

# Pemetaan Perkembangan Teknologi Konversi Energi Biomassa: Analisis Bibliometrik Berbasis Data Publikasi Global

Tasya Dewi Mutiara<sup>1\*</sup>, Ryu Arfan Setiawan<sup>2</sup>, Radith Atilasyah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Al-Azhar Medan, Sumatera Utara, Indonesia  
e-mail: khalisthatasya@gmail.com, ryuarfn13@gmail.com, riocrew088@gmail.com

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk memetakan perkembangan teknologi konversi biomassa melalui analisis bibliometrik berbasis data publikasi global yang terindeks Scopus periode 2021–2026. Pendekatan kuantitatif digunakan dengan menganalisis sekitar 2000 artikel jurnal menggunakan VOSviewer dan RStudio (bibliometrix). Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan signifikan jumlah publikasi dari tahun 2021 hingga 2025, yang mencerminkan meningkatnya perhatian global terhadap biomassa sebagai sumber energi terbarukan. Analisis co-occurrence kata kunci menunjukkan fokus utama penelitian pada biomassa, biofuels, pyrolysis, dan produksi hidrogen, yang didominasi oleh proses konversi termokimia dan biokimia. Penelitian ini juga mengidentifikasi kluster multidisiplin yang mencakup aspek keberlanjutan, katalisis, dan pretreatment biomassa. Selain itu, kolaborasi global didominasi oleh negara seperti China, Amerika Serikat, dan India. Secara keseluruhan, teknologi konversi biomassa berkembang menuju efisiensi tinggi, keberlanjutan, dan sistem rendah emisi dalam mendukung transisi energi global.

**Kata Kunci:** Biomassa, Bioenergi, Analisis Bibliometrik, Energi Terbarukan, Pirolisis

**Abstract:** This study aims to map the development of biomass conversion technology through a bibliometric analysis based on global publication data indexed in Scopus from 2021 to 2026. A quantitative approach was employed by analyzing approximately 2000 journal articles using VOSviewer and RStudio (bibliometrix). The results indicate a significant increase in publication trends from 2021 to 2025, reflecting growing global attention toward biomass as a renewable energy source. Keyword co-occurrence analysis reveals that major research focuses include biomass, biofuels, pyrolysis, and hydrogen production, highlighting the dominance of thermochemical and biochemical conversion processes. The study also identifies multidisciplinary research clusters covering sustainability, catalysis, and biomass pretreatment. Furthermore, global collaboration is primarily led by countries such as China, the United States, and India. Overall, the findings demonstrate that biomass conversion technology continues to evolve toward higher efficiency, sustainability, and low-emission systems, emphasizing its strategic role in supporting global energy transition and achieving net-zero emission targets.

**Keywords:** Biomassa, Bioenergi, Analisis Bibliometrik, Energi Terbarukan, Pirolisis

Krisis energi global yang ditandai oleh meningkatnya permintaan energi dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil telah mendorong percepatan global energy transition menuju sistem energi berkelanjutan. Emisi gas rumah kaca dari energi fosil menjadi tantangan utama dalam pencapaian target net-zero emission, sehingga pengembangan renewable energy menjadi semakin krusial (Siregar et al., 2021, 2024; Zhang et al., 2026). Dalam konteks ini, inovasi teknologi berperan penting dalam meningkatkan efisiensi, keandalan, dan daya saing sistem energi, termasuk dalam pengembangan teknologi konversi energi yang lebih berkelanjutan (Siregar et al., 2022; Thanigaivel et al., 2022).

Biomassa merupakan salah satu sumber renewable energy yang strategis karena bersifat renewable, carbon-neutral, dan mendukung konsep waste-to-energy. Biomass conversion technology mencakup thermochemical conversion (seperti gasification dan pyrolysis) serta biochemical conversion (seperti anaerobic digestion) (Khan et al., 2024; Suwankamnoed et al.,

2025). Dibandingkan energi surya dan angin, biomassa memiliki keunggulan dalam kontinuitas pasokan, namun masih menghadapi tantangan seperti efisiensi konversi, kompleksitas teknologi, dan variabilitas bahan baku (Wang et al., 2025). Perkembangan inovasi seperti advanced gasification dan biofuel generasi lanjut telah mendorong peningkatan signifikan jumlah publikasi ilmiah, sehingga diperlukan pemetaan pengetahuan untuk memahami tren dan arah penelitian secara global (Aravind Kumar et al., 2023; Ulyarti et al., 2021).

