

Pemetaan Tren Penelitian Dalam Analisis Ilmu Material Untuk Pengendalian Emisi Otomotif: Sebuah Studi Bibliometrik Global

Bintang¹, Tasya Dewi Mutiara², Ryu Arfan Setiawan³

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

bintang17605@gmail.com

Abstract

This study maps the development and research trends in material science for automotive emission control through bibliometric analysis. Data were obtained from the Scopus database, consisting of 413 documents published between 2021 and 2026, limited to the Materials Science subject area and English-language publications. The analysis employed VOSviewer software to identify collaboration patterns, keyword distributions, and major research themes. Results indicate that research is dominated by topics such as automotive industry, emission control, greenhouse gases, and life cycle assessment. The publication trend remains stable with growing emphasis on sustainability and energy efficiency. This study provides novel insights by revealing the multidisciplinary structure of material science research in emission control, identifying emerging research gaps, and establishing a comprehensive knowledge map that bridges materials engineering, environmental science, and automotive technology for future sustainable innovations.

Keywords: *Automotive emission materials, catalytic materials, energy efficiency, emission bibliometrics, VOSviewer*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan memetakan perkembangan dan tren penelitian dalam bidang ilmu material untuk pengendalian emisi otomotif melalui pendekatan analisis bibliometrik. Data diperoleh dari basis data Scopus dengan total 413 dokumen yang dipublikasikan pada periode 2021–2026, terbatas pada bidang Materials Science dan berbahasa Inggris. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer untuk mengidentifikasi pola kolaborasi, distribusi kata kunci, dan tema utama dalam publikasi ilmiah. Hasil menunjukkan bahwa penelitian didominasi oleh topik automotive industry, emission control, greenhouse gases, dan life cycle assessment. Tren publikasi menunjukkan kestabilan dengan fokus yang meningkat pada keberlanjutan dan efisiensi energi. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengungkapan struktur multidisipliner riset ilmu material dalam pengendalian emisi, identifikasi celah penelitian yang muncul, serta pembentukan peta pengetahuan komprehensif yang menjembatani rekayasa material, ilmu lingkungan, dan teknologi otomotif untuk inovasi berkelanjutan di masa depan.

Kata Kunci: Material emisi otomotif, material katalitik, efisiensi energi, bibliometrik emisi, VOSviewer

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan signifikan jumlah kendaraan bermotor selama dua dekade terakhir telah berkontribusi besar terhadap penurunan kualitas udara di berbagai kawasan global. Emisi gas buang hasil pembakaran bahan bakar fosil, termasuk karbon monoksida (CO),

nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan partikel halus (PM), menimbulkan dampak serius terhadap kesehatan publik dan percepatan perubahan iklim global[1]. Kesadaran yang meningkat terhadap permasalahan lingkungan dan transisi menuju sumber energi berkelanjutan mendorong pengendalian emisi otomotif menjadi prioritas utama dalam pengembangan teknologi transportasi kontemporer[2], [3].

Dalam hal ini, ilmu material memainkan peran krusial dalam mendukung pengembangan teknologi mitigasi emisi. Inovasi material seperti katalis berbasis logam mulia, struktur keramik berpori, lapisan protektif oksida, dan nanomaterial terbukti efektif meningkatkan efisiensi konversi emisi serta memperpanjang durabilitas komponen otomotif[4]. Material yang dirancang khusus untuk ketahanan terhadap temperatur ekstrem dan lingkungan korosif pada sistem eksos menjadi faktor kunci dalam optimalisasi kinerja sistem kontrol emisi[5].

Berbagai studi eksperimental dan simulasi komputasional telah dilakukan untuk mengembangkan material inovatif yang mampu mereduksi emisi tanpa mengurangi performa mesin. Namun, sebagian besar penelitian masih tersegmentasi dan berfokus pada aspek teknis spesifik[6], [7]. Belum terdapat kajian komprehensif yang memetakan secara sistematis kontribusi perkembangan riset ilmu material terhadap inovasi pengendalian emisi otomotif dalam skala global. Celah penelitian ini mengindikasikan kebutuhan akan pendekatan bibliometrik yang mampu memberikan gambaran menyeluruh tentang tren publikasi, jaringan kolaborasi, dan tema penelitian dominan[8].

