

## Analisis Pemanfaatan Limbah Biomassa sebagai Sumber Energi Alternatif pada Industri

**M Rizki Akbar Nasution<sup>1\*</sup>, Galih Fachrezy<sup>2</sup>, Arlyn Mabel Tuah Tarigan<sup>3</sup>, Muhammad Ashbar As-Silmy<sup>4</sup>, Erza Arkan Zharif<sup>5</sup>, Rafa Aditya Dharmawangsa<sup>6</sup>**

<sup>1,2</sup> Teknik Industri, Teknik Mesin, Universitas Al-Azhar Medan, JL Pintu Air IV No. 214, Kwala Bekala, Padang Bulan, Medan, Indonesia

e-mail: <sup>1\*</sup>[mrizkiakbar207@gmail.com](mailto:mrizkiakbar207@gmail.com), <sup>2</sup>[galihfachrezy@gmail.com](mailto:galihfachrezy@gmail.com), <sup>3</sup>[arlinnmabell12@gmail.com](mailto:arlinnmabell12@gmail.com), <sup>4</sup>[ashbar401@gmail.com](mailto:ashbar401@gmail.com), <sup>5</sup>[erzazharif@gmail.com](mailto:erzazharif@gmail.com), <sup>6</sup>[rafakisaran123@gmail.com](mailto:rafakisaran123@gmail.com)

### Abstract

*The increasing energy demand in the industrial sector and the high dependence on fossil fuels have caused various problems, including energy crises, greenhouse gas emissions, and environmental pollution. On the other hand, biomass waste generated from agricultural, plantation, and industrial activities continues to increase every year, while its utilization as an alternative energy source remains limited. This condition highlights the need for the development of renewable energy based on biomass waste to support energy sustainability and the concept of a circular economy. This study aims to analyze the utilization of biomass waste as an alternative energy source in the industrial sector through a bibliometric approach. Data were collected from reputable scientific databases, including Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar within a specified publication period. The analysis was conducted using VOSviewer and Biblioshiny to identify research trends, collaboration patterns, and the development of major topics related to biomass. The results indicate a significant increase in publications on biomass and renewable energy in recent years. Topics such as combustion, biofuel, and thermal efficiency have become the primary focus of research, while gasification and agricultural waste still offer opportunities for further development. The utilization of biomass waste has strong potential to support industrial energy efficiency and reduce environmental impacts sustainably*

**Keywords:** Biomass Conversion, Energy Efficiency, Industrial Energy, Renewable Energy, Waste Biomass

### Abstrak

Meningkatnya kebutuhan energi pada sektor industri dan tingginya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil telah menimbulkan berbagai permasalahan, seperti krisis energi, peningkatan emisi gas rumah kaca, dan pencemaran lingkungan. Di sisi lain, limbah biomassa dari sektor pertanian, perkebunan, dan industri terus meningkat setiap tahunnya, namun pemanfaatannya sebagai sumber energi alternatif masih belum optimal. Kondisi ini menunjukkan perlunya pengembangan energi terbarukan berbasis limbah biomassa guna mendukung keberlanjutan energi dan konsep circular economy. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif pada sektor industri melalui pendekatan bibliometrik. Data diperoleh dari database ilmiah bereputasi, yaitu Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar dalam rentang publikasi tertentu. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer dan Biblioshiny untuk mengidentifikasi tren penelitian, pola kolaborasi, dan perkembangan topik utama terkait biomassa. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan signifikan jumlah publikasi pada bidang biomassa dan energi terbarukan dalam beberapa tahun terakhir. Topik seperti combustion, biofuel, dan thermal efficiency menjadi fokus utama penelitian, sedangkan gasifikasi dan limbah pertanian masih memiliki peluang pengembangan lebih lanjut. Pemanfaatan limbah biomassa berpotensi mendukung efisiensi energi industri dan pengurangan dampak lingkungan secara berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Biomassa Limbah, Energi Terbarukan, Energi Industri, Efisiensi Energi, Konversi Biomassa