Meskipun penelitian biomassa didominasi oleh pendekatan eksperimental dan simulasi, pendekatan tersebut belum mampu menggambarkan tren global, struktur pengetahuan, dan kolaborasi ilmiah secara komprehensif. Oleh karena itu, bibliometric analysis menjadi pendekatan penting untuk menganalisis tren publikasi, struktur konseptual, jaringan kolaborasi, dan dampak sitasi dengan bantuan VOSviewer dan RStudio (Akyüz et al., 2026; Pandara et al., 2026). Namun, studi sebelumnya masih terbatas dan belum mencakup analisis global terbaru. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui analisis bibliometric berbasis data Scopus periode 2021–2026 guna mengidentifikasi tren penelitian, struktur ilmu, serta arah pengembangan teknologi biomassa di masa depan, sekaligus memberikan kontribusi teoretis, metodologis, dan praktis (Du et al., 2023).

## METODE

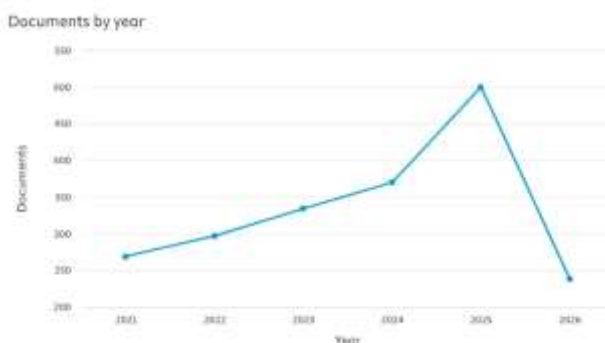
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode bibliometric analysis untuk mengkaji perkembangan global biomass conversion technology. Data diperoleh dari database Scopus dengan menggunakan kata kunci seperti “biomass conversion”, “bioenergy”, thermochemical conversion, dan biochemical conversion, pada rentang waktu 2021–2026. Proses seleksi dilakukan dengan kriteria inklusi berupa artikel jurnal (journal articles) berbahasa Inggris dan relevan dengan bidang energi, sehingga diperoleh sekitar 2000 dokumen yang dianalisis. Tahap awal meliputi pengumpulan, pembersihan, dan normalisasi data untuk memastikan konsistensi dan menghindari duplikasi (Maciel de Castro et al., 2026).

Analisis dilakukan menggunakan VOSviewer dan RStudio (bibliometrix). VOSviewer digunakan untuk memvisualisasikan jaringan co-occurrence keywords guna mengidentifikasi struktur konseptual serta co-authorship networks untuk menganalisis kolaborasi ilmiah. Sementara itu, RStudio digunakan untuk analisis tren publikasi, distribusi jurnal, dan citation analysis guna mengevaluasi dampak ilmiah. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan untuk mengidentifikasi pola perkembangan penelitian, kesenjangan riset, serta arah pengembangan biomass conversion technology di masa depan (Erdiwansyah et al., 2025).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Tren Publikasi Berdasarkan Tahun

Berdasarkan visualisasi documents by year, terlihat bahwa jumlah publikasi terkait biomass conversion technology mengalami tren peningkatan yang konsisten dari tahun 2021 hingga 2025.