Analisis bibliometrik merupakan pendekatan efektif untuk mengevaluasi dinamika dan trajektori perkembangan ilmu pengetahuan berdasarkan data publikasi ilmiah. Melalui analisis ini, pola relasi antarpengarang, institusi, negara, dan kata kunci penelitian dapat diidentifikasi secara kuantitatif dan visual[9]. Pendekatan ini memberikan nilai tambah karena memungkinkan pemahaman struktur intelektual sekaligus mengungkap tren riset yang sedang berkembang[10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan memetakan tren penelitian global dalam bidang ilmu material yang berfokus pada pengendalian emisi otomotif [9]. Analisis dilakukan menggunakan basis data Scopus dan divisualisasikan melalui VOSviewer untuk mengidentifikasi hubungan tematik, kolaborasi ilmiah, serta perkembangan riset dari tahun 2021 hingga 2026. Hasil penelitian diharapkan memberikan wawasan strategis bagi pengembangan teknologi material berkelanjutan serta menjadi landasan bagi peneliti dan industri dalam merumuskan arah penelitian masa depan di bidang pengendalian emisi otomotif[11], [12].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode bibliometrik untuk memetakan evolusi penelitian ilmu material terkait pengendalian emisi otomotif. Pendekatan bibliometrik dipilih karena mampu memberikan gambaran komprehensif tentang tren, arah perkembangan, dan pola kolaborasi ilmiah berdasarkan publikasi terindeks internasional[13]. Metode ini memfasilitasi identifikasi topik penelitian dominan, area berkembang signifikan, serta kesenjangan riset yang terbuka untuk eksplorasi[14].

Sumber data berasal dari basis data Scopus (Elsevier) yang memiliki cakupan literatur luas, metadata lengkap, dan kredibilitas tinggi di kalangan akademik. Pengumpulan data dilakukan pada Desember 2025 menggunakan kombinasi kata kunci "material science", "advanced materials", "catalyst", "nanomaterials" yang digabungkan

dengan "automotive emission", "engine exhaust", dan "emission control"[1]. Pencarian dilakukan pada kolom Title, Abstract, dan Keywords untuk memastikan relevansi, dibatasi pada publikasi berbahasa Inggris, jenis dokumen artikel ilmiah, bidang Materials Science, dengan rentang waktu 2021–2026. Berdasarkan kriteria ini, diperoleh 413 dokumen relevan yang diunduh dalam format CSV[15].

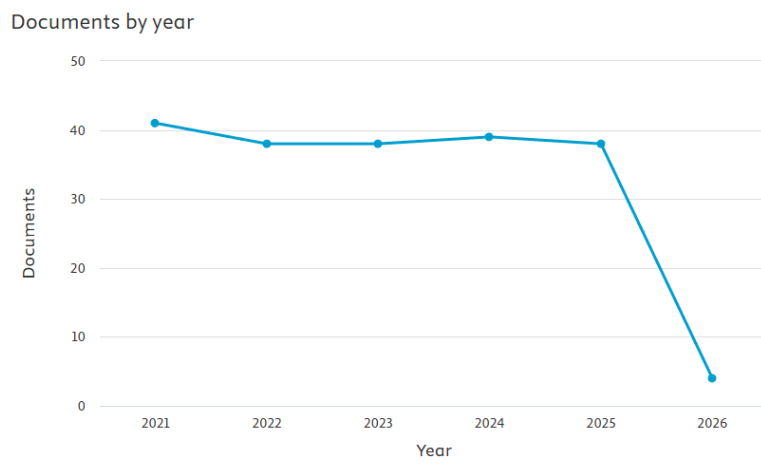
Pengolahan data dimulai dengan pembersihan untuk menghapus duplikasi dan verifikasi relevansi topik. Normalisasi kata kunci dilakukan untuk menyamakan istilah serupa seperti "vehicle emission" dan "automotive emission" guna menghindari redundansi. Analisis menggunakan VOSviewer versi 1.6.20 untuk menghasilkan visualisasi jaringan ilmiah meliputi co-authorship, co-occurrence, citation, dan co-citation analysis[16]. Hasil divisualisasikan dalam network visualization, overlay visualization, dan density visualization untuk memahami hubungan antarelemen ilmiah, distribusi temporal, dan kepadatan tema penelitian aktif. Data bersifat sekunder dari sumber terbuka dan tidak memerlukan persetujuan etik[17].

Penelitian ini bertujuan menghasilkan pemetaan ilmiah global mengenai perkembangan riset ilmu material dalam pengendalian emisi otomotif periode 2021–2026[18]. Melalui analisis bibliometrik berbasis Scopus dan pemetaan jaringan VOSviewer, penelitian diharapkan memberikan kontribusi dalam memahami arah riset terkini, mengidentifikasi topik strategis berkembang, serta menemukan peluang riset baru yang mendukung pengembangan material berkelanjutan untuk teknologi otomotif ramah lingkungan[16].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tren Publikasi Berdasarkan Tahun

Gambar 1 memperlihatkan distribusi jumlah publikasi terkait ilmu material dan pengendalian emisi otomotif selama periode 2021–2026 berdasarkan data Scopus. Jumlah publikasi menunjukkan kestabilan pada periode 2021–2025 dengan kisaran 38–41 dokumen per tahun, mengindikasikan bahwa topik ini telah menjadi bidang penelitian yang konsisten mendapat perhatian dari komunitas ilmiah global.

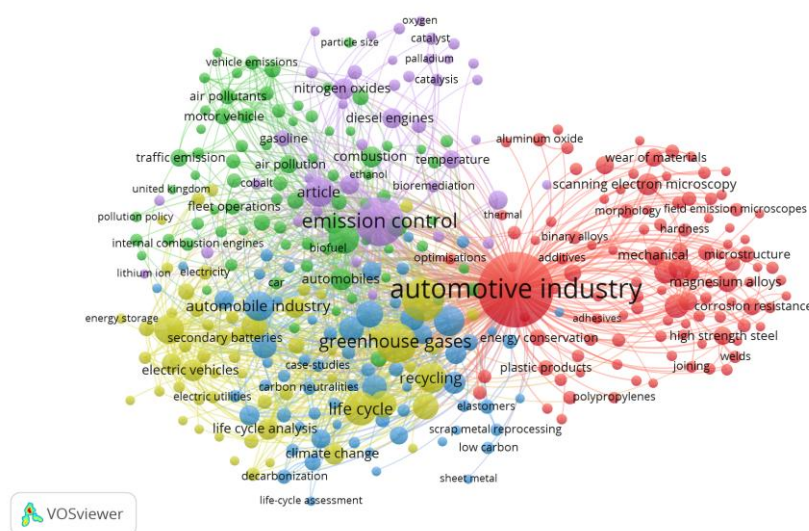


Gambar 1. Tren jumlah dokumen publikasi dalam bidang ilmu material untuk pengendalian emisi otomotif tahun 2021–2026

Penurunan tajam pada tahun 2026 dengan hanya delapan dokumen kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan waktu pengindeksan pada tahun berjalan. Tren tahun-tahun sebelumnya menunjukkan ketertarikan berkelanjutan terhadap material science dalam konteks emisi otomotif[19]. Implikasi bagi riset material mencakup kebutuhan material inovatif yang mampu meningkatkan efisiensi konversi katalitik, mengurangi bobot kendaraan untuk efisiensi bahan bakar, dan meningkatkan durabilitas komponen pada kondisi operasi ekstrem. Makna bagi teknologi otomotif adalah percepatan adopsi material maju seperti nanokatalis, komposit ringan, dan paduan tahan temperatur tinggi yang berkontribusi langsung terhadap pengurangan emisi dan peningkatan performa kendaraan. Kestabilan publikasi mengindikasikan bahwa riset material untuk emisi otomotif telah mencapai fase maturitas dengan fokus penelitian yang semakin terarah pada solusi praktis dan implementasi industri[20].

3.2. Peta Visualisasi Kata Kunci (Keyword Co-Occurrence)

Gambar 2 menunjukkan peta visualisasi hasil analisis co-occurrence kata kunci menggunakan VOSviewer, yang menggambarkan keterhubungan antar topik penelitian berdasarkan frekuensi kemunculan bersama dalam 413 artikel.



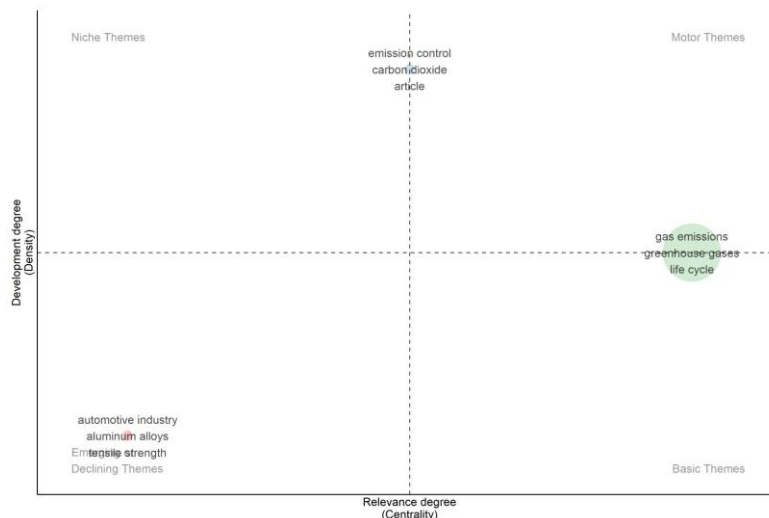
Gambar 2. Peta visualisasi kata kunci penelitian ilmu material dan emisi otomotif menggunakan VOSviewer

Setiap warna menunjukkan kelompok (cluster) tema penelitian yang saling berhubungan. Ditemukan empat kelompok utama: Cluster merah berfokus pada "automotive industry", "mechanical properties", "microstructure", dan "magnesium alloys", menyoroti aspek rekayasa dan karakterisasi material komponen kendaraan. Cluster hijau berpusat pada "emission control", "biofuel", "diesel engines", dan "air pollution", menggambarkan penelitian teknologi pengendalian emisi dan bahan bakar alternatif. Cluster kuning memuat "greenhouse gases", "life cycle analysis", dan "climate change", menandakan pendekatan lingkungan dan keberlanjutan. Cluster ungu mencakup "nitrogen oxides", "catalysis", dan "combustion", berhubungan dengan aspek reaksi kimia dalam pembakaran dan reduksi emisi.

Implikasi bagi riset material adalah perlunya integrasi pendekatan multidisipliner yang menggabungkan sintesis material, karakterisasi mikrostruktur, pengujian performa katalitik, dan evaluasi dampak lingkungan secara holistik. Keterkaitan cluster hijau dan ungu menunjukkan bahwa pengembangan katalis dan material konverter katalitik harus mempertimbangkan aspek reaksi kimia fundamental sekaligus aplikasi praktis pada sistem pembakaran. Makna bagi teknologi otomotif adalah bahwa inovasi material tidak dapat dipisahkan dari konteks keberlanjutan lingkungan dan efisiensi energi. Pengembangan paduan magnesium ringan (cluster merah) berkontribusi pada pengurangan konsumsi bahan bakar yang secara tidak langsung menurunkan emisi, sementara material katalitik (cluster ungu dan hijau) berperan langsung dalam konversi polutan. Interkoneksi antar cluster menegaskan bahwa solusi material untuk pengendalian emisi memerlukan pendekatan sistem yang mengintegrasikan material struktural, fungsional, dan katalitik dalam satu kerangka teknologi otomotif terintegrasi.

3.3. Analisis Tematik (Thematic Map)

Gambar 3 menyajikan peta tematik yang menggambarkan posisi dan kekuatan tema penelitian berdasarkan centrality (tingkat relevansi) dan density (tingkat pengembangan). Pada kuadran kanan bawah (basic themes) terdapat tema "greenhouse gases", "gas emissions", dan "life cycle", menunjukkan bahwa tema-tema tersebut merupakan dasar utama dalam penelitian material science untuk pengendalian emisi otomotif.



Gambar 3. Peta tematik hasil analisis bibliometrik bidang ilmu material dan emisi otomotif

Tema ini bersifat fundamental karena sering menjadi acuan atau kerangka konseptual bagi penelitian lainnya. Pada kuadran kiri bawah (emerging or declining themes), terdapat "automotive industry", "aluminium alloys", dan "tensile strength". Posisi ini menandakan meskipun tema tersebut memiliki relevansi tinggi, tingkat pengembangannya relatif lebih rendah, dapat diartikan sebagai area yang sedang berkembang menuju fokus baru atau mengalami pergeseran arah penelitian.

Kuadran kanan atas (motor themes) tidak menunjukkan tema dominan dengan pengembangan tinggi, mengindikasikan bidang ini masih terbuka untuk eksplorasi lebih lanjut. Tema "emission control" dan "carbon dioxide" yang terletak di bagian tengah memperlihatkan posisi sentral dan potensial untuk dikembangkan menjadi fokus utama penelitian di masa mendatang[21]. Implikasi bagi riset material adalah kebutuhan mendesak untuk memperkuat penelitian pada tema motor themes yang masih vakum, khususnya dalam pengembangan material aktif untuk konversi CO₂, teknologi penyimpanan karbon berbasis material, dan sistem material terintegrasi untuk pengendalian emisi multi-polutan. Makna bagi teknologi otomotif adalah bahwa meskipun tema dasar seperti greenhouse gases dan life cycle telah mapan, implementasi teknologinya masih memerlukan material inovatif yang mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan aplikasi praktis. Posisi aluminium alloys dan tensile strength pada kuadran emerging mengindikasikan potensi besar untuk pengembangan material struktural ringan yang tidak hanya meningkatkan efisiensi bahan bakar tetapi juga kompatibel dengan sistem propulsi alternatif seperti kendaraan listrik dan hibrid, yang semakin mendominasi industri otomotif masa depan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil memetakan perkembangan riset ilmu material dalam pengendalian emisi otomotif melalui analisis bibliometrik terhadap 413 dokumen Scopus periode 2021–2026 menggunakan VOSviewer. Hasil analisis menunjukkan bahwa tema penelitian didominasi oleh automotive industry, emission control, greenhouse gases, dan life cycle assessment dengan tren publikasi yang relatif stabil pada periode 2021–2025. Visualisasi kata kunci mengungkap struktur riset yang bersifat multidisipliner, mengintegrasikan rekayasa material, ilmu lingkungan, dan teknologi otomotif, serta menegaskan keterkaitan erat antara inovasi material, efisiensi energi, dan keberlanjutan lingkungan. Analisis tematik mengidentifikasi greenhouse gases dan life cycle sebagai tema dasar yang telah mapan, sementara automotive industry dan aluminium alloys masih berada pada fase berkembang, serta menunjukkan adanya kesenjangan penelitian pada motor themes yang belum terisi secara signifikan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan disarankan untuk berfokus pada pengembangan material katalis canggih seperti metal-organic frameworks dan single-atom catalysts, eksplorasi material komposit hibrid dengan fungsi reduksi emisi, kajian life cycle assessment yang komprehensif, serta pengembangan metode karakterisasi in-situ untuk memahami degradasi material pada kondisi operasi nyata guna mempercepat inovasi teknologi otomotif yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

5. REFERENSI

- [1] J. O. F. Mechanical, "Electrical , And Civil Engineering Ethanol Reduces Emissions But Damages Engines ? A Systematic Literature Review And Meta-Analysis Of Performance , Emissions , And Technological Risks Of 4-," *J. Vor.*, Vol. 06, No. 01, Pp. 490–502, 2025, Doi: 10.54123/Vorteks.V6i1.442.
- [2] P. Chaturvedi, M. Parvez, And P. Pachauri, "A Systematic Review On Green Manufacturing Of Automotive Parts," Al-Falah University, Department Of Mechanical Engineering, Faridabad, Hr, India: Institute Of Electrical And