### PENDAHULUAN

Krisis energi global yang ditandai oleh meningkatnya permintaan energi, tingginya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, serta fluktuasi harga energi telah menjadi perhatian utama

dalam beberapa dekade terakhir (Siregar et al., 2023). Berdasarkan laporan *International Energy Agency* (IEA), konsumsi energi dunia terus meningkat sekitar 2–3% per tahun seiring pertumbuhan industri dan populasi global. Hingga saat ini, lebih dari 80% kebutuhan energi dunia masih bergantung pada bahan bakar fosil, sehingga menyebabkan tingginya emisi karbon dan mempercepat terjadinya perubahan iklim (Alvari et al., 2026). Penggunaan energi fosil secara masif tidak hanya mempercepat deplesi sumber daya tak terbarukan, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca dan peningkatan suhu global. Sektor industri merupakan salah satu konsumen energi terbesar dengan kontribusi sekitar 37% terhadap total konsumsi energi global dan menyumbang hampir 24% emisi CO<sub>2</sub> dunia. Kondisi tersebut mendorong sektor industri untuk menurunkan intensitas energi sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas produksinya. Oleh karena itu, transisi menuju sumber energi yang lebih bersih, efisien, dan berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak dalam mendukung pembangunan industri ramah lingkungan dan pencapaian target *net zero emission* (Siregar & Nasution, 2025).

Dalam konteks ini, energi terbarukan memainkan peran strategis sebagai solusi alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil dan meningkatkan efisiensi sistem energi industri (Xiong et al., 2026). Berbagai sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, air, dan biomassa telah dikembangkan secara luas untuk mendukung konsep industri berkelanjutan (*sustainable industry*). Di antara berbagai sumber tersebut, biomassa memiliki keunggulan unik karena ketersediaannya yang melimpah, sifatnya yang dapat diperbaharui, serta kemampuannya untuk diintegrasikan langsung ke dalam sistem produksi industri. Selain itu, pemanfaatan biomassa juga sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular yang menekankan pada penggunaan kembali limbah sebagai sumber daya bernilai tambah (Winfield et al., 2025).

Biomassa, khususnya yang berasal dari limbah industri dan pertanian, memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif yang belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah seperti residu pertanian, limbah kayu, limbah agroindustri, serta limbah organik lainnya dapat dikonversi menjadi energi melalui berbagai teknologi seperti pembakaran langsung, gasifikasi, pirolisis, dan fermentasi anaerob (Simamora & Siregar, 2025). Pemanfaatan limbah biomassa tidak hanya berpotensi mengurangi beban lingkungan akibat penumpukan limbah, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi energi dan memberikan nilai ekonomi tambahan bagi sektor industri. Meskipun demikian, implementasi teknologi ini masih menghadapi berbagai kendala, seperti variabilitas karakteristik bahan baku, keterbatasan infrastruktur, biaya investasi yang tinggi, serta kurangnya kebijakan yang mendukung.

Sejumlah penelitian telah mengkaji potensi dan teknologi konversi biomassa sebagai sumber energi alternatif (Zhao et al., 2026). Namun, berdasarkan tinjauan literatur yang dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek teknis tertentu, seperti proses pembakaran, gasifikasi, atau karakteristik bahan baku biomassa secara terpisah. Kajian yang membahas integrasi pemanfaatan limbah biomassa dalam sistem energi industri secara komprehensif, khususnya yang menghubungkan aspek teknis, efisiensi energi, tren penelitian, dan arah pengembangan teknologi, masih relatif terbatas. Selain itu, penelitian bibliometrik terkait pemanfaatan limbah biomassa pada sektor industri juga belum banyak dilakukan secara spesifik dengan memetakan perkembangan tema, pola kolaborasi, serta peluang riset di bidang tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperjelas posisi dan perkembangan kajian pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif pada sektor industri melalui pendekatan bibliometrik (Katongtung et al., 2026). Kontribusi penelitian ini terletak pada penyajian pemetaan tren penelitian, identifikasi tema dominan dan tema potensial, serta analisis arah pengembangan riset biomassa yang dapat menjadi dasar rekomendasi penelitian lanjutan dan pengembangan energi berkelanjutan di sektor industri (Li et al., 2025).