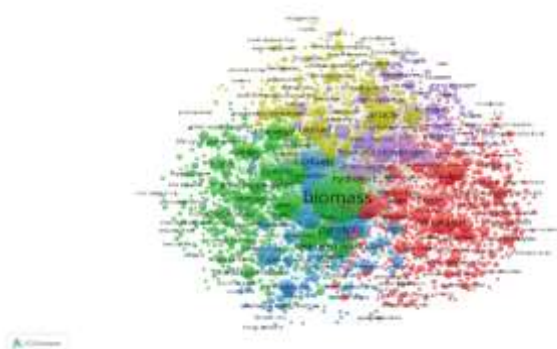
Gambar 1. Tren jumlah publikasi tahunan terkait biomass conversion technology periode 2021–2026 berdasarkan data Scopus

Jumlah dokumen meningkat dari sekitar 270 publikasi pada tahun 2021 menjadi puncaknya sekitar 500 publikasi pada tahun 2025. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan perhatian global terhadap pengembangan energi biomassa seiring dengan urgensi transisi energi dan dekarbonisasi (Ranjbari et al., 2022).

Namun, pada tahun 2026 terlihat adanya penurunan jumlah publikasi yang cukup signifikan. Penurunan ini tidak serta-merta menunjukkan penurunan minat penelitian, melainkan lebih disebabkan oleh keterbatasan data pada tahun berjalan (incomplete indexing). Secara keseluruhan, tren ini mengindikasikan bahwa penelitian di bidang biomassa merupakan topik yang berkembang pesat dan semakin relevan dalam konteks energi global.

**Struktur Konseptual (Keyword Co-occurrence)**

Visualisasi jaringan co-occurrence keywords menunjukkan bahwa kata kunci “biomass” menjadi pusat utama dalam jaringan penelitian, dengan keterkaitan kuat terhadap istilah seperti “biofuels”, “biomass conversion”, “pyrolysis”, dan “hydrogen production”.



Gambar 2. Visualisasi jaringan keyword co-occurrence yang menunjukkan hubungan antar kata kunci dan kluster penelitian dalam bidang energi biomassa menggunakan VOSviewer

Hal ini menegaskan bahwa fokus utama penelitian berada pada proses konversi biomassa menjadi energi dan bahan bakar alternatif. Selain itu, terbentuk beberapa kluster utama yang merepresentasikan tema penelitian berbeda. Kluster hijau berfokus pada aspek keberlanjutan seperti “sustainability”, “life cycle assessment”, dan “greenhouse gases”. Kluster merah menyoroti aspek katalis dan reaksi kimia seperti “catalyst”, “furfural”, dan “electrocatalysis”. Sementara kluster biru berfokus pada proses termokimia seperti “pyrolysis” dan “gasification”. Keberadaan kluster-kluster ini menunjukkan bahwa penelitian biomassa bersifat multidisiplin dan mencakup aspek teknik, lingkungan, dan kimia secara terintegrasi(Thanigaivel et al., 2022).

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih sistematis mengenai struktur konseptual penelitian dalam bidang biomass conversion technology, dilakukan analisis keyword co-occurrence yang kemudian dikelompokkan ke dalam beberapa kluster utama. Hasil pengelompokan tersebut disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kluster utama keyword co-occurrence pada penelitian biomass conversion technology

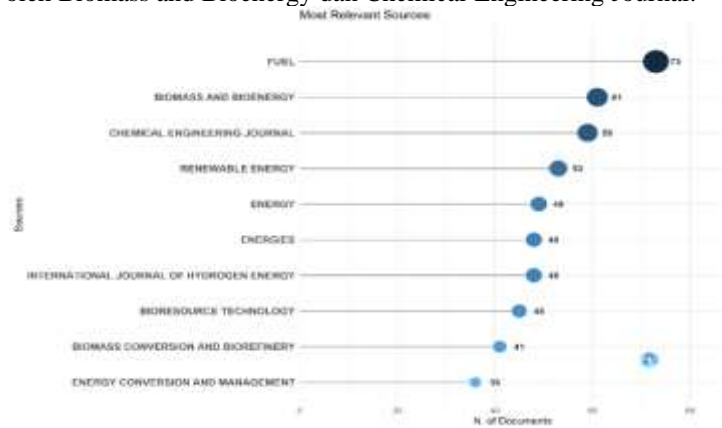
Kluster	Kata Kunci Inti	Fokus Utama	Implikasi
1	biomass, bioenergy, sustainability, life cycle assessment	Keberlanjutan & dampak lingkungan	Integrasi aspek lingkungan dalam sistem energi biomassa
2	catalyst, electrocatalysis, furfural	Proses katalitik & kimia	Peningkatan efisiensi melalui rekayasa katalis
3	pyrolysis, gasification, hydrogen production	Konversi termokimia	Produksi energi dan bahan bakar alternatif
4	biofuels, fermentation, anaerobic digestion	Konversi biokimia	Pengembangan biofuel berbasis proses biologis
5	hydrolysis, lignocellulose, glucose	Pretreatment biomassa	Tahap awal penentu efisiensi konversi

Tabel 1 menunjukkan bahwa struktur penelitian biomass conversion technology terbagi ke dalam beberapa kluster utama yang mencerminkan arah penelitian yang berbeda namun saling terhubung. Kluster tersebut mencakup aspek keberlanjutan, proses konversi termokimia dan biokimia, pengembangan katalis, serta tahap awal pengolahan biomassa. Hal ini

menegaskan bahwa bidang ini bersifat multidisiplin dan berkembang ke arah integrasi antara efisiensi teknologi dan keberlanjutan(Slameršak et al., 2022).

**Sumber Publikasi Utama**

Analisis most relevant sources menunjukkan bahwa jurnal Fuel menjadi sumber publikasi paling dominan dengan jumlah dokumen tertinggi, diikuti oleh Biomass and Bioenergy dan Chemical Engineering Journal.

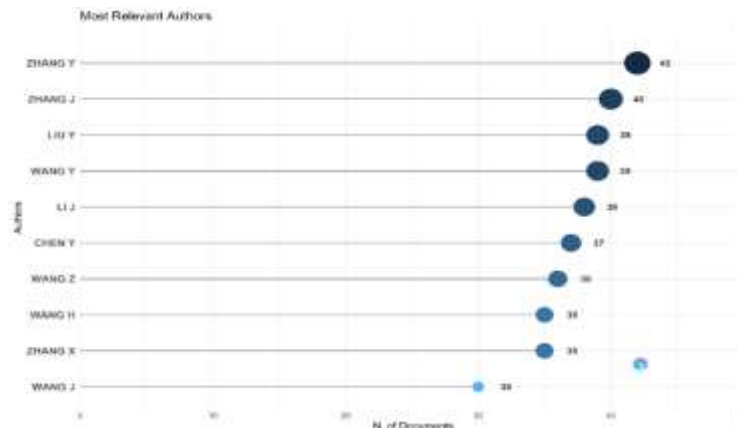


Gambar 3. Distribusi sumber publikasi paling relevan (most relevant sources) dalam penelitian biomass conversion technology berdasarkan jumlah dokumen.

Dominasi jurnal-jurnal ini menunjukkan bahwa penelitian biomass conversion technology banyak dipublikasikan dalam jurnal bereputasi tinggi yang berfokus pada energi dan teknik kimia. Selain itu, jurnal seperti Renewable Energy, Energy, dan Bioresource Technology juga menunjukkan kontribusi signifikan, yang mengindikasikan bahwa penelitian biomassa tidak hanya berfokus pada aspek teknologi, tetapi juga pada integrasi sistem energi dan keberlanjutan. Hal ini memperlihatkan bahwa bidang ini memiliki cakupan yang luas dan relevansi tinggi dalam berbagai disiplin ilmu(Chicacausa-Niño et al., 2026).

**Penulis Paling Produktif**

Berdasarkan analisis most relevant authors, terlihat bahwa beberapa peneliti seperti Zhang Y, Zhang J, dan Liu Y merupakan kontributor utama dalam publikasi terkait biomassa.