- Electronics Engineers Inc., 2023, Pp. 2144–2151. Doi: 10.1109/Ic3i59117.2023.10397825.
- [3] 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.
- [4] E. Metzsch-Zilligen, “Waste4future – Innovative Recycling Approach For The Automotive Industry?: From Waste To Raw Material – Green Molecules For Chemistry,” *Vdi. Ber.*, Vol. 2023, No. 2418, Pp. 451–456, 2023, Doi: 10.51202/9783181024188-451.
- [5] A.-U.-H. Najmi, A. Wahab, R. Prakash, O. Schopen, T. Esch, And B. Shabani, “Thermal Management Of Fuel Cell-Battery Electric Vehicles: Challenges And Solutions,” *Appl. Energy*, Vol. 387, 2025, Doi: 10.1016/J.Apenergy.2025.125635.
- [6] M. Khristamto Aditya Wardana And O. Lim, “Investigation Of Ammonia Homogenization And Nox Reduction Quantity By Remodeling Urea Injector Shapes In Heavy-Duty Diesel Engines,” *Appl. Energy*, Vol. 323, 2022, Doi: 10.1016/J.Apenergy.2022.119586.
- [7] E. Ravigné And P. Da Costa, “Economic And Environmental Performances Of Natural Gas For Heavy Trucks: A Case Study On The French Automotive Industry Supply Chain,” *Energy Policy*, Vol. 149, 2021, Doi: 10.1016/J.Enpol.2020.112019.
- [8] S. Roy, A. Pradhan, S. Padhan, A. Das, S. R. Das, And D. Dhupal, “Investigation On Surface Roughness And Power Consumption For Sustainability Assessment In Hard Turning Of Hsla Steel With Sppp-Altisin-Coated Carbide Tool Under Various Cooling-Lubrications,” *Lubr. Sci.*, Vol. 36, No. 8, Pp. 571–594, 2024, Doi: 10.1002/Ls.1717.
- [9] R. R. C. Ribeiro, L. G. P. De Souza, J. C. De Souza Caliar, C. L. Teodoro, And J. H. Gomes, “Bibliometric And Systematic Analysis On Electric Resistance Spot Welding Of 22mnb5 Steel,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 132, No. 5–6, Pp. 2129–2156, 2024, Doi: 10.1007/S00170-024-13487-X.
- [10] K. Ravi And P. Naveenchanran, “Study On Practical Model For Indian 2 W Automobile Manufacturing,” *Mater. Today Proc.*, 2023, Doi: 10.1016/J.Matpr.2023.04.268.
- [11] S. Roy, A. Pradhan, S. Padhan, A. Das, S. R. Das, And D. Dhupal, “Analysis On Power Consumption For Life Cycle Sustainability Assessment In Hard Turning Of Aisi 4140 Steel Using Sppp-Altisin-Coated Carbide Tool Under Various Cutting Environments,” *Surf. Rev. Lett.*, Vol. 31, No. 6, 2024, Doi: 10.1142/S0218625x24500434.
- [12] S. Erzincanlioğlu *Et Al.*, “Development Of New Vehicle Safety Structures By Using Third-Generation Steels,” *Sae Int. J. Mater. Manuf.*, Vol. 15, No. 2, 2022, Doi: 10.4271/05-15-02-0011.
- [13] S. Barik, R. Bhandari, T. Paul, S. K. Kumar Samanta, And M. K. Mondal, “Development Of Novel Nano-B4c And Cnf Reinforced Aluminium Matrix Hybrid Nanocomposite,” *Mater. Sci. Technol. (United Kingdom)*, Vol. 41, No. 18, Pp. 1442–1459, 2025, Doi: 10.1177/02670836241283369.
- [14] K. Boakye, D. Winters, And S. Simske, “Literature Review And Challenges For The Adaptation, Implementation Of Digitization, And Data Analytics For

