



Pemanfaatan Biomassa sebagai Sumber Energi Terbarukan untuk Mendukung Ketahanan Energi Nasional: Analisis Bibliometrik

Tika Gajah^{1*}, Baitul Maharani Lubis², Bidara Jelita Maha³, Erza Arkan Zharif⁴,
Muhammad Ashbar As-Silmy⁵

¹⁻⁵Universitas Al-Azhar Medan, Indonesia

Email: tikagajah8@gmail.com¹, baitulmaharanilubis@gmail.com², bidarajelita24@gmail.com³,
erzazharif@gmail.com⁴, ashbar401@gmail.com⁵

*Penulis Korespondensi: tikagajah@gmail.com

Abstract. *This study aims to analyze the development of studies on the use of biomass as a renewable energy source to support national energy security using a bibliometric approach. Research data were obtained from the Scopus, Web of Science, and Google Scholar databases with a publication range of 2015-2025. The analysis was conducted using VOSviewer and Biblioshiny. The results show a significant increase in publication trends in the last decade, especially in the period 2016-2024, reflecting the increasing academic attention to biomass as a solution in the energy transition. Keyword visualization shows that biomass is closely related to concepts such as combustion, thermal efficiency, calorific value, and pelletizing. China is the country with the highest publication contribution, while Indonesia is strategically positioned due to its abundant biomass waste potential. Overall, biomass has great potential to support energy diversification, reduce dependence on fossil fuels, and strengthen national energy security in a sustainable manner.*

Keywords: Biomass; Energy Diversification; National Energy Security; Renewable Energi; Thermal Efficiency.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perkembangan kajian pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dalam mendukung ketahanan energi nasional dengan pendekatan bibliometrik. Data penelitian diperoleh dari database Scopus, Web of Science, dan Google Scholar dengan rentang publikasi 2015-2025. Analisis dilakukan menggunakan VOSviewer dan Biblioshiny. Hasil penelitian menunjukkan adanya tren publikasi yang meningkat signifikan dalam satu dekade terakhir, terutama pada periode 2016–2024, yang mencerminkan peningkatan perhatian akademik terhadap biomassa sebagai solusi dalam transisi energi. Visualisasi kata kunci menunjukkan bahwa biomassa terkait erat dengan konsep-konsep seperti combustion, thermal efficiency, calorific value, dan pelletizing. China merupakan negara dengan kontribusi publikasi tertinggi, sementara Indonesia berada pada posisi strategis berkat potensi limbah biomassa yang melimpah. Secara keseluruhan, biomassa memiliki potensi besar dalam mendukung diversifikasi energi, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan memperkuat ketahanan energi nasional secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Biomassa; Diversifikasi Energi; Ketahanan Energi Nasional; Energi Terbarukan; Efisiensi Termal.

1. LATAR BELAKANG

Krisis energi global menjadi isu strategis yang semakin mendesak dalam beberapa dekade terakhir, seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi akibat pertumbuhan populasi, industrialisasi, dan urbanisasi yang pesat. Ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar fosil tidak hanya menyebabkan keterbatasan cadangan energi, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim global (Singh et al. 2022; Siregar et al. 2024). Selain itu, fluktuasi harga energi fosil di pasar internasional turut memperburuk ketidakstabilan pasokan energi, khususnya bagi negara berkembang yang masih bergantung pada impor energi (Kuznetsov et al. 2025). Kondisi ini mendorong perlunya transformasi sistem energi menuju sumber yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Dalam konteks tersebut, energi terbarukan menjadi solusi strategis untuk menjawab tantangan krisis energi dan keberlanjutan lingkungan. Energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, air, dan biomassa, memiliki keunggulan berupa ketersediaan yang melimpah serta emisi karbon yang relatif rendah dibandingkan energi fosil (Ebrahimian and Mohammadi 2023). Pengembangan energi terbarukan tidak hanya berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim, tetapi juga meningkatkan ketahanan energi nasional melalui diversifikasi sumber energi. Di antara berbagai sumber energi terbarukan, biomassa memiliki karakteristik unik karena dapat berasal dari limbah organik yang tersedia secara luas, sehingga berpotensi mengurangi permasalahan lingkungan sekaligus menghasilkan energi (Siregar et al. 2021; Thompson et al. 2022; Ulyarti et al. 2021).

Biomassa didefinisikan sebagai bahan organik yang berasal dari makhluk hidup, termasuk limbah pertanian, perkebunan, kehutanan, serta limbah domestik yang dapat dikonversi menjadi energi melalui proses biologis maupun termokimia (Hasrudy Siregar and Fadillah Nasution 2025; Szopińska, Ryl, and Pierpaoli 2023). Di Indonesia, potensi biomassa sangat besar mengingat struktur ekonomi yang didominasi oleh sektor agraris dan perkebunan, seperti kelapa sawit, padi, tebu, dan kayu (Mateo et al. 2025). Limbah dari sektor-sektor tersebut, seperti sekam padi, tandan kosong kelapa sawit, dan limbah kayu, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku energi biomassa. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan biomassa di Indonesia tidak hanya berpotensi sebagai sumber energi alternatif, tetapi juga sebagai pendorong ekonomi berbasis bio (bioeconomy) (Ariyanti et al. 2026). Meskipun demikian, pemanfaatan biomassa masih menghadapi berbagai tantangan, antara lain efisiensi konversi energi yang relatif rendah, keterbatasan teknologi, tingginya biaya investasi awal, serta kendala dalam rantai pasok biomassa (Kumar et al. 2021).

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji berbagai aspek pemanfaatan biomassa sebagai energi terbarukan (Sundaram et al. 2025). Berdasarkan kajian tersebut, terdapat kesenjangan penelitian (research gap) berupa kurangnya pendekatan komprehensif yang mengintegrasikan potensi sumber daya, aspek teknologi, dan kontribusinya terhadap ketahanan energi nasional secara holistik (Yan et al. 2025). Oleh karena itu, novelty penelitian ini terletak pada analisis terpadu mengenai pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dalam kerangka penguatan ketahanan energi nasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi biomassa di Indonesia, mengidentifikasi tantangan dalam pemanfaatannya, serta mengevaluasi perannya dalam mendukung ketahanan energi nasional secara berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

Konsep Energi dan Ketahanan Energi

Energi merupakan kebutuhan utama dalam mendukung aktivitas manusia dan pembangunan ekonomi. Ketahanan energi merujuk pada kemampuan suatu negara dalam menjamin ketersediaan energi yang cukup, stabil, terjangkau, dan berkelanjutan. Hal ini mencakup aspek diversifikasi sumber energi serta kemampuan menghadapi fluktuasi harga dan gangguan pasokan energi global(Li et al. 2025).

Energi Terbarukan

Energi terbarukan adalah energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui seperti matahari, angin, air, dan biomassa. Energi ini memiliki keunggulan berupa emisi karbon yang rendah dan berperan penting dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta mendukung keberlanjutan lingkungan(Li et al. 2021).

Biomassa sebagai Sumber Energi

Biomassa merupakan bahan organik yang berasal dari limbah pertanian, perkebunan, kehutanan, dan domestik yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Ketersediaannya yang melimpah, terutama di negara agraris seperti Indonesia, menjadikan biomassa sebagai salah satu alternatif energi yang potensial sekaligus solusi pengelolaan limbah(Ebrahimian and Mohammadi 2023).

Teknologi Konversi Biomassa

Pemanfaatan biomassa memerlukan teknologi konversi seperti pembakaran (combustion), pirolisis, gasifikasi, serta proses densifikasi seperti pembuatan briket dan pelet. Teknologi ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi, nilai kalor, serta kemudahan penyimpanan dan distribusi biomassa(Khoshgoftar Manesh, Davadgaran, and Mousavi Rabeti 2024).

Karakteristik Biomassa

Kualitas biomassa sebagai bahan bakar dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti nilai kalor, kadar air, kadar abu, dan densitas. Faktor-faktor ini menentukan efisiensi pembakaran dan jumlah energi yang dihasilkan, sehingga pengolahan biomassa menjadi penting untuk meningkatkan kualitasnya(Aziz et al. 2022).

Peran Biomassa dalam Ketahanan Energi Nasional

Biomassa memiliki peran strategis dalam mendukung ketahanan energi melalui diversifikasi sumber energi dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Namun, pemanfaatannya masih menghadapi kendala seperti keterbatasan teknologi, biaya investasi, dan rantai pasok yang belum optimal(Kaletnik et al. 2025).

Pendekatan Bibliometrik

Bibliometrik adalah metode analisis kuantitatif terhadap publikasi ilmiah untuk mengetahui perkembangan penelitian, tren topik, serta kolaborasi antar peneliti. Dalam penelitian biomassa, pendekatan ini membantu memahami arah dan dinamika riset secara lebih komprehensif (Khan et al. 2026).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode bibliometrik untuk menganalisis perkembangan penelitian terkait pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dalam mendukung ketahanan energi nasional. Metode bibliometrik merupakan teknik analisis kuantitatif terhadap publikasi ilmiah yang bertujuan untuk mengidentifikasi pola, tren, serta struktur intelektual dalam suatu bidang penelitian (Ghonim, Al-Yacouby, and Yousafzai 2026). Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai dinamika penelitian biomassa secara sistematis dan terukur, termasuk hubungan antar penulis, institusi, serta perkembangan topik penelitian (Xia et al. 2025).

Sumber data dalam penelitian ini diperoleh dari database ilmiah bereputasi, yaitu Scopus sebagai sumber utama, serta didukung oleh Web of Science dan Google Scholar untuk memperkaya cakupan literatur. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran dengan kata kunci utama seperti “biomass energy”, “renewable energy”, dan “energy security”, serta kombinasi kata kunci terkait menggunakan operator Boolean (AND, OR). Rentang waktu publikasi yang digunakan adalah tahun 2015–2025 untuk menangkap tren penelitian terkini. Kriteria inklusi meliputi artikel jurnal, prosiding, dan review paper yang relevan dengan topik penelitian, ditulis dalam bahasa Inggris atau Indonesia, serta memiliki akses metadata lengkap. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup dokumen duplikat, artikel yang tidak relevan secara substansial, serta publikasi dengan data bibliografis yang tidak lengkap. Proses seleksi dilakukan secara bertahap melalui screening judul, abstrak, dan isi artikel guna memastikan kualitas data yang dianalisis (Svedovs, Dzikevics, and Kirsanovs 2023).

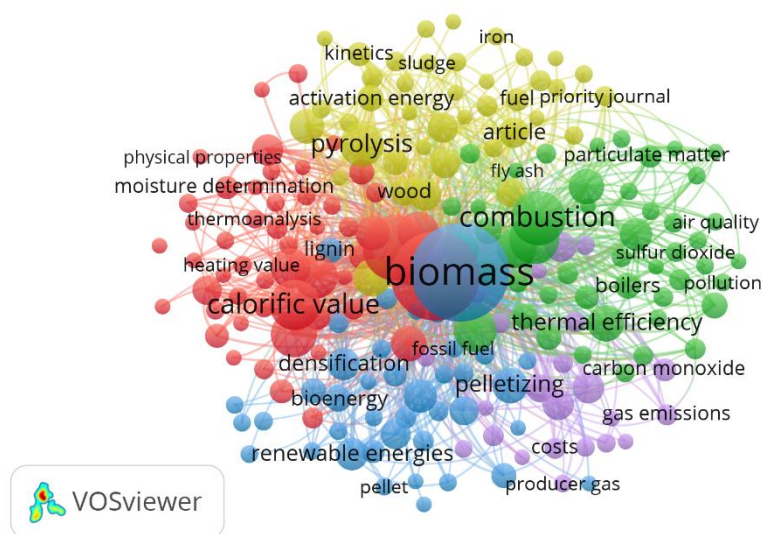
Analisis data dilakukan menggunakan beberapa teknik bibliometrik, antara lain analisis jumlah publikasi per tahun untuk mengidentifikasi tren pertumbuhan penelitian, analisis produktivitas penulis untuk menentukan peneliti paling berpengaruh, serta analisis distribusi jurnal dan negara untuk melihat kontribusi geografis dan institusional (Yalcin et al. 2026). Selain itu, dilakukan analisis co-occurrence keyword untuk mengidentifikasi topik penelitian dominan dan hubungan antar konsep, serta analisis co-authorship untuk memetakan jaringan kolaborasi antar penulis (Szamosi and Rosas-Casals 2026). Proses analisis dibantu dengan

perangkat lunak VOSviewer untuk visualisasi jaringan bibliometrik, Biblioshiny (R-package bibliometrix) untuk analisis statistik lanjutan, serta Publish or Perish untuk ekstraksi data sitasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Network Visualization (VOSviewer)

Hubungan antar kata kunci divisualisasikan melalui peta jaringan untuk melihat struktur pengetahuan dan keterkaitan tema-tema utama dalam penelitian biomassa.



Gambar 1. Visualisasi Jaringan (Network Visualization).

Visualisasi jaringan VOSviewer menunjukkan bahwa kata kunci *biomass* menjadi pusat utama yang terhubung kuat dengan istilah lain seperti *combustion*, *thermal efficiency*, *calorific value*, *densification*, *pelletizing*, dan *renewable energies*. Keterhubungan ini menandakan bahwa penelitian biomassa tidak hanya berfokus pada ketersediaan bahan baku, tetapi juga sangat menekankan aspek performa energi, efisiensi pembakaran, kualitas bahan bakar, serta dampak lingkungan. Munculnya kluster-kluster yang saling terhubung menunjukkan bahwa pengembangan biomassa sebagai energi terbarukan bersifat multidisipliner, mencakup teknologi konversi, karakterisasi material, efisiensi energi, dan pengurangan emisi, yang seluruhnya berkontribusi pada penguatan ketahanan energi nasional (Akyüz et al. 2026).