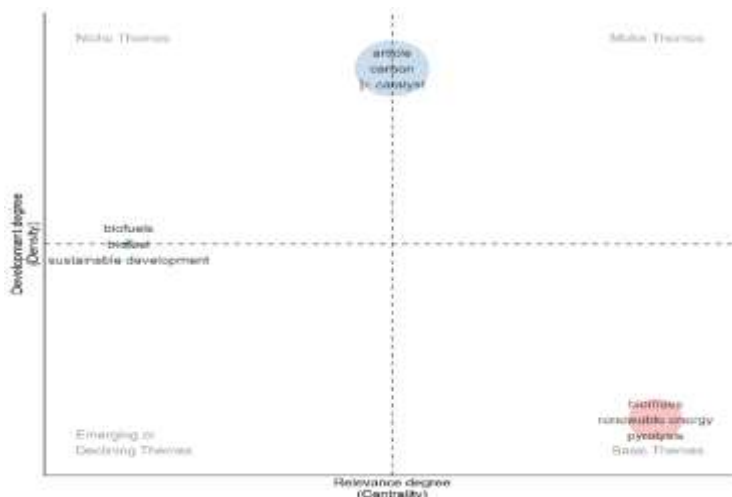


Gambar 4. Penulis paling produktif (most relevant authors) dalam bidang biomass conversion technology berdasarkan jumlah publikasi pada periode analisis

Tingginya jumlah publikasi dari penulis-penulis ini menunjukkan adanya kelompok riset yang aktif dan dominan dalam mengembangkan teknologi konversi biomassa. Selain itu, dominasi nama-nama tertentu juga mengindikasikan adanya konsentrasi keahlian di wilayah atau institusi tertentu, yang berperan sebagai pusat pengembangan penelitian biomassa global. Pola ini menunjukkan pentingnya kolaborasi ilmiah dalam mempercepat inovasi dan diseminasi pengetahuan di bidang energi terbarukan(Lv et al., 2022).

### Peta Tematik Penelitian (Thematic Map)

Peta tematik menunjukkan distribusi tema penelitian berdasarkan tingkat kepentingan (centrality) dan perkembangan (density).

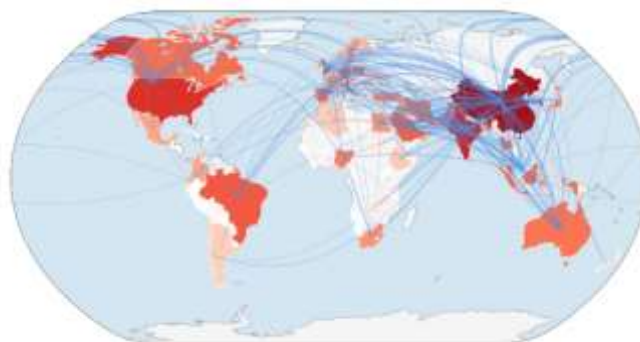


Gambar 5. Peta tematik (thematic map) yang menggambarkan distribusi tema penelitian berdasarkan tingkat kepentingan (centrality) dan perkembangan (density)

Tema seperti “biomass”, “renewable energy”, dan “pyrolysis” berada pada kuadran basic themes, yang menunjukkan bahwa topik tersebut merupakan dasar utama penelitian namun masih terus berkembang. Sementara itu, tema seperti “catalyst” dan “carbon” berada pada kuadran motor themes, yang berarti memiliki tingkat perkembangan dan relevansi tinggi dalam mendorong kemajuan penelitian. Di sisi lain, tema seperti “biofuel” dan “sustainable development” berada pada kuadran niche themes, yang menunjukkan bahwa topik tersebut spesifik dan berkembang, tetapi kurang terintegrasi dengan tema utama. Peta ini memberikan gambaran bahwa penelitian biomassa tidak hanya berkembang secara luas, tetapi juga memiliki arah spesifik yang semakin mengerucut (Unsomsri et al., 2026; Yu et al., 2022).