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis bibliometrik untuk mengkaji perkembangan penelitian terkait pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif pada sektor industri. Pendekatan bibliometrik dipilih karena mampu mengidentifikasi pola publikasi, tren penelitian, serta hubungan antar topik secara objektif dan sistematis melalui analisis data literatur ilmiah. Data penelitian diperoleh dari database ilmiah bereputasi internasional, yaitu Scopus,

ScienceDirect, dan Google Scholar, yang memiliki cakupan publikasi luas dan tingkat kredibilitas tinggi. Pengumpulan data dilakukan pada bulan Mei 2026 menggunakan kombinasi kata kunci seperti “*biomass waste*”, “*renewable energy*”, “*industrial energy*”, “*bioenergy*”, dan “*biomass conversion*” yang diterapkan pada judul, abstrak, dan kata kunci artikel. Penggunaan beberapa kata kunci tersebut bertujuan untuk memperoleh literatur yang relevan dan representatif terhadap topik penelitian.

Proses seleksi data dilakukan menggunakan pendekatan PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) agar data yang dianalisis memiliki kualitas dan relevansi yang baik. Kriteria inklusi meliputi artikel jurnal dan *review paper* yang dipublikasikan pada rentang tahun 2010–2025, ditulis dalam bahasa Inggris, serta berfokus pada pemanfaatan biomassa dalam sektor energi dan industri. Kriteria eksklusi mencakup dokumen non-ilmiah, artikel duplikat, prosiding yang tidak terindeks, serta publikasi yang tidak memiliki metadata lengkap. Setelah proses seleksi dilakukan, metadata bibliografi seperti nama penulis, tahun publikasi, sumber jurnal, kata kunci, afiliasi institusi, dan jumlah sitasi diekstraksi dalam format .csv. Tahapan penelitian yang dilakukan dalam studi ini ditunjukkan pada Gambar 1.

DIAGRAM ALUR PENELITIAN BIBLIOMETRIK



Gambar 1. Diagram alur penelitian bibliometric

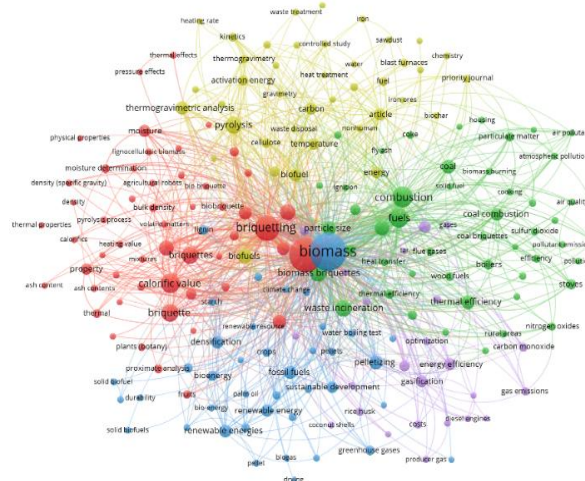
Analisis data dilakukan menggunakan teknik bibliometrik yang meliputi *co-occurrence analysis*, *co-authorship analysis*, dan *citation analysis*. *Co-occurrence analysis* digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antar kata kunci dan tema penelitian, sedangkan *co-authorship analysis* digunakan untuk memetakan jaringan kolaborasi antar peneliti atau institusi. Selain itu, *citation analysis* dilakukan untuk mengetahui pengaruh dan kontribusi publikasi dalam bidang penelitian biomassa. Proses analisis didukung oleh perangkat lunak VOSviewer dan Biblioshiny (*R-package Bibliometrix*) yang mampu menghasilkan visualisasi data dalam bentuk *network visualization*, *overlay visualization*, dan *density visualization*. Melalui tahapan tersebut, penelitian ini diharapkan mampu mengidentifikasi tren penelitian, tema dominan, serta kesenjangan penelitian terkait pemanfaatan limbah biomassa sebagai energi alternatif pada sektor industri secara lebih komprehensif (Semaan et al., 2025).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Peta Jaringan Kata Kunci (*Co-occurrence Network*)

Gambar 2 menunjukkan peta jaringan kata kunci yang dihasilkan menggunakan perangkat lunak VOSviewer berdasarkan analisis *co-occurrence*. Setiap node merepresentasikan kata kunci, sedangkan

ukuran node menunjukkan frekuensi kemunculan kata kunci tersebut dalam publikasi ilmiah. Hubungan antar node (link) mencerminkan tingkat keterkaitan atau kemunculan bersama dalam dokumen yang sama, sementara warna yang berbeda mengindikasikan kluster tema penelitian.