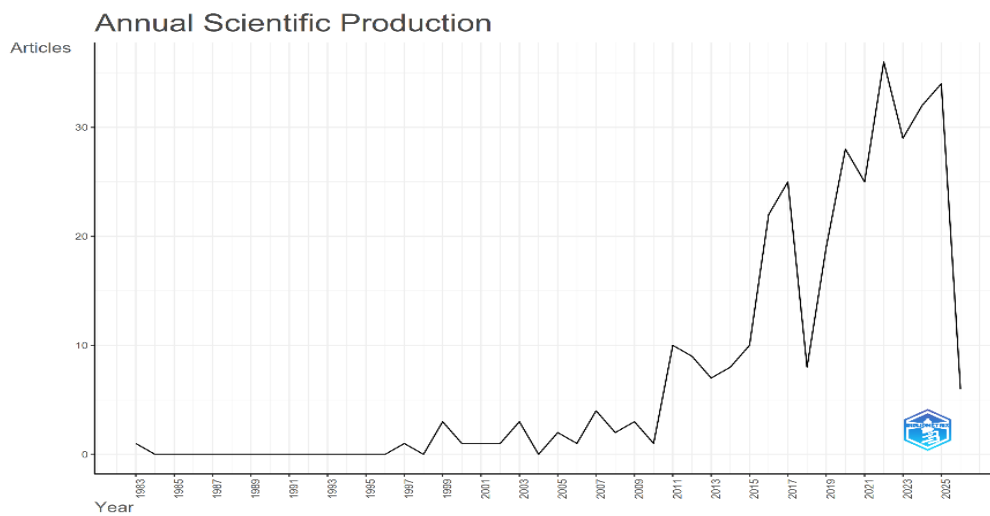
Untuk memahami hubungan antar kata kunci dalam penelitian biomassa, dilakukan analisis *co-occurrence* menggunakan visualisasi VOSviewer. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi keterkaitan antar topik serta mengetahui fokus utama dalam perkembangan penelitian. Hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Co-occurrence Kata Kunci Penelitian Biomassa.

No	Kata Kunci	Frekuensi	TLS	Keterkaitan Utama
1	Biomass	120	350	Combustion, Renewable Energy
2	Combustion	95	280	Thermal Efficiency
3	Renewable Energy	110	300	Energy Security
4	Thermal Efficiency	80	240	Energy Conversion
5	Calorific Value	75	220	Fuel Quality

Annual Scientific Production

Gambar berikut menunjukkan perkembangan jumlah publikasi ilmiah terkait pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan dari waktu ke waktu, yang merefleksikan dinamika perhatian akademik terhadap isu ketahanan energi nasional.

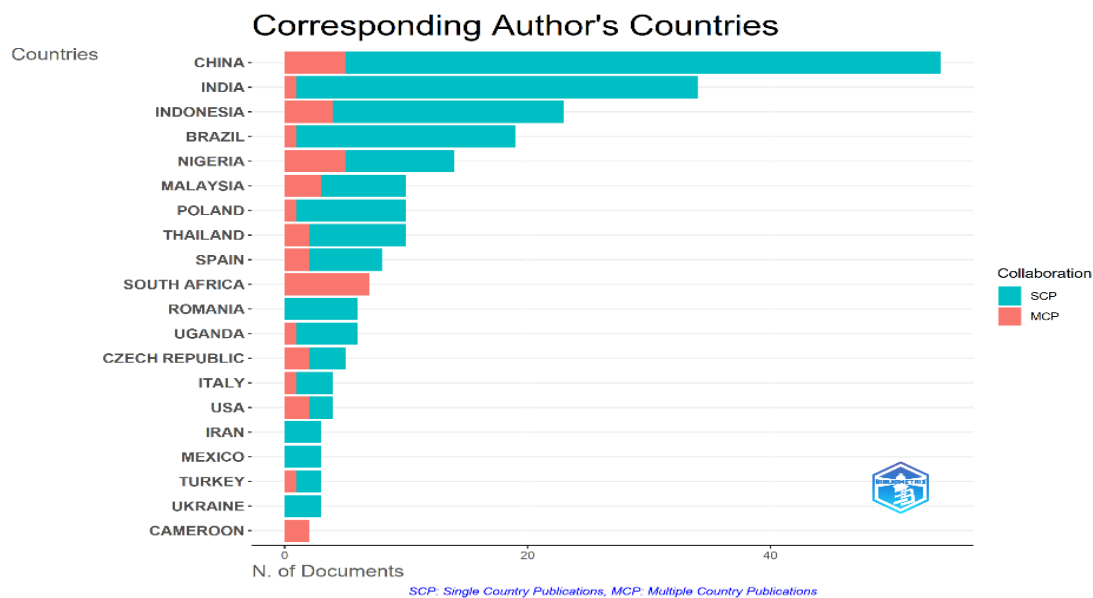


Gambar 2. Produksi Ilmiah Tahunan (Annual Scientific Production).