- Operational Excellence In The Cement And Aggregate Production Industry,” Lehigh Hanson Union Bridge Cement Plant, Union Bridge, Md, United States: Society For Mining, Metallurgy And Exploration, 2022, Pp. 22–27. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85129742546&partnerid=40&md5=f880185628469a6778c43c36aa4c3bfc>
- [15] I. Matsui, K. Furutono, And T. Ishizaki, “Preparation Of Layered Double Hydroxide Films With Corrosion Resistance And Self-Healing Properties On Al–Si–Cu Alloys Using Steam Coating And Immersion Processes,” *J. Alloys Compd.*, Vol. 1026, 2025, Doi: 10.1016/J.Jallcom.2025.180393.
 - [16] F. Marrero Nunes *Et Al.*, “Environmental Impacts Associated With The Life Cycle Of Natural Rubbers: A Review And Scientometric Analysis,” *Ind. Crops Prod.*, Vol. 224, 2025, Doi: 10.1016/J.Indcrop.2024.120350.
 - [17] Z. Ren *Et Al.*, “Sub-Millisecond Keyhole Pore Detection In Laser Powder Bed Fusion Using Sound And Light Sensors And Machine Learning,” *Mater. Futur.*, Vol. 3, No. 4, 2024, Doi: 10.1088/2752-5724/Ad89e2.
 - [18] X. Yuan And X. Li, “Mapping The Technology Diffusion Of Battery Electric Vehicle Based On Patent Analysis: A Perspective Of Global Innovation Systems,” *Energy*, Vol. 222, 2021, Doi: 10.1016/J.Energy.2021.119897.
 - [19] Z. Guo, Y. Du, And Y. Zhao, “Sustaining The Advancement Of New Energy Vehicles In The Post-Subsidy Era: Carbon Quota Mechanisms And Subsidy Mechanisms For Recycling Of Used Batteries,” *Sustain. Prod. Consum.*, Vol. 45, Pp. 158–176, 2024, Doi: 10.1016/J.Spc.2023.12.032.
 - [20] S. Sahoo And D. K. Srivastava, “Numerical Analysis Of Performance, Combustion, And Emission Characteristics Of Pfi Gasoline, Pfi Cng, And Di Cng Engine,” *Energy*, Vol. 278, 2023, Doi: 10.1016/J.Energy.2023.127749.
 - [21] B. D. Băilă, P. Razvan, And P. Ancuța, “Mechanical Properties And Microstructural Analyzes Of Epoxy Resins Reinforced With Satin Tissue,” In *International Multidisciplinary Scientific Geoconference Surveying Geology And Mining Ecology Management, Sgem*, O. Trofymchuk And B. Rivza, Eds., National University Of Science And Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Bucharest, Romania: International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 2022, Pp. 23–30. Doi: 10.5593/Sgem2022/6.1/S24.03.
 - [1] J. O. F. Mechanical, “Electrical , And Civil Engineering Ethanol Reduces Emissions But Damages Engines ? A Systematic Literature Review And Meta-Analysis Of Performance , Emissions , And Technological Risks Of 4-,” *J. Vor.*, Vol. 06, No. 01, Pp. 490–502, 2025, Doi: 10.54123/Vorteks.V6i1.442.
 - [2] P. Chaturvedi, M. Parvez, And P. Pachauri, “A Systematic Review On Green Manufacturing Of Automotive Parts,” Al-Falah University, Department Of Mechanical Engineering, Faridabad, Hr, India: Institute Of Electrical And Electronics Engineers Inc., 2023, Pp. 2144–2151. Doi: 10.1109/Ic3i59117.2023.10397825.
 - [3] 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.
 - [4] E. Metzsch-Zilligen, “Waste4future – Innovative Recycling Approach For The Automotive Industry?: From Waste To Raw Material – Green Molecules For Chemistry,” *Vdi. Ber.*, Vol. 2023, No. 2418, Pp. 451–456, 2023, Doi:

- 10.51202/9783181024188-451.
- [5] A.-U.-H. Najmi, A. Wahab, R. Prakash, O. Schopen, T. Esch, And B. Shabani, "Thermal Management Of Fuel Cell-Battery Electric Vehicles: Challenges And Solutions," *Appl. Energy*, Vol. 387, 2025, Doi: 10.1016/J.Apenergy.2025.125635.
 - [6] M. Khristamto Aditya Wardana And O. Lim, "Investigation Of Ammonia Homogenization And Nox Reduction Quantity By Remodeling Urea Injector Shapes In Heavy-Duty Diesel Engines," *Appl. Energy*, Vol. 323, 2022, Doi: 10.1016/J.Apenergy.2022.119586.
 - [7] E. Ravigné And P. Da Costa, "Economic And Environmental Performances Of Natural Gas For Heavy Trucks: A Case Study On The French Automotive Industry Supply Chain," *Energy Policy*, Vol. 149, 2021, Doi: 10.1016/J.Enpol.2020.112019.
 - [8] S. Roy, A. Pradhan, S. Padhan, A. Das, S. R. Das, And D. Dhupal, "Investigation On Surface Roughness And Power Consumption For Sustainability Assessment In Hard Turning Of Hsla Steel With Sppp-Altisin-Coated Carbide Tool Under Various Cooling-Lubrications," *Lubr. Sci.*, Vol. 36, No. 8, Pp. 571–594, 2024, Doi: 10.1002/Ls.1717.
 - [9] R. R. C. Ribeiro, L. G. P. De Souza, J. C. De Souza Caliar, C. L. Teodoro, And J. H. Gomes, "Bibliometric And Systematic Analysis On Electric Resistance Spot Welding Of 22mnb5 Steel," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, Vol. 132, No. 5–6, Pp. 2129–2156, 2024, Doi: 10.1007/S00170-024-13487-X.
 - [10] K. Ravi And P. Naveenchanran, "Study On Practical Model For Indian 2 W Automobile Manufacturing," *Mater. Today Proc.*, 2023, Doi: 10.1016/J.Matpr.2023.04.268.
 - [11] S. Roy, A. Pradhan, S. Padhan, A. Das, S. R. Das, And D. Dhupal, "Analysis On Power Consumption For Life Cycle Sustainability Assessment In Hard Turning Of Aisi 4140 Steel Using Sppp-Altisin-Coated Carbide Tool Under Various Cutting Environments," *Surf. Rev. Lett.*, Vol. 31, No. 6, 2024, Doi: 10.1142/S0218625x24500434.
 - [12] S. Erzincanlioğlu *Et Al.*, "Development Of New Vehicle Safety Structures By Using Third-Generation Steels," *Sae Int. J. Mater. Manuf.*, Vol. 15, No. 2, 2022, Doi: 10.4271/05-15-02-0011.
 - [13] S. Barik, R. Bhandari, T. Paul, S. K. Kumar Samanta, And M. K. Mondal, "Development Of Novel Nano-B4c And Cnf Reinforced Aluminium Matrix Hybrid Nanocomposite," *Mater. Sci. Technol. (United Kingdom)*, Vol. 41, No. 18, Pp. 1442–1459, 2025, Doi: 10.1177/02670836241283369.
 - [14] K. Boakye, D. Winters, And S. Simske, "Literature Review And Challenges For The Adaptation, Implementation Of Digitization, And Data Analytics For Operational Excellence In The Cement And Aggregate Production Industry," Lehigh Hanson Union Bridge Cement Plant, Union Bridge, Md, United States: Society For Mining, Metallurgy And Exploration, 2022, Pp. 22–27. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-S2.0-85129742546&partnerid=40&md5=F880185628469a6778c43c36aa4c3bfc>
 - [15] I. Matsui, K. Furutono, And T. Ishizaki, "Preparation Of Layered Double Hydroxide Films With Corrosion Resistance And Self-Healing Properties On Al–Si–Cu Alloys Using Steam Coating And Immersion Processes," *J. Alloys*