### Kolaborasi Antar Negara

Peta kolaborasi global menunjukkan bahwa negara-negara seperti China, Amerika Serikat, dan India menjadi pusat utama dalam penelitian biomass conversion technology. Negara-negara ini tidak hanya memiliki jumlah publikasi tinggi, tetapi juga menunjukkan jaringan kolaborasi internasional yang luas.



Gambar 6. Peta kolaborasi antar negara (country collaboration map) yang menunjukkan jaringan kerja sama internasional dalam penelitian energi biomassa

Selain itu, terlihat adanya konektivitas yang kuat antara negara maju dan berkembang, yang mencerminkan pentingnya kolaborasi global dalam pengembangan teknologi energi berkelanjutan. Negara-negara di Eropa dan Asia juga menunjukkan peran signifikan dalam jaringan ini. Hal ini mengindikasikan bahwa penelitian biomassa merupakan isu global yang melibatkan berbagai negara dalam upaya bersama untuk mencapai sistem energi yang lebih berkelanjutan (Cheikh et al., 2026).

Sebagai bentuk sintesis dari keseluruhan hasil analisis bibliometrik, dilakukan perumusan temuan utama yang mencakup berbagai aspek penting dalam perkembangan penelitian biomass conversion technology. Ringkasan temuan tersebut disajikan secara komprehensif pada Tabel 2.

Tabel 2. Sintesis temuan utama hasil analisis bibliometrik

Aspek Analisis	Temuan Utama	Implikasi Ilmiah	Arah Penelitian
Tren Publikasi	Peningkatan signifikan 2021–2025	Menunjukkan tingginya perhatian global	Eksplorasi topik lanjutan dan teknologi emerging
Struktur Konseptual	Didominasi kata kunci biomass, biofuels, pyrolysis	Bidang bersifat multidisiplin	Integrasi lintas disiplin (kimia, teknik, lingkungan)
Tema Penelitian	Fokus pada konversi termokimia dan keberlanjutan	Peralihan ke efisiensi dan dekarbonisasi	Pengembangan teknologi rendah emisi
Sumber Publikasi	Didominasi jurnal energi dan teknik bereputasi tinggi	Validitas dan kualitas penelitian tinggi	Publikasi pada jurnal Q1 bereputasi
Kolaborasi Global	Terpusat di China, USA, India	Ketimpangan kontribusi antar negara	Peningkatan kolaborasi internasional
Perkembangan Topik	Muncul tema katalis dan hidrogen	Pergeseran ke teknologi maju	Riset pada green hydrogen dan advanced materials

Tabel 2 merangkum temuan utama penelitian yang menunjukkan adanya peningkatan tren publikasi, dominasi topik konversi biomassa, serta penguatan kolaborasi global. Selain itu, terlihat adanya pergeseran fokus penelitian menuju inovasi teknologi seperti katalis dan hidrogen. Secara keseluruhan, tabel ini menegaskan arah penelitian masa depan yang berfokus pada efisiensi, dekarbonisasi, dan pengembangan teknologi energi biomassa yang berkelanjutan (Santos et al., 2025).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa perkembangan biomass conversion technology ditandai oleh peningkatan signifikan dalam produktivitas ilmiah, diversifikasi tema penelitian, serta penguatan kolaborasi global. Temuan ini memberikan pemahaman komprehensif mengenai dinamika dan arah perkembangan bidang ini, sekaligus menjadi dasar dalam mengidentifikasi peluang dan tantangan penelitian ke depan. Selanjutnya, bagian berikut menyajikan kesimpulan utama dari penelitian ini (Mehmood et al., 2023).

## PENUTUP

Penelitian ini menunjukkan bahwa biomass conversion technology mengalami perkembangan pesat seiring meningkatnya kebutuhan renewable energy dalam mendukung transisi energi global dan target net-zero emission. Hasil analisis bibliometrik mengungkap bahwa penelitian didominasi oleh topik inti seperti biomass, biofuels, dan thermochemical conversion, dengan kecenderungan menuju efisiensi teknologi, keberlanjutan, serta inovasi seperti katalis dan hidrogen. Selain itu, penelitian bersifat multidisiplin dan didukung oleh kolaborasi global yang kuat.