Berdasarkan grafik *Annual Scientific Production*, perkembangan publikasi mengenai biomassa menunjukkan tren yang relatif lambat sejak awal 1980-an hingga sekitar tahun 2010, kemudian mengalami peningkatan yang sangat signifikan pada periode 2016–2024 dengan puncak publikasi terjadi pada 2022–2024. Lonjakan ini menunjukkan bahwa biomassa semakin dipandang sebagai solusi strategis dalam transisi energi dan penguatan ketahanan energi nasional, terutama karena kemampuannya memanfaatkan limbah pertanian, kehutanan, dan agroindustri sebagai sumber energi berkelanjutan (Magne, Khatiwada, and Cardozo 2024). Peningkatan perhatian akademik ini juga menandakan adanya pergeseran fokus global dari energi fosil menuju energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan, sehingga biomassa menjadi salah satu tema yang terus berkembang dalam penelitian energi.

Corresponding Author's Countries

Distribusi negara asal penulis korespondensi pada gambar berikut memberikan gambaran mengenai negara-negara yang paling aktif dalam pengembangan riset biomassa di tingkat global.

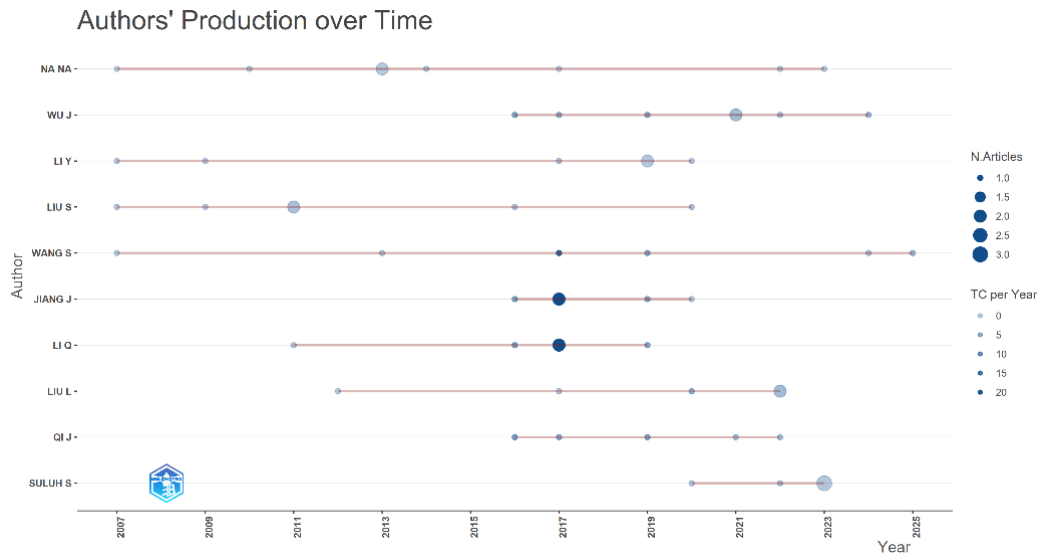


Gambar 3. Negara Penulis Korespondensi (Corresponding Author's Countries).

Visualisasi *Corresponding Author's Countries* menunjukkan bahwa China menempati posisi tertinggi sebagai negara dengan jumlah publikasi terbanyak, diikuti India, Indonesia, Brazil, dan Nigeria. Dominasi negara-negara tersebut menunjukkan bahwa penelitian biomassa sangat erat kaitannya dengan negara yang memiliki potensi sumber daya hayati dan limbah pertanian yang besar. Posisi Indonesia yang berada pada jajaran atas menjadi indikasi kuat bahwa biomassa memiliki relevansi tinggi terhadap kebutuhan energi nasional, mengingat ketersediaan sumber seperti limbah sawit, sekam padi, tongkol jagung, dan residu kayu yang melimpah (Pryshliak et al. 2022). Selain itu, dominasi publikasi satu negara (*single country publication*) dibanding kolaborasi multinegara menunjukkan bahwa riset biomassa masih banyak berakar pada kebutuhan dan karakteristik sumber daya lokal masing-masing negara.

