, "Climate impact of an optimised gas treatment on old landfills," *Waste Manag. Res.*, vol. 40, no. 8, pp. 1189–1198, 2022, doi: 10.1177/0734242X211070190.
- [2] Z. H. Siregar, S. L. Siregar, and A. Effendi, "From the experimental results of briquettes using a portable," *J. Vor.*, vol. 02, no. 02, p. 115, 2021.
- [3] Z. Hasrudy Siregar and A. Fadillah Nasution, "Ethanol Reduces Emissions But Damages Engines? a Systematic Literature Review and Meta-Analysis of Performance, Emissions, and Technological Risks of 4-Stroke Motor Engines," *J. Vor.*, vol. 06, no. 01, pp. 490–502, 2025, doi: 10.54123/vorteks.v6i1.442.
- [4] M. N. Letiyan, M. B. Kabeyi, and O. Olanrewaju, "Modelling the Impact of Solar Power Expansion on Generation Costs in Kenya," *Energies*, vol. 19, no. 2, 2026, doi: 10.3390/en19020296.
- [5] T. Mesin *et al.*, "deputi,+1.+GREEN+TEKNOLOGI+hal.%5B1-5%5D," vol. 1, no. 1, pp. 1–

- 5, 2021.
- [6] M. Wang, H. Zhou, and F. Wang, "Photocatalytic Production of Syngas from Biomass," *Acc. Chem. Res.*, vol. 56, no. 9, pp. 1057–1069, 2023, doi: 10.1021/acs.accounts.3c00039.
- [7] D. Ariyanti *et al.*, "Mild acid batch conversion of corncob biomass to furfural: Toward circular bioenergy and global research trends," *Bioresour. Technol.*, vol. 440, 2026, doi: 10.1016/j.biortech.2025.133400.
- [8] M. I. Adeoba, T. Pandelani, H. Ngwangwa, and T. Masebe, "Exploring the Role of Marine Microbial Products in Biodegradable Energy Materials for Green Technologies: A Bibliometric Survey," in *Proceedings of the International Conference on Mechanical and Intelligent Manufacturing Technologies, ICMIMT*, University of South Africa, Bioresources and Biomedical Engineering, Pretoria, Gauteng, South Africa: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2025, pp. 193–204. doi: 10.1109/ICMIMT65123.2025.11092116.
- [9] U. Ulyarti *et al.*, "Development of yam-starch-based bioplastics with the addition of chitosan and clove oil," *Makara J. Sci.*, vol. 25, no. 2, pp. 91–97, 2021, doi: 10.7454/mss.v25i2.1155.
- [10] E. Eddiyanto, M. Ilham, F. A. Daulay, A. F. R. Piliang, J. D. Siregar, and S. Gea, "The synthesis of macro-initiator using cellulose isolated from OPEFB via atomic transfer radical polymerization method," in *AIP Conference Proceedings*, B. Anshari, D. B. Agusdinata, A. Sophian, W.-S. Chang, and A. T. Lestari, Eds., Universitas Negeri Medan, Department of Chemistry, Medan, North Sumatra, Indonesia: American Institute of Physics, 2024. doi: 10.1063/5.0200712.
- [11] D. Jiménez-Islas, M. E. Perez-Romero, J. A. García, and I. Ventura-Cruz, "Trend in publications related to biomethane using a bibliometric approach," *Int. J. Des. Nat. Ecodynamics*, vol. 18, no. 3, pp. 565–572, 2023, doi: 10.18280/ijdne.180308.
- [12] Y. Chen, X. Ma, and W. Zhu, "CURRENT STATUS, HOT TOPICS, AND TRENDS IN GREEN CERTIFICATE RESEARCH: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS BASED ON WOS DATA," *Int. J. Ind. Eng. Theory Appl. Pract.*, vol. 33, no. 1, pp. 47–64, 2026, doi: 10.23055/ijietap.2026.33.1.11177.
- [13] M. Sha, S. He, X. Cheng, and M. Jin, "A Short-Term Photovoltaic Power-Forecasting Model Based on DSC-Chebyshev KAN-iTransformer," *Energies*, vol. 19, no. 1, 2026, doi: 10.3390/en19010020.
- [14] S. Luan *et al.*, "Decarbonizing regional air transport: Strategic pathways for sustainable multi-airport systems in developing economies," *J. Air Transp. Manag.*, vol. 135, 2026, doi: 10.1016/j.jairtraman.2026.103023.
- [15] N. Ghorbani *et al.*, "Assessing the financial viability of PV integration and grid expansion for wind farms," *Appl. Energy*, vol. 406, 2026, doi: 10.1016/j.apenergy.2025.127267.
- [16] H. Ye *et al.*, "Research progress of nano-catalysts in the catalytic conversion of biomass to biofuels: Synthesis and application," *Fuel*, vol. 356, 2024, doi: 10.1016/j.fuel.2023.129594.
- [17] D. Kim, Y. Choi, J. Cha, H. Park, G. Baek, and C. Lee, "Pre-fermentation and filtration pretreatments enhance hydrogen production from food waste through microbial electrolysis," *Bioresour. Technol.*, vol. 424, 2025, doi: 10.1016/j.biortech.2025.132267.
- [18] J. Zhou, X. Zhou, and F. Wang, "Provincial-Level dynamic capacity projections and environmental benefit assessment of photovoltaic module decommissioning in China," *Waste Manag.*, vol. 210, 2026, doi: 10.1016/j.wasman.2025.115252.
- [19] A. P. Ribeiro, "Bringing to light a new energy path: the case of the state of Minas Gerais, Brazil," *Sustain. Debate*, vol. 14, no. 2, pp. 114–133, 2023, doi: 10.18472/SustDeb.v14n2.2023.49635.
- [20] M. Wróbel-Jędrzejewska, Ł. Przybysz, E. Włodarczyk, F. Owczarek, and Ł. Ściubak,

- “Carbon Footprint Analysis of Alcohol Production in a Distillery in Three Greenhouse Gas Emission Scopes,” *Sustain.*, vol. 18, no. 1, 2026, doi: 10.3390/su18010057.
- [21] M. Radulescu, M. S. Karimi, S. K. Brika, K. S. Mohammed, and L. Popescu, “The role of artificial intelligence and green technological innovation in shaping greener and nuclear energy efficiency: Evidence from developed and developing countries using a panel time-varying approach,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 64, 2026, doi: 10.1016/j.esr.2026.102076.
- [22] K. Srilakshmi, P. K. Balachandran, T. M. Krishna, H. Subhadra, S. Singh, and S. Kannan, “Design of green hydrogen-based shunt active power filter for distribution networks using a modified red-tailed hawk algorithm,” *Meas. Control (United Kingdom)*, 2026, doi: 10.1177/00202940261434653.
- [23] W. Wei, M. Yuan-Rui, G. Lei, and G. Liang, “Prediction analysis and control strategies on coupling coordination between low-carbon transportation and high-quality economic development in the backward U-shaped bend metropolitan area of the Yellow River Basin,” *Ecol. Indic.*, vol. 175, 2025, doi: 10.1016/j.ecolind.2025.113521.
- [24] K. Cheikh, E. M. Boudi, R. Rabi, and H. Mokhliss, “Multi-component prognostics and maintenance optimization in wind farms using federated learning and hybrid degradation models,” *J. Qual. Maint. Eng.*, pp. 1–19, 2026, doi: 10.1108/JQME-09-2025-0109.