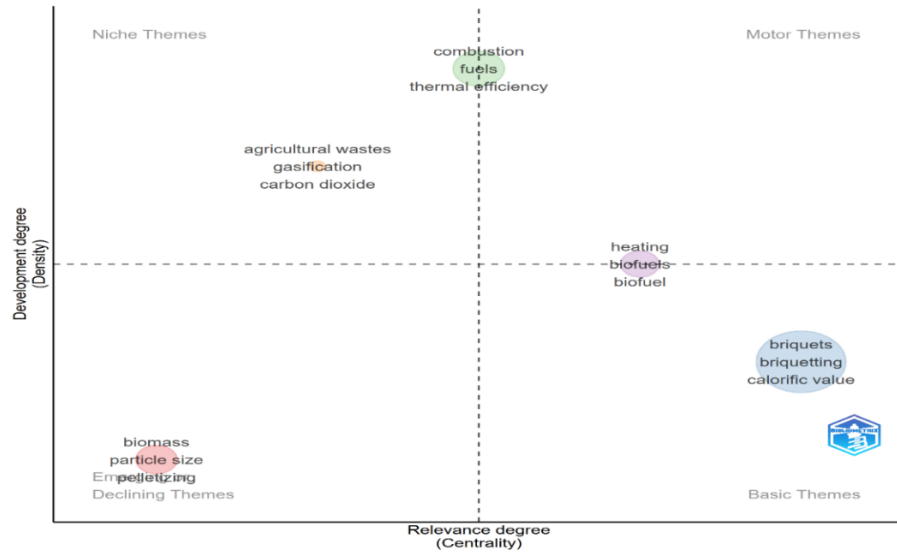


Gambar 2. Peta jaringan kata kunci ( Network Visualization menggunakan VOSviewer)

Berdasarkan visualisasi tersebut, kata kunci “biomass” menjadi pusat utama dengan keterkaitan yang luas terhadap berbagai topik lain seperti “combustion”, “biofuel”, “briquetting”, dan “thermal efficiency”. Kluster merah cenderung merepresentasikan penelitian terkait karakteristik biomassa dan proses densifikasi seperti *briquetting* dan nilai kalor (*calorific value*). Kluster hijau berfokus pada aspek pembakaran dan emisi, termasuk “coal combustion” dan “air pollution”. Sementara itu, kluster biru dan ungu mengarah pada isu energi terbarukan, gasifikasi, serta efisiensi energi. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian biomassa bersifat multidisipliner dan mencakup aspek teknis, lingkungan, serta efisiensi energi (Frost et al., 2023).

### Peta Tematik (*Thematic Map*)

Gambar 3 menyajikan peta tematik yang mengklasifikasikan topik penelitian berdasarkan dua dimensi utama, yaitu *centrality* (tingkat relevansi) dan *density* (tingkat pengembangan tema). Peta ini terbagi menjadi empat kuadran, yaitu *motor themes*, *basic themes*, *niche themes*, dan *emerging or declining themes*.