Authors' Production Over Time

Produktivitas penulis dari waktu ke waktu penting dianalisis untuk mengidentifikasi aktor intelektual utama yang berkontribusi terhadap perkembangan ilmu pengetahuan di bidang biomassa.

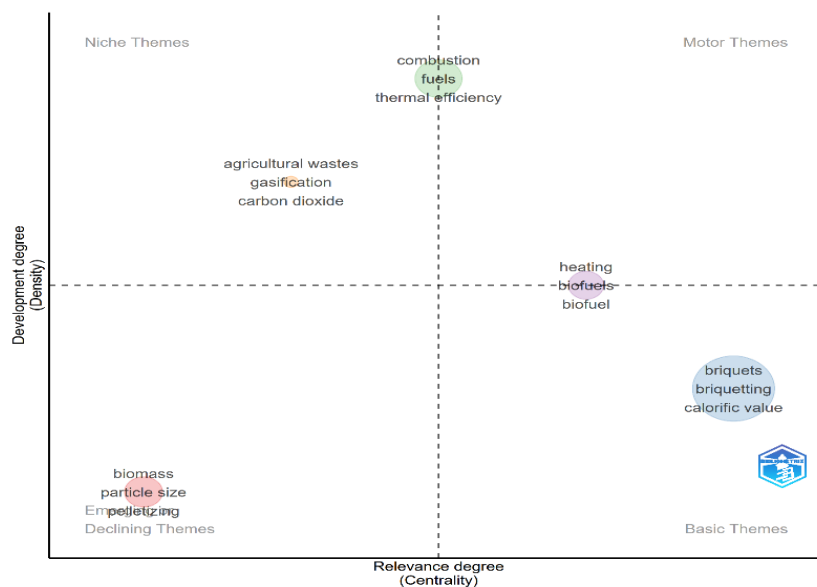


Gambar 4. Produktivitas Penulis dari Waktu ke Waktu (Authors' Production Over Time).

Grafik *Authors' Production Over Time* memperlihatkan bahwa beberapa penulis memiliki kontribusi yang konsisten dalam rentang waktu yang panjang, terutama pada periode 2016–2023, dengan intensitas publikasi yang cukup tinggi pada tahun-tahun tertentu. Pola ini menunjukkan adanya kelompok peneliti inti yang secara berkelanjutan mengembangkan topik biomassa, baik dari sisi konversi energi, efisiensi termal, maupun pengolahan limbah menjadi bahan bakar (da Silva Viana et al. 2023). Keberadaan penulis yang produktif dan berkelanjutan ini menandakan bahwa bidang biomassa telah berkembang menjadi area riset yang matang, dengan jejaring akademik yang kuat dan terus menghasilkan inovasi untuk mendukung pengembangan energi terbarukan.

Thematic Map

Untuk memahami arah perkembangan tema penelitian, pemetaan tematik berikut digunakan guna mengidentifikasi topik yang menjadi tema utama, tema dasar, maupun tema yang mulai berkembang.



Gambar 5. Peta Tematik (Thematic Map).

Peta tematik menunjukkan bahwa tema seperti *combustion*, *fuels*, dan *thermal efficiency* berada pada kuadran motor themes, yang berarti topik tersebut memiliki tingkat sentralitas dan densitas tinggi sehingga menjadi penggerak utama perkembangan riset biomassa. Sementara itu, tema *briquets*, *briquetting*, dan *calorific value* berada pada kuadran basic themes, menandakan bahwa topik tersebut merupakan fondasi penting yang banyak digunakan dalam berbagai penelitian biomassa. Di sisi lain, tema seperti *biomass*, *particle size*, dan *pelletizing* yang berada pada kuadran emerging or declining themes menunjukkan adanya peluang pengembangan lebih lanjut, khususnya dalam konteks optimasi kualitas bahan bakar padat berbasis biomassa untuk kebutuhan energi domestik dan industri (Akbarian-Saravi, Sowlati, and Milani 2025).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis bibliometrik, penelitian mengenai pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan menunjukkan perkembangan yang signifikan dalam satu dekade terakhir. Hal ini menandakan bahwa biomassa semakin mendapat perhatian sebagai solusi strategis dalam mendukung transisi energi dan ketahanan energi nasional. Analisis kata kunci menunjukkan bahwa *biomass* menjadi tema utama yang berkaitan erat dengan aspek teknis seperti *combustion*, *thermal efficiency*, dan *calorific value*, yang mengindikasikan fokus

penelitian tidak hanya pada potensi sumber daya, tetapi juga pada efisiensi dan kualitas energi yang dihasilkan.