Melalui pendekatan bibliometric analysis berbasis data Scopus 2021–2026, penelitian ini berhasil memetakan tren, struktur pengetahuan, serta kesenjangan riset secara komprehensif. Temuan ini menegaskan pentingnya pengembangan teknologi biomassa yang lebih efisien dan rendah emisi, serta penguatan kolaborasi internasional sebagai arah utama penelitian di masa depan.

## .DAFTAR RUJUKAN

- 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>
- Aravind Kumar, J. A., Sundararaman, S., Prabu, D., Annam Renita, A. A., Saravanan, A., Deivayanai, V. C., Anish, M., Jayaprabakar, J., Baigenzhenov, O., & Hosseini-Bandegharai, A. (2023). Agricultural waste biomass for sustainable bioenergy production: Feedstock, characterization and pre-treatment methodologies. *Chemosphere*, 331. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138680>
- Cheikh, K., Boudi, E. M., Rabi, R., & Mokhliss, H. (2026). Multi-component prognostics and maintenance optimization in wind farms using federated learning and hybrid degradation models. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1–19. <https://doi.org/10.1108/JQME-09-2025-0109>

- Chicacausa-Niño, J., Isaza-Ruget, R., & Rosero-García, J. (2026). A Multi-Objective Dispatch Model for Polygeneration Systems with BESS and Industrial Demand Profiles. *Processes*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/pr14060891>
- Du, H., Long, Z., Xian, G., Lu, S., Zhang, S., Liu, S., Teng, Y., Zhang, J., & Wang, H. (2023). By-product of hydrothermal liquefaction: Characterization of biochar and its application in metal-free electrochemical advanced oxidation process of hydrogen peroxide to provide hydroxyl radicals. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(6). <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111302>
- Erdiwansyah, E., Nurman, S., Masyudi, M., Saudah, S., Irhamni, I., & Hidayat, F. (2025). Global Trends in Agricultural Waste-Based Bioplastic Research: A Scientometric Review. *Journal of Human, Earth, and Future*, 6(1), 234–246. <https://doi.org/10.28991/HEF-2025-06-01-015>
- Khan, O., Alsaduni, I., Equbal, A., Parvez, M., & Yadav, A. K. (2024). Performance and emission analysis of biodiesel blends enriched with biohydrogen and biogas in internal combustion engines. *Process Safety and Environmental Protection*, 183, 1013–1037. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.049>
- Lv, Z., Shi, Y., Guo, D., Zhu, Y., Man, H., Zhang, Y., & Zang, S. (2022). High-Resolution Daily Emission Inventory of Biomass Burning in the Amur-Heilong River Basin Based on MODIS Fire Radiative Energy Data. *Remote Sensing*, 14(16). <https://doi.org/10.3390/rs14164087>
- Maciel de Castro, A. P., Braga, M., Viana Araujo, P., Carvalho Nogueira da Gama, R., Saleme Aona de Paula Pereira, A., Silva, T., Silva Henriques, B., Ferreira Lorentz, J., Vilela Avelar, N., & Calijuri, M. L. (2026). Emerging trends in wastewater-grown microalgae: A techno-economic and environmental perspective. *Biomass and Bioenergy*, 208. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2025.108838>
- Mehmood, A., Tahir, M. W., Saeed, M. A., Arshad, M. Y., Hussain, H., Mularski, J., & Niedzwiecki, L. (2023). Optimization of Gasifying Agents in 3D Downdraft Gasification for Enhanced Gas Composition, Combustion, and CO<sub>2</sub> Utilization. *Fire*, 6(9). <https://doi.org/10.3390/fire6090361>
- Pandara, D. P., Pasau, G., Tamuntuan, G. H., Sangian, H. F., Laoh, M. A., Ardiansyah, A., & Tahir, D. (2026). Advancing solar steam generation for seawater desalination: Global research trends, photothermal materials, structural innovations, and future directions. *Desalination*, 618. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.119496>