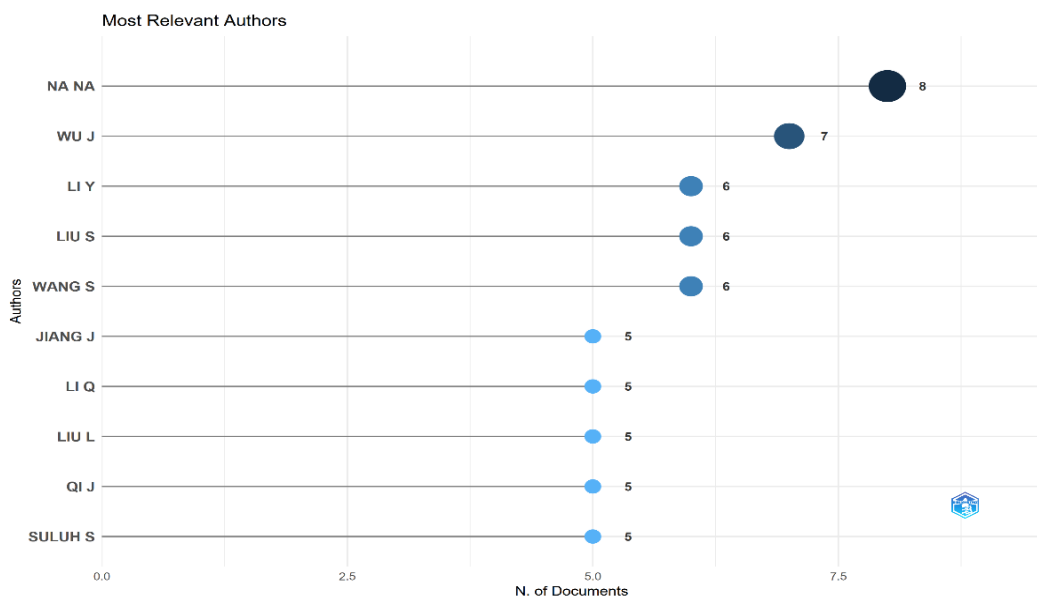


Gambar 2. Peta tematik penelitian (Thematic Map)

Hasil analisis menunjukkan bahwa tema seperti “combustion”, “fuels”, dan “thermal efficiency” berada pada kuadran *motor themes*, yang berarti tema tersebut memiliki tingkat relevansi dan pengembangan yang tinggi serta menjadi penggerak utama dalam penelitian biomassa. Tema “briquettes”, “briquetting”, dan “calorific value” termasuk dalam *basic themes*, yang menunjukkan bahwa topik tersebut fundamental dan banyak digunakan, namun masih memiliki peluang untuk pengembangan lebih lanjut. Sementara itu, “gasification” dan “agricultural wastes” berada pada *niche themes*, yang menunjukkan tingkat pengembangan tinggi namun relevansinya masih terbatas. Adapun tema seperti “biomass” dan “pelletizing” masuk dalam kategori *emerging or declining themes*, yang mengindikasikan bahwa topik tersebut dapat menjadi tren baru atau justru mengalami penurunan minat penelitian (Shanmugasundaram et al., 2026).

**Penulis Paling Relevan (Most Relevant Authors)**

Gambar 4 menampilkan distribusi penulis paling relevan berdasarkan jumlah publikasi dalam bidang penelitian biomassa dan energi alternatif. Sumbu horizontal menunjukkan jumlah dokumen yang dipublikasikan, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan nama penulis. Ukuran lingkaran mencerminkan tingkat kontribusi relatif masing-masing penulis.



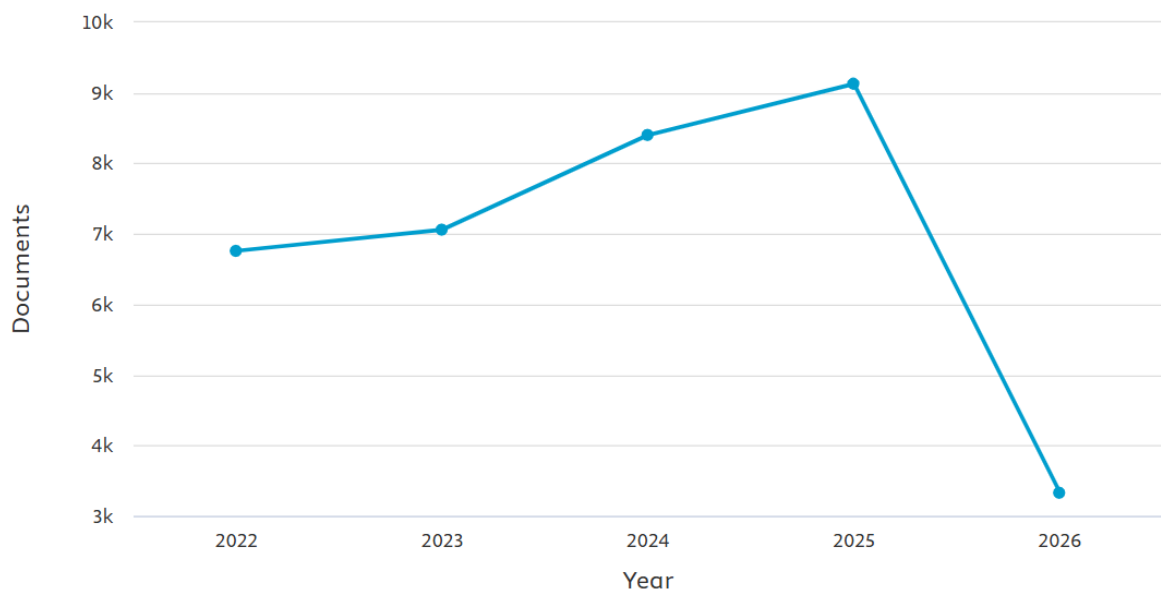
Gambar 4. Penulis paling produktif (Most Relevant Authors)