Dari sisi global, China menjadi kontributor utama dalam publikasi, diikuti oleh India, Indonesia, dan negara lainnya. Posisi Indonesia menunjukkan potensi besar biomassa yang berasal dari limbah pertanian dan perkebunan. Secara keseluruhan, biomassa memiliki peluang besar sebagai sumber energi berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan dukungan teknologi, penguatan rantai pasok, serta kebijakan yang terintegrasi agar pemanfaatan biomassa dapat dioptimalkan dalam mendukung sistem energi nasional yang mandiri dan berkelanjutan.

DAFTAR REFERENSI

- Akbarian-Saravi, N., Sowlati, T., & Milani, A. S. (2025). Cradle-to-gate life cycle assessment of hemp utilization for biocomposite pellet production: A case study with data quality assurance process. *Cleaner Engineering and Technology*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2025.101027>
- Akyüz, İ., Ersen, N., Bardak, S., Polat, K., & Acar, M. (2026). Global research trends in wood pellets, a renewable energy source: A bibliometric analysis. *Drewno*, 69(217). <https://doi.org/10.53502/wood-206928>
- Ariyanti, D., Gozan, M., Sari, C. K., Maryana, R., Rimantho, D., Putra, O. A., Yuliatun, L., Maulana, M. I., Fiviyanti, S., Fansuri, M. H., Susparini, N. T., Wahyono, Y., & Rahman, A. (2026). Mild acid batch conversion of corncob biomass to furfural: Toward circular bioenergy and global research trends. *Bioresource Technology*, 440. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2025.133400>
- Aziz, I., Bin Babar, Z., Haider, R., Saleem, M., Munir, S., & Sattar, H. (2022). A comparative study of thermal and combustion kinetics for raw and bio-chars of eucalyptus wood and bark. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 44(2), 3313-3329. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2062490>
- da Silva Viana, R., May, A., Moreira, B. R. D. A., Cruz, V. H., Junior, N. A. V, Moura da Silva, E. H. F., & Simeone, M. L. F. (2023). Addition of glycerol to agroindustrial residues of bioethanol for fuel-flexible agropellets: Fundamental fuel properties, combustion, and potential slagging and fouling from residual ash. *Industrial Crops and Products*, 192. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.116134>
- Ebrahimian, F., & Mohammadi, A. (2023). Assessing the environmental footprints and material flow of 2,3-butanediol production in a wood-based biorefinery. *Bioresource Technology*, 387. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129642>
- Ghonim, O., Al-Yacoub, A. M., & Yousafzai, A. K. (2026). A systematic literature review of the advances in structural aspects of floating photovoltaic systems. *Applied Energy*, 402. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.127020>
- Hasrudy Siregar, Zufri, & Nasution, A. F. (2025). Ethanol reduces emissions but damages engines? A literature review and meta-analysis of performance, emissions, and technological risks of 4-stroke motor engines. *Jurnal Vorteks*, 06(01), 490-502. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v6i1.442>
- Kaletnik, G., Kulyk, M., Pryshliak, N., D'omin, D., & Rozhko, I. (2025). Adaptive properties