- Ranjbari, M., Shams Esfandabadi, Z., Shevchenko, T., Scagnelli, S. D., Lam, S. S., Varjani, S., Aghbashlo, M., Pan, J., & Tabatabaei, M. (2022). An inclusive trend study of techno-economic analysis of biofuel supply chains. *Chemosphere*, 309. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136755>
- Santos, M., Nadaleti, W. C., & Przybyla, G. (2025). Olive pomace as a by-product of olive oil extraction for biogas and hydrogen generation in Brazil. *International Journal of Hydrogen Energy*, 157. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.06.070>
- Siregar, Z. H., Hasanah, M., & Agusdiandy, M. D. (2022). Pengaruh Variasi Temperatur Sumber Panas Terhadap Temperatur Udara Dalam Heater Mesin Stirling Effect of Variation in Heat Source Temperature on Air Temperature in Stirling Engine Heater. *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 1(1), 11–16.
- Siregar, Z. H., Nasution, A. F. A. S., Fazri, M., Refiza, R., Puspita, R., Thamrin, H., Nasution, A. F. A. S., Hasanah, M., Agusdiandy, M. D., Siregar, S. L., Effendi, A., Mesin, T., Teknik, F., Asahan, U., Jend, J., Yani, A., Naga, K., Tim, K., & Utara, S. (2021). From the experimental results of briquettes using a portable. *Jurnal Vorteks*, 1(02), 11–16. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v5i2.389>
- Siregar, Z. H., Nasution, A. F., Fazri, M., Refiza, R., Puspita, R., Thamrin, H., & Nasution, A. S. (2024). The Effect of Fuel Mixture Composition on Gasoline. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Industri, Elektro,an Sipil*, 05(02), 394–402. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v5i2.389>
- Slameršak, A., Kallis, G., & O'Neill, D. W. (2022). Energy requirements and carbon emissions for a low-carbon energy transition. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33976-5>
- Suwankamnoed, S., Meksiriporn, B., Sripana, N., & Sutjaritvorakul, T. (2025). PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION AND EFFECTS OF FLY ASH GENERATED FROM BIOCHAR BRIQUETTES ON THE GROWTH OF CHINESE CELERY CABBAGE (*BRASSICA RAPA* SUBSP. *PEKINENSIS*). *Applied Ecology and Environmental Research*, 23(3), 3917–3928. [https://doi.org/10.15666/aeer/2303\\_39173928](https://doi.org/10.15666/aeer/2303_39173928)
- Thanigaivel, S., Vickram, S., Manikandan, S., Deena, S. R., Subbaiya, R., Karmegam, N., Govarthanam, M., & Kim, W. (2022). Sustainability and carbon neutralization trends in microalgae bioenergy production from wastewater treatment: A review. *Bioresource Technology*, 364. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128057>

- 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>
- Unsomsri, N., Koedthong, P., Tawkaew, S., Wiriyasart, S., & Kaewluan, S. (2026). Biofuel production via slow co-pyrolysis of fresh palm fruit bunches and medical waste plastic using a mobile gasifier-burner system. *Thermal Science and Engineering Progress*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2025.104423>
- Wang, Z., Xu, P., Wang, W., Tao, J., Wang, C., Shi, X., Wu, Q., Xu, Y., & Zheng, L. (2025). Free radical-mediated glycerol selective upgrading to dihydroxyacetone over Au/BiVO<sub>4</sub> photoanodes at low bias. *Chemical Engineering Journal*, 522. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.167841>
- Yu, J., Zou, S., Xu, G., Liu, L., Zhao, M., & Li, J. (2022). In-situ enhanced catalytic reforming behavior of cobalt-based materials with inherent zero-valent aluminum in spent lithium ion batteries. *Applied Catalysis B: Environmental*, 303. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120920>
- Zhang, H., Wang, Z., Wang, C., Ding, Y., Shen, Z., & Blancard, S. (2026). Critical material and regional inequality: Material demand under diverging decarbonization pathways in China's power sector. *Resources, Conservation and Recycling*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108542>