Berdasarkan hasil visualisasi, beberapa penulis seperti “NA NA” dan “WU J” memiliki jumlah publikasi tertinggi, yang menunjukkan kontribusi signifikan dalam pengembangan penelitian terkait biomassa. Penulis lain seperti “LI Y”, “LIU S”, dan “WANG S” juga menunjukkan produktivitas yang tinggi dan berperan penting dalam memperluas kajian di bidang ini. Distribusi ini mengindikasikan adanya konsentrasi kontribusi dari beberapa peneliti utama, yang berpotensi menjadi *key opinion leaders* dalam pengembangan teknologi dan pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif di sektor industri.

### Dokumen berdasarkan Tahun

Grafik berikut menyajikan tren jumlah publikasi ilmiah yang berkaitan dengan topik biomassa dan limbah dalam beberapa tahun terakhir. Visualisasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum mengenai perkembangan minat penelitian di bidang tersebut, sekaligus mengidentifikasi pola peningkatan atau penurunan jumlah publikasi dari waktu ke waktu.

Documents by year



Gambar 5. Tren jumlah publikasi per tahun (2022 – 2026)

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa jumlah publikasi mengalami tren peningkatan secara bertahap dari tahun 2022 hingga mencapai puncaknya pada tahun 2025. Pada tahun 2022 jumlah publikasi berada di kisaran 6.700 dokumen, kemudian meningkat menjadi sekitar 7.000 pada tahun 2023, dan terus naik signifikan pada tahun 2024 hingga sekitar 8.400 dokumen. Puncak publikasi terjadi pada tahun 2025 dengan lebih dari 9.000 dokumen, yang menunjukkan tingginya perhatian peneliti terhadap isu biomassa dan limbah.

Namun, pada tahun 2026 terlihat penurunan yang cukup drastis hingga sekitar 3.300 dokumen. Penurunan ini kemungkinan disebabkan karena data publikasi tahun 2026 masih bersifat sementara, dimana proses pengumpulan data dilakukan hingga bulan Mei 2026, sehingga jumlah publikasi pada tahun tersebut belum mencerminkan keseluruhan data tahunan. Secara umum, tren ini menunjukkan bahwa penelitian di bidang biomassa dan limbah mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir (EL-Seesy et al., 2025).

### KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kajian mengenai pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi alternatif pada sektor industri mengalami perkembangan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Hasil analisis bibliometrik menunjukkan adanya peningkatan jumlah publikasi yang

mencerminkan tingginya perhatian global terhadap isu energi terbarukan, efisiensi energi, dan keberlanjutan lingkungan. Berdasarkan analisis *co-occurrence*, topik seperti *combustion*, *biofuel*, dan *thermal efficiency* menjadi tema utama yang paling banyak diteliti, sedangkan tema seperti *gasification* dan pemanfaatan limbah pertanian masih memiliki peluang pengembangan yang besar di masa mendatang.

Analisis *co-authorship* menunjukkan bahwa kolaborasi penelitian masih didominasi oleh kelompok dan institusi tertentu, sehingga kerja sama lintas disiplin dan lintas negara perlu ditingkatkan untuk mendukung pengembangan teknologi biomassa yang lebih inovatif dan aplikatif. Selain itu, hasil *citation analysis* menunjukkan bahwa penelitian terdahulu lebih banyak berfokus pada aspek teknis dan performa energi, sementara kajian yang mengintegrasikan aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan secara simultan masih relatif terbatas (Chen et al., 2026).

Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kesenjangan penelitian utama terletak pada masih terbatasnya kajian integratif mengenai implementasi limbah biomassa dalam sistem energi industri secara komprehensif. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyajian pemetaan perkembangan riset biomassa secara sistematis melalui pendekatan bibliometrik, sehingga mampu mengidentifikasi tema dominan, peluang penelitian potensial, serta arah pengembangan riset biomassa untuk mendukung sistem energi industri yang berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alvari, Y., Jahangiri, A., Ameri, M., & Zandi, M. (2026). Species-specific modeling of biomass accumulation under CO<sub>2</sub>-light interactions in a smart vertical greenhouse using the Gompertz function. *Results in Engineering*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109240>
- Chen, Y., Han, J., Yang, C., Wang, C., & Liu, X. (2026). A crystal graph convolutional neural network framework for predicting stacking fault energy in concentrated alloys. *Npj Computational Materials*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41524-025-01915-9>
- EL-Seesy, A. I., El-Zoheiry, R. M., & Hassan Ali, M. I. H. (2025). Recycling of waste lubricant oil using two-step pyrolysis to produce fuel-like diesel and enhancing its combustion and emission parameters in diesel engines using linseed biodiesel. *Energy Conversion and Management: X*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100924>
- Frost, J., Frycz, M., Kowalski, J., Wodtke, M., & Litwin, W. (2023). Environmentally acceptable lubricants (EAL) compared with a reference mineral oil as marine stern tube bearing lubricant – Experimental and theoretical investigations. *Tribology International*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.109001>
- Katongtung, T., Sukpancharoen, S., Katahira, M., Phienluphon, A., & Tippayawong, N. (2026). Integrated machine learning models for prediction of multiphase products from hydrothermal treatment of biomass. *Renewable Energy*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2026.125200>
- Li, H., Bai, G.-P., Wen, G., Liu, J., & Er, G.-K. (2025). Asymmetric probabilistic solutions for stochastic oscillators with strong even-powered nonlinearities via a novel trial-shape function PINN framework. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.probengmech.2025.103864>
- Semaan, G., Ozturk, A. B., & Kumar, G. (2025). Comparative techno-economic assessment of multi-feedstock to multi-product integrated lignocellulosic biorefinery. *Biochemical Engineering Journal*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2025.109892>
- Shanmugasundaram, D., Ghugare, A., Mani, A., Balakrishnan, S., Raghavan, V., & Vinu, R. (2026). Single pellet combustion studies of biomass and its blends for bioenergy. *Results in Engineering*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.110604>

M Rizki Akbar Nasution, Galih Fachrezy, Arlyn Mabel Tuah Tarigan, Muhammad Ashbar As-Silmy, Erza Arkan Zharif, Rafa Aditya Dharmawangsa

Submitted: **22/04/2026**; Revised: **18/05/2026**; Accepted: **01/06/2026**; Published: **30/06/2026**

Simamora, J., & Siregar, Z. H. (2025). *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya ( IRAJTMA ) Pengolahan Gas Buang Hasil Pembakaran Campuran Refuse Derived Fuel dan Serbuk Gergaji dengan Spray Tower Scrubber Treatment of Flue Gas from the Combustion of Refuse Derived Fuel and Sawdust Using a Spray Tower Scrubber*. 4(1), 136–146.

Siregar, Z. H., & Nasution, A. F. (2025). *ELECTRICAL , AND CIVIL ENGINEERING DECONSTRUCTING THE EMPIRICAL FIXTURE UNIT METHOD : A MONTE CARLO – BASED PARADIGM FOR WATER-EFFICIENT WASTEWATER PIPING DESIGN*. 06(02), 544–556. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v6i2.480>

Siregar, Z. H., Siregar, M. Z., Maulana, A., Mesin, P. T., Asahan, U., Jend, J., Yani, A., & Utara, S. (2023). *Variasi pelumas pada torak displacer terhadap kinerja mesin Stirling*. 9(1).

Winfield, D. D., Evangelista, R. L., Moser, B. R., Hay, W. T., Winkler-Moser, J. K., Bantchev, G. B., & Cermak, S. C. (2025). Physicochemical characterization of *Orychophragmus violaceus* seeds and oil, a potential source of dihydroxy-fatty acids. *Industrial Crops and Products*, 234. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121530>

Xiong, L., Kang, K., Zhang, Y., Zhang, W., Zhang, Y., & Cao, C. (2026). THE PREDICTION OF THE WIND AND PHOTOVOLTAIC OUTPUT COEFFICIENTS OF ORDOS ZERO-CARBON INDUSTRIAL PARK BASED ON NEURAL NETWORKS. *International Journal of Robotics and Automation*, 41(1), 11–18. <https://doi.org/10.2316/J.2026.206-1167>

Zhao, Z., Chen, W., Yu, H., & Ye, L. (2026). Recent developments in terpenoid biosynthesis for sustainable biofuels: from bottlenecks to emerging convergent technologies. *Current Opinion in Biotechnology*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2026.103441>