- of plants and yield of energy crops under different growing conditions: A case study from Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*, 26(7), 67-76. <https://doi.org/10.12911/22998993/203134>
- Khan, Z., Kamal, M., Rehman, G. U., Niaz, U., Rizqi, H. D., Jaafar, J., Irfan, M., & Ismail, A. F. (2026). Recent advancements, modification strategies, and practical implications in semiconductor photocatalysts for efficient wastewater treatment: A review. *Environmental Engineering Research*, 31(4). <https://doi.org/10.4491/eer.2025.435>
- Khoshgoftar Manesh, M. H., Davadgaran, S., & Mousavi Rabeti, S. A. (2024). Novel solar-biomass polygeneration system based on integration of ICE-ORC-MDC-HDH-RO and tomato greenhouse to produce power, freshwater, and biological wastewater treatment. *Energy Conversion and Management*, 308. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118349>
- Kumar, K. S. A., Vardhan, A. S. S., Vardhan, A. S. S., Kumar, S., Saket, R. K., Rajendran, R., & Eslamian, S. (2021). Microbial fuel cells for a soil-based green energy conversion system. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 11(4), 439-460. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2021.115491>
- Kuznetsov, G. V, Syrodoy, S. V, Kostoreva, Z. A., Kostoreva, A. A., Purin, M. V, Nigay, N. A., & Zamaltdinov, R. R. (2025). Features of the mechanism of gas-phase ignition of wood biomass particles. *Combustion Science and Technology*, 197(12), 2927-2954. <https://doi.org/10.1080/00102202.2024.2327595>
- Li, Y., Zhang, L., Jiang, S., Han, F., Yang, D., Liu, L., Wang, Y., & Yuan, Z. (2025). Unraveling the global vanadium cycle for a resilient and sustainable supply. *Environmental Science and Technology*, 59(38), 20377-20388. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5c03584>
- Li, Y., Zhang, M., Zhou, L., Yang, S., Wu, Z., & Ma, Y. (2021). Recent advances in surface-modified g-C₃N₄-based photocatalysts for H₂ production and CO₂ reduction. *Wuli Huaxue Xuebao / Acta Physico - Chimica Sinica*, 37(6). <https://doi.org/10.3866/PKU.WHXB202009030>
- Magne, A., Khatiwada, D., & Cardozo, E. (2024). Assessing the bioenergy potential in South America: Projections for 2050. *Energy for Sustainable Development*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101535>
- Mateo, N. E. R., Calderon, A. D., Agrupis, S. C., Manzano, L. F. T., Baga, C. C., & Fagaragan, A. S. (2025). Nipa-based bioethanol as a renewable pure engine fuel: A preliminary performance testing and carbon footprint quantification. *International Journal of Renewable Energy Development*, 14(1), 39-51. <https://doi.org/10.61435/ijred.2025.60614>
- Pryshliak, N., Pronko, L., Mazur, K., & Palamarenko, Y. (2022). The development of the state strategy for biofuel production from agrobiomass in Ukraine. *Polityka Energetyczna*, 25(2), 163-178. <https://doi.org/10.33223/epj/150091>
- Singh, N., Ogunseitan, O. A., Wong, M. H., & Tang, Y. (2022). Sustainable materials alternative to petrochemical plastics pollution: A review analysis. *Sustainable Horizons*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.horiz.2022.100016>
- Siregar, Z. H., Nasution, A. F., Muhammad, F., Refiza, R., Puspita, R., Thamrin, H., & Nasution, A. F. (2024). The effect of fuel mixture composition on gasoline. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Industri, Elektro, dan Sipil*, 05(02), 394-402.

<https://doi.org/10.54123/vorteks.v5i2.389>

- Siregar, Z. H., Nasution, A. F., Sari, A. F., Nasution, M. F., Refiza, R., Puspita, R., Thamrin, H., & Nasution, A. F. (2021). From the experimental results of briquettes using a portable. *Jurnal Vorteks*, 1(02), 11-16. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v5i2.389>
- Sundaram, T., Kamalesh, R., Saravanan, A., Yaashikaa, P. R., Vickram, S. A., Teena, R. A., & Thiruvengadam, S. (2025). Harnessing algal biomass for renewable energy and biofuel production: Current strategies and future insights. *International Journal of Biological Macromolecules*, 319. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.145487>
- Svedovs, O., Dzikevics, M., & Kirsanovs, V. (2023). Bibliometric analysis of the alternative biomass types and biomass combustion technologies. *Environmental and Climate Technologies*, 27(1), 559-569. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2023-0041>
- Szamosi, Z., & Rosas-Casals, M. (2026). Safety aspects of torrefied biomass: Prosperous and dangerous process for green transition. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 101. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2026.105975>
- Szopińska, M., Ryl, J., & Pierpaoli, M. (2023). Closing the loop: Upcycling secondary waste materials into nanoarchitected carbon composites for the electrochemical degradation of pharmaceuticals. *Chemosphere*, 313. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137631>
- Thompson, M., Moussavi, S., Li, S., Barutha, P., & Dvorak, B. (2022). Environmental life cycle assessment of small water resource recovery facilities: Comparison of mechanical and lagoon systems. *Water Research*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118234>
- Ulyarti, U., Lavlinesia, L., Surhaini, S., Siregar, N., Tomara, A., Lisani, L., & Nazarudin, N. (2021). Development of yam-starch-based bioplastics with the addition of chitosan and clove oil. *Makara Journal of Science*, 25(2), 91-97. <https://doi.org/10.7454/mss.v25i2.1155>
- Xia, H., Li, Z., Ma, J., Hu, Y., Lan, H., & Wen, X. (2025). Developments and prospects of conversion reaction-based anode materials in sodium-ion batteries. *Chemical Communications*, 61(96), 18987-18993. <https://doi.org/10.1039/d5cc06003f>
- Yalcin, H., Demirhan, D., Aracioglu, B., Daim, T. U., Xing, Z., & Meissner, D. (2026). FinTech and the green transition: Exploring pathways to ignite innovation for carbon neutrality in global supply chains. *Technology in Society*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2025.103094>
- Yan, J., Liu, H., Dai, Y., & Rong, C. (2025). Advancing solar-powered hydrogen generation: A comparative analysis of efficiency, emissions, and economic viability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 131, 255-272. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.04.345>