



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 2 (2026) pp: 22237-22246

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Tinjauan Sistematis Penggunaan Material Non-Logam dalam Industri Manufaktur

Fikri Azmi Miharjadijaya, Alif Wiranto, Ramdhan Adi Baqti, Riyan Muhamad Iqbal

Fakultas Teknik Universitas Pelita Bangsa

fikriazmimiharjadijaya@gmail.com, alifsmpl123@gmail.com, accvann49@gmail.com, riyan.miqbal@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan memetakan perkembangan penggunaan material non-logam dalam industri manