

Analisis Biofuel-Bensin Antara Kinerja Emisi dan Ketahanan Material Pada Sistem Pembakaran: Bibliometric Analysis

Putri Bintang Lubis¹, Putri Najiha², Yoddis Pramana³

^{1,2,3}Teknik Industri, Universitas Al Azhar, Medan, Indonesia

putribintang1005@gmail.com

Abstract

This study analyzes global research trends on biofuel–gasoline blends with a focus on emission performance and material durability in combustion systems using a bibliometric approach. Publication data were retrieved from the Scopus database for the period 2022–2026, comprising 1,746 English-language journal articles in the engineering field. Bibliometric mapping was conducted using VOSviewer to examine publication growth, keyword co-occurrence, and co-authorship networks. The results indicate a consistent increase in publications from 2022 to 2025, reflecting growing scientific attention to emission reduction and sustainable fuel technologies. The thematic analysis identified four dominant research clusters, with biofuel, carbon dioxide, and life cycle assessment emerging as central themes. This study contributes by providing an integrated intellectual map linking emission performance and material durability, which are often examined separately in previous studies.

Keywords: Biofuel–Gasoline, Emission Performance, Material Durability, Combustion System, Bibliometric Analysis

Abstrak

Penelitian ini menganalisis tren riset global mengenai campuran biofuel–bensin dengan fokus pada kinerja emisi dan ketahanan material dalam sistem pembakaran menggunakan pendekatan bibliometrik. Data publikasi diperoleh dari basis data Scopus periode 2022–2026 yang mencakup 1.746 artikel jurnal berbahasa Inggris di bidang teknik. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk memetakan pertumbuhan publikasi, keterkaitan kata kunci, dan jaringan kolaborasi penulis. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan publikasi yang konsisten dari tahun 2022 hingga 2025, yang mencerminkan meningkatnya perhatian ilmiah terhadap pengurangan emisi dan keberlanjutan energi. Kontribusi utama penelitian ini adalah penyajian peta bibliometrik terintegrasi yang menghubungkan kinerja emisi dan ketahanan material.

Kata Kunci: Biofuel–Bensin, Kinerja Emisi, Ketahanan Material, Sistem Pembakaran, Analisis Bibliometrik

1. PENDAHULUAN

Krisis energi global yang disertai dengan peningkatan emisi gas rumah kaca telah mendorong berbagai negara untuk mengembangkan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan[1]. Biofuel, sebagai bahan bakar yang berasal dari biomassa terbarukan, menjadi salah satu solusi yang banyak dikaji karena potensinya dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil serta menekan emisi gas buang pada sistem pembakaran mesin. Penggunaan biofuel sebagai campuran bensin dilaporkan mampu memperbaiki karakteristik emisi, khususnya dalam menurunkan emisi karbon monoksida dan hidrokarbon yang berbahaya bagi lingkungan[2].

Namun demikian, pemanfaatan campuran biofuel–bensin tidak hanya berdampak pada kinerja emisi, tetapi juga memengaruhi ketahanan material pada sistem pembakaran[3], [4]. Perbedaan sifat fisika dan kimia antara biofuel dan bensin, seperti kandungan oksigen yang lebih tinggi dan sifat higroskopis biofuel, berpotensi meningkatkan risiko degradasi material, termasuk korosi logam, oksidasi, serta penurunan ketahanan material polimer pada komponen mesin. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi biofuel dalam sistem pembakaran tidak dapat ditinjau hanya dari aspek penurunan emisi, tetapi juga harus mempertimbangkan keandalan dan umur pakai material mesin[5], [6].

Seiring dengan meningkatnya perhatian global terhadap transisi energi bersih, jumlah publikasi ilmiah yang membahas campuran biofuel–bensin menunjukkan tren peningkatan yang signifikan[7]. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji performa mesin, karakteristik pembakaran, serta dampak emisi dan material secara eksperimental maupun simulatif. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada satu aspek secara terpisah, yaitu kinerja emisi atau ketahanan material, sehingga belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan riset global yang mengintegrasikan kedua aspek tersebut secara simultan dan sistematis[8].

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana perkembangan tren penelitian global mengenai campuran biofuel–bensin yang mengkaji keterkaitan antara kinerja emisi dan ketahanan material dalam sistem pembakaran[9]. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis tren publikasi ilmiah, mengidentifikasi tema penelitian dominan, serta memetakan pola kolaborasi penulis dalam kajian biofuel–bensin melalui pendekatan analisis bibliometrik berbasis data Scopus. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai arah perkembangan riset biofuel–bensin serta menjadi dasar dalam pengembangan penelitian lanjutan dan perumusan kebijakan energi berkelanjutan[10].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis bibliometrik untuk mengkaji perkembangan penelitian mengenai campuran biofuel–bensin (biofuel–gasoline blend) dalam konteks kinerja emisi dan ketahanan material pada sistem pembakaran. Pendekatan bibliometrik dipilih karena mampu memberikan gambaran kuantitatif terhadap lanskap penelitian, termasuk tren publikasi, pola kolaborasi ilmiah, serta tema utama yang muncul dalam literatur terkini[11], [12].

2.2. Sumber dan Pengumpulan Data

Data bibliometrik diperoleh dari basis data Scopus, yang dikenal sebagai salah satu sumber indeksasi ilmiah paling komprehensif di dunia. Proses pengambilan data dilakukan pada bulan *Januari 2026* dengan menggunakan kombinasi kata kunci: "biofuel" AND "gasoline" AND ("emission" OR "material durability" OR "combustion system").

Untuk memastikan relevansi dan kualitas data, diterapkan beberapa batasan pencarian (search filters) sebagai berikut:

- a) Rentang tahun publikasi: 2022–2026
- b) Subject area: *Engineering* dan *Environmental Science*
- c) Jenis dokumen: *Article*

d) Bahasa publikasi: *English*

Setelah filter diterapkan, diperoleh 1.746 dokumen yang memenuhi kriteria pencarian. Semua metadata publikasi termasuk judul, nama penulis, afiliasi, tahun terbit, kata kunci, sumber jurnal, dan jumlah sitasi, diekspor dari Scopus dalam format CSV untuk dianalisis lebih lanjut.

2.3. Analisis Data

Data hasil ekstraksi diolah menggunakan perangkat lunak VOSviewer (versi terbaru) yang dikembangkan oleh *Centre for Science and Technology Studies (CWTS)*, Leiden University, Belanda. Proses analisis dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pembersihan Data (*Data Cleaning*) – Penghapusan duplikasi dan penyeragaman istilah sinonim pada kata kunci dan nama penulis.
2. Analisis Jaringan (*Network Analysis*) – Meliputi tiga dimensi utama:
 - a) *Co-authorship Analysis* → untuk mengidentifikasi kolaborasi antarpengarang dan institusi.
 - b) *Co-occurrence Keyword Analysis* → untuk menentukan tema dominan dan hubungan antar topik.
 - c) *Citation and Co-citation Analysis* → untuk mengidentifikasi sumber dan jurnal paling berpengaruh.
3. Visualisasi Peta Pengetahuan (*Knowledge Mapping*) – Hasil analisis divisualisasikan dalam bentuk *network visualization*, *density visualization*, dan *overlay visualization* untuk menggambarkan intensitas riset dan evolusi topik penelitian dari waktu ke waktu.
4. Validitas dan Replikasi

Untuk menjamin validitas dan reliabilitas hasil, seluruh prosedur pengumpulan dan analisis data dilakukan secara transparan dan terdokumentasi. Peneliti lain dapat mereplikasi studi ini dengan menggunakan kata kunci, rentang waktu, dan filter pencarian yang sama pada basis data Scopus. Selain itu, hasil visualisasi dari VOSviewer diverifikasi secara manual guna memastikan tidak terjadi kesalahan klasifikasi atau bias interpretasi dalam proses pengelompokan data[13].

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis bibliometrik terhadap publikasi yang terindeks dalam basis data Scopus pada periode 2022–2026 menunjukkan adanya peningkatan jumlah publikasi penelitian terkait campuran biofuel–bensin, khususnya pada periode 2022 hingga 2025. Tren peningkatan ini mencerminkan meningkatnya perhatian komunitas ilmiah global terhadap pengembangan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penurunan jumlah publikasi pada tahun 2026 tidak menunjukkan penurunan minat riset, melainkan lebih disebabkan oleh keterbatasan data publikasi pada tahun berjalan yang belum sepenuhnya terindeks dalam basis data[14].

Secara ilmiah, tren peningkatan publikasi tersebut menandakan bahwa kajian biofuel–bensin telah berkembang dari penelitian yang bersifat eksploratif menuju pendekatan yang lebih matang dan terintegrasi. Fokus penelitian tidak lagi terbatas pada evaluasi performa mesin atau penurunan emisi gas buang semata, tetapi juga mencakup aspek keberlanjutan material dan dampak jangka panjang terhadap sistem pembakaran. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kinerja emisi dan ketahanan material semakin dipandang sebagai faktor kunci dalam pengembangan teknologi mesin pembakaran internal berbasis bahan bakar alternatif[15].

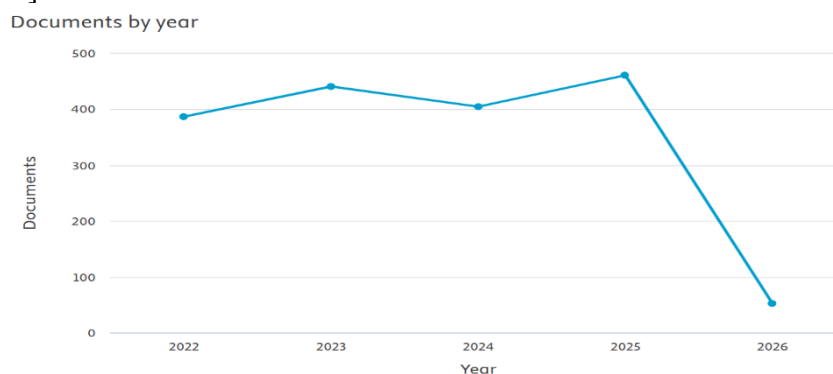
Temuan ini memiliki implikasi penting terhadap desain mesin pembakaran. Karakteristik fisika dan kimia biofuel yang berbeda dari bensin konvensional, seperti kandungan oksigen yang lebih tinggi dan nilai kalor yang berbeda, menuntut penyesuaian desain mesin agar proses pembakaran tetap optimal[16]. Desain mesin yang adaptif terhadap variasi campuran biofuel–bensin, melalui optimasi rasio kompresi, sistem injeksi, dan strategi pengapian, menjadi semakin relevan. Dengan desain yang tepat, mesin diharapkan mampu mempertahankan efisiensi termal sekaligus menekan pembentukan emisi berbahaya[16], [17].

Selain aspek desain mesin, hasil penelitian ini juga menegaskan pentingnya ketahanan material pada sistem pembakaran. Sifat higroskopis dan reaktivitas kimia biofuel berpotensi mempercepat terjadinya korosi, oksidasi, dan degradasi material pada komponen mesin[18]. Oleh karena itu, meningkatnya fokus penelitian pada topik ini mengimplikasikan perlunya pengembangan material yang lebih tahan terhadap lingkungan pembakaran berbasis biofuel. Upaya tersebut meliputi pemilihan material logam yang lebih resisten, penerapan pelapis pelindung, serta rekayasa permukaan komponen untuk meningkatkan umur pakai dan keandalan sistem pembakaran[19].

Dari perspektif kebijakan energi, tren peningkatan publikasi dan intensitas kolaborasi ilmiah internasional mencerminkan dukungan global terhadap transisi menuju energi bersih[20]. Temuan ini menunjukkan bahwa kebijakan energi yang efektif tidak hanya perlu mendorong penggunaan bahan bakar rendah emisi, tetapi juga harus mempertimbangkan kesiapan teknologi mesin dan material pendukungnya. Kebijakan yang selaras dengan hasil riset ilmiah diharapkan dapat mendorong pengembangan teknologi biofuel–bensin yang aman, efisien, dan berkelanjutan, sekaligus mendukung pencapaian target pengurangan emisi dan ketahanan energi nasional[21].

3.1. Tren Publikasi Penelitian Biofuel–Bensin Berdasarkan Tahun

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa jumlah publikasi menunjukkan fluktuasi moderat sepanjang periode penelitian. Pada tahun 2022, jumlah publikasi tercatat sekitar 390 dokumen, kemudian meningkat menjadi sekitar 450 dokumen pada tahun 2023, menandakan tingginya minat penelitian pada fase awal pengembangan biofuel generasi terbaru. Tahun 2024 mengalami sedikit penurunan menjadi sekitar 405 dokumen, namun kembali meningkat pada 2025 hingga mencapai puncak sekitar 470 dokumen[22].



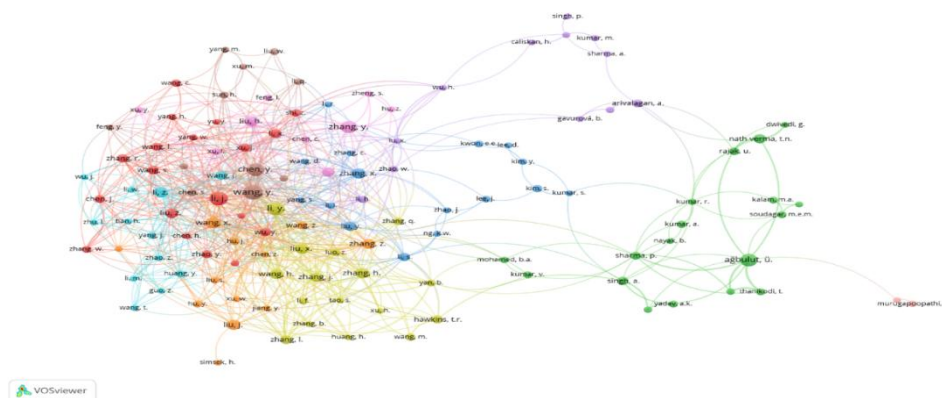
Gambar 1. Tren jumlah publikasi per tahun – Scopus 2022–2026

Menariknya, terjadi penurunan tajam pada tahun 2026 hingga sekitar 50 dokumen. Penurunan tersebut dapat diinterpretasikan sebagai akibat dari belum lengkapnya data publikasi tahun berjalan (data masih parsial), karena sebagian besar artikel tahun 2026 masih dalam proses publikasi atau indeksasi di Scopus. Fenomena ini lazim ditemukan dalam studi bibliometrik yang melibatkan tahun terakhir dalam rentang waktu analisis[23].

Secara keseluruhan, tren publikasi ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai biofuel–bensin dan dampaknya terhadap emisi serta ketahanan material mengalami peningkatan yang stabil antara 2022–2025. Hal ini mencerminkan besarnya perhatian komunitas ilmiah terhadap isu efisiensi energi, mitigasi emisi karbon, serta dampak biofuel terhadap sistem material pada mesin pembakaran internal[24].

3.2. Analisis Kolaborasi Penulis

Gambar 2 menunjukkan peta kolaborasi penulis yang dihasilkan menggunakan VOSviewer berdasarkan data bibliometrik dari 1.746 dokumen Scopus dalam rentang tahun 2022–2026.



Gambar 2. Peta Kolaborasi Penulis – Data Scopus 2022–2026

Setiap simpul (node) merepresentasikan seorang penulis, sedangkan ukuran node menunjukkan jumlah publikasi dan tingkat sitasi. Warna yang berbeda menandakan kelompok kolaborasi (cluster) yang terbentuk berdasarkan keterkaitan penulis dalam bidang penelitian yang sama.

Terlihat bahwa terdapat beberapa cluster utama:

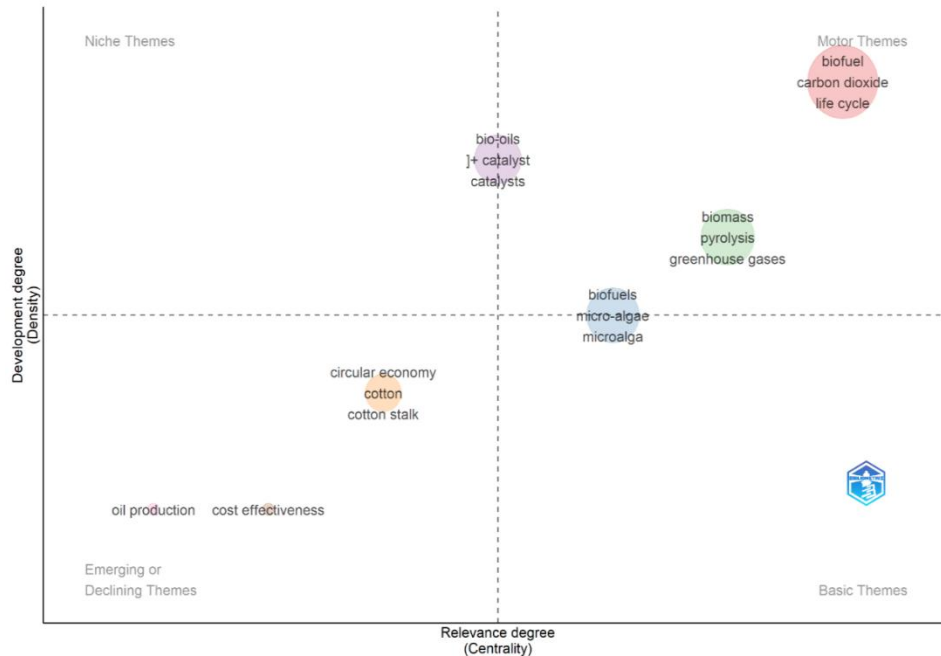
1. Cluster merah didominasi oleh peneliti seperti *Wang*, *Li*, *Zhang*, dan *Liu*, yang banyak meneliti reaksi pembakaran campuran biofuel–bensin dan stabilitas termal material.
2. Cluster hijau (misalnya *Sharma*, *Kumar*, *Kalam*, dan *Soudagar*) berfokus pada efisiensi mesin dan pengurangan emisi karbon dalam konteks penerapan biofuel pada mesin pembakaran internal.
3. Cluster ungu dan biru terdiri dari peneliti seperti *Kim*, *Lee*, dan *Kwon*, yang lebih menekankan analisis performa dan karakterisasi biofuel berbasis biomassa mikroalga.

Keterkaitan antar cluster menunjukkan adanya kolaborasi lintas negara antara peneliti dari Asia Timur (terutama Tiongkok) dan Asia Selatan (India dan Pakistan). Ini menandakan bahwa penelitian biofuel–bensin memiliki jejaring ilmiah internasional

yang aktif, dengan kolaborasi kuat dalam topik efisiensi energi dan ketahanan material mesin[25].

3.3. Analisis Peta Tematik (Thematic Map)

Peta tematik pada Gambar 3 dihasilkan dari analisis *keyword co-occurrence* menggunakan biblioshiny (R Studio).



Gambar 3. Peta Tematik Penelitian Biofuel–Bensin (Scopus 2022–2026)

Grafik ini membagi topik penelitian ke dalam empat kuadran berdasarkan dua parameter:

1. Density (Tingkat Pengembangan) → menunjukkan seberapa dalam topik telah dikaji
2. Centrality (Tingkat Keterkaitan) → menunjukkan seberapa penting topik tersebut dalam struktur ilmu.

Interpretasi kuadran menunjukkan:

1. Motor Themes (Kanan atas):
Topik seperti biofuel, carbon dioxide, dan life cycle termasuk dalam tema penggerak utama. Tema ini menunjukkan arah dominan penelitian global yang berfokus pada analisis siklus hidup biofuel dan dampaknya terhadap emisi karbon.
2. Basic Themes (Kanan bawah):
Topik seperti biomass, pyrolysis, dan greenhouse gases merupakan tema dasar yang membentuk fondasi riset biofuel, khususnya dalam pengolahan biomassa dan konversi energi.
3. Niche Themes (Kiri atas):
Topik bio-oils dan catalysts menunjukkan area yang spesifik dan terfokus, dengan potensi pengembangan lebih lanjut di bidang reaksi katalitik dan optimasi bahan bakar alternatif.
4. Emerging or Declining Themes (Kiri bawah):
Topik seperti oil production dan cost effectiveness menunjukkan area yang sedang berkembang atau menurun.

Topik seperti oil production dan cost effectiveness menunjukkan area yang sedang berkembang atau mulai menurun, yang bisa menjadi peluang riset baru terkait analisis ekonomi produksi biofuel.

Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa fokus riset global terkini berada pada biofuel dan emisi karbon, sementara tema baru yang potensial adalah sirkular ekonomi dan efisiensi biaya produksi biofuel.

3.4. Implikasi Penelitian

Tren peningkatan publikasi dari tahun 2022 hingga 2025 menunjukkan bahwa topik biofuel–bensin semakin menjadi fokus utama dalam bidang *engineering* dan *environmental science*. Hal ini menegaskan pentingnya penelitian terkait efisiensi emisi dan ketahanan material sebagai bagian dari upaya global menuju energi bersih dan berkelanjutan[26].

Secara akademik, hasil ini memberikan peta arah riset yang berguna bagi peneliti untuk mengidentifikasi *research gap*, terutama dalam kajian gabungan antara kinerja pembakaran dan degradasi material.

Secara praktis, tren ini mencerminkan meningkatnya dukungan industri dan kebijakan energi hijau, mendorong kolaborasi antara akademisi dan sektor industri untuk mengembangkan bahan bakar ramah lingkungan dengan ketahanan material yang lebih baik.

Penurunan tajam pada tahun 2026 kemungkinan disebabkan oleh data publikasi yang belum lengkap, bukan penurunan minat riset, sehingga perlu pembaruan data pada periode berikutnya untuk validasi tren.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berkontribusi dalam menyajikan pemetaan bibliometrik yang komprehensif mengenai perkembangan riset global campuran biofuel–bensin dengan menekankan keterkaitan antara kinerja emisi dan ketahanan material pada sistem pembakaran, dua aspek krusial yang sebelumnya kerap dianalisis secara terpisah. Hasil analisis menunjukkan adanya peningkatan signifikan jumlah publikasi hingga tahun 2025 dengan dominasi tema biofuel, emisi karbon, dan analisis daur hidup, yang mencerminkan pergeseran paradigma penelitian menuju pendekatan yang lebih terintegrasi dan berorientasi keberlanjutan. Secara praktis, temuan ini memberikan implikasi penting bagi pengembangan teknologi mesin pembakaran dan pemilihan material yang lebih adaptif terhadap karakteristik biofuel guna menjamin efisiensi operasional, keandalan, serta umur pakai sistem. Selanjutnya, penelitian mendatang direkomendasikan untuk mengombinasikan analisis bibliometrik dengan kajian eksperimental atau simulasi, memperluas cakupan basis data literatur, serta mengeksplorasi keterkaitan antara hasil riset akademik dan implementasi kebijakan energi guna mendukung penerapan biofuel–bensin secara aman dan berkelanjutan.

5. REFERENSI

- [1] Y. Sun, J. Li, S. Luo, Y. Liu, R. D. Tyagi, And X. Zhang, “Direct Carbon Recovery From Raw Wastewater For Bioenergy Production By Anaerobic Digestion,” *Bioresour. Technol.*, Vol. 442, 2026, Doi: 10.1016/J.Biortech.2025.133696.
- [2] S. Dey, S. Banerjee, And R. Banerjee, “Biotransformation Of Cotton Stalk To Bioethanol By An Environmentally Benign Enzymatic Route,” *Biomass And*

- Bioenergy*, Vol. 208, 2026, Doi: 10.1016/J.Biombioe.2025.108802.
- [3] Y. Tang, Y. Jiang, Y. Hu, And Y. Cheng, “Carbon Emission Reduction Potential Analysis Of Biodiesel Production From Microalgae And Waste Cooking Oil Under Different Sps Scenarios In China-Based On Gra-Cnn-Bilstm Modeling,” *Renew. Energy*, Vol. 258, 2026, Doi: 10.1016/J.Renene.2025.125006.
 - [4] J. Simamora And Z. H. Siregar, “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,” Vol. 4, No. 1, Pp. 136–146, 2025.
 - [5] R. Muzyka, “Application Of Py-Gc-Ms For Monitoring Polymer Waste In Commercially Available Solid Biofuels,” *Biomass And Bioenergy*, Vol. 199, 2025, Doi: 10.1016/J.Biombioe.2025.107907.
 - [6] Z. H. Siregar And S. V-Power, “Analysis Of Yamaha Scorpio Engine Performance With Variation Of Ethanol Fuel And Shell V Power,” Vol. 2, No. 4, Pp. 135–144, 2023.
 - [7] M. Yang *Et Al.*, “In Situ Hydrodeoxygenation Of Heavy Bio-Oil Using A Ce/Fe-Based Oxygen Carrier In Methanol-Zero Valent Aluminum Media,” *Chemosphere*, Vol. 352, 2024, Doi: 10.1016/J.Chemosphere.2024.141338.
 - [8] Y. Li And T. Kobayashi, “Impacts Of Biochar Addition On Anaerobic Digestion Of Food Waste With Hydrogen,” *Bioresour. Technol.*, Vol. 438, 2025, Doi: 10.1016/J.Biortech.2025.133245.
 - [9] D. A. Munar-Florez *Et Al.*, “Decarbonizing Aviation: The Low-Carbon Footprint And Strategic Potential Of Colombian Palm Oil For Sustainable Aviation Fuel,” *Energies*, Vol. 18, No. 18, 2025, Doi: 10.3390/En18184978.
 - [10] 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.
 - [11] N. Su And Z. Wang, “Visual Analysis Of Global Carbon Mitigation Research Based On Scientific Knowledge Graphs,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, Vol. 19, No. 9, 2022, Doi: 10.3390/Ijerph19095766.
 - [12] E. D. A. N. Sipil, Z. H. Siregar, A. F. Nasution, M. Fazri, And R. Puspita, “The Effect Of Fuel Mixture Composition On Gasoline,” *J. Vor.*, Vol. 05, No. 02, Pp. 394–402, 2024, Doi: 10.54123/Vorteks.V5i2.389.
 - [13] L. D. López-Itas, D. Gómez-Ríos, And H. Ramirez-Malule, “Sustainable Aviation Fuels: Bibliometric Trends And Latin American Opportunities From A Chemical Engineering Perspective,” *Biomass (Switzerland)*, Vol. 5, No. 4, 2025, Doi: 10.3390/Biomass5040082.
 - [14] L. Á. Castillo-Gracia, N. A. Urbina-Suárez, And Á. D. González-Delgado, “Bibliometric And Co-Occurrence Study Of The Production Of Bioethanol And Hydrogen From African Palm Rachis (2003–2023),” *Sustain.*, Vol. 17, No. 1, 2025, Doi: 10.3390/Su17010146.
 - [15] G. Contreras-Zarazúa, M. P. Hinojosa-Esquivel, C. Ramírez-Márquez, V. A. Suárez-Toriello, J. J. Quiroz-Ramírez, And J. A De Los Reyes-Heredia, “Design, Techno-Economic, Environmental And Safety Assessment Of A Novel Furans To Jet Fuel Process,” *Energy*, Vol. 339, 2025, Doi: 10.1016/J.Energy.2025.138994.

- [16] J. O. F. Mechanical, "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.
- [17] J. J. Eckert, F. L. Silva, S. F. Da Silva, A. V Bueno, M. L. M. De Oliveira, And L. C. A. Silva, "Optimal Design And Power Management Control Of Hybrid Biofuel–Electric Powertrain," *Appl. Energy*, Vol. 325, 2022, Doi: 10.1016/J.Apenergy.2022.119903.
- [18] A. Loyte *Et Al.*, "Influence Of Injection Strategies On Ignition Patterns Of Rcci Combustion Engine Fuelled With Hydrogen Enriched Natural Gas," *Environ. Res.*, Vol. 234, 2023, Doi: 10.1016/J.Envres.2023.116537.
- [19] M. Ávila, S. Verbrugge, I. Bellemans, And K. Verbeken, "Economic And Environmental Analysis Of Coking Coal And Solid Recovered Fuels Supply To European Steelmaking Plants," *J. Environ. Manage.*, Vol. 393, 2025, Doi: 10.1016/J.Jenvman.2025.127158.
- [20] A. Agostini, M. Buffi, O. Hurtig, C. Carbone, F. Zanoni, And G. Monteleone, "Techno-Economic Evaluation Of Ghg Emissions Mitigation Of Biomethane Upgrading Technologies," *J. Environ. Manage.*, Vol. 364, 2024, Doi: 10.1016/J.Jenvman.2024.121459.
- [21] S. Jiang *Et Al.*, "Winter-Autumn Air Pollution Control Plan In North China Modified The Pm2.5 Compositions And Sources In Central China," *Atmos. Environ.*, Vol. 306, 2023, Doi: 10.1016/J.Atmosenv.2023.119827.
- [22] G. M. Pereira *Et Al.*, "Emission Factors For A Biofuel Impacted Fleet In South America's Largest Metropolitan Area," *Environ. Pollut.*, Vol. 331, 2023, Doi: 10.1016/J.Envpol.2023.121826.
- [23] A. D. Seboka, J. Morken, M. S. Adaramola, G. A. Ewunie, And L. Feng, "Optimization Of Briquetting Parameters And Their Effects On Thermochemical Fuel Properties Of Biowaste Briquettes," *Bioresour. Technol.*, Vol. 439, 2026, Doi: 10.1016/J.Biortech.2025.133277.
- [24] G. Pasini, F. Bollentini, F. Tocchi, And L. Ferrari, "Assessing The Potential Of Hybrid Systems With Batteries, Fuel Cells And E-Fuels For Onboard Generation And Propulsion In Pleasure Vessels," *Energies*, Vol. 17, No. 24, 2024, Doi: 10.3390/En17246416.
- [25] S. Wang, X. Li, R. Dong, W. Xiong, Y. Li, And Y. Zhu, "Integration Of In-Situ And Ex-Situ Power-To-Gas (Ptg) Strategy For Simultaneous Bio-Natural Gas Production And Co2 Emission Reduction," *Chemosphere*, Vol. 344, 2023, Doi: 10.1016/J.Chemosphere.2023.140370.
- [26] J. Chang *Et Al.*, "A Comprehensive Review Of Biomass Utilization For Sustainable Biofuel And Biocomponent Development," *Biomass And Bioenergy*, Vol. 202, 2025, Doi: 10.1016/J.Biombioe.2025.108167.