- Compd.*, Vol. 1026, 2025, Doi: 10.1016/J.Jallcom.2025.180393.
- [16] F. Marrero Nunes *Et Al.*, “Environmental Impacts Associated With The Life Cycle Of Natural Rubbers: A Review And Scientometric Analysis,” *Ind. Crops Prod.*, Vol. 224, 2025, Doi: 10.1016/J.Indcrop.2024.120350.
 - [17] Z. Ren *Et Al.*, “Sub-Millisecond Keyhole Pore Detection In Laser Powder Bed Fusion Using Sound And Light Sensors And Machine Learning,” *Mater. Futur.*, Vol. 3, No. 4, 2024, Doi: 10.1088/2752-5724/Ad89e2.
 - [18] X. Yuan And X. Li, “Mapping The Technology Diffusion Of Battery Electric Vehicle Based On Patent Analysis: A Perspective Of Global Innovation Systems,” *Energy*, Vol. 222, 2021, Doi: 10.1016/J.Energy.2021.119897.
 - [19] Z. Guo, Y. Du, And Y. Zhao, “Sustaining The Advancement Of New Energy Vehicles In The Post-Subsidy Era: Carbon Quota Mechanisms And Subsidy Mechanisms For Recycling Of Used Batteries,” *Sustain. Prod. Consum.*, Vol. 45, Pp. 158–176, 2024, Doi: 10.1016/J.Spc.2023.12.032.
 - [20] S. Sahoo And D. K. Srivastava, “Numerical Analysis Of Performance, Combustion, And Emission Characteristics Of Pfi Gasoline, Pfi Cng, And Di Cng Engine,” *Energy*, Vol. 278, 2023, Doi: 10.1016/J.Energy.2023.127749.
 - [21] B. D. Băilă, P. Razvan, And P. Ancuța, “Mechanical Properties And Microstructural Analyzes Of Epoxy Resins Reinforced With Satin Tissue,” In *International Multidisciplinary Scientific Geoconference Surveying Geology And Mining Ecology Management, Sgem*, O. Trofymchuk And B. Rivza, Eds., National University Of Science And Technology Politehnica Bucharest, Bucharest, Bucharest, Romania: International Multidisciplinary Scientific Geoconference, 2022, Pp. 23–30. Doi: 10.5593/Sgem2022/6.1/S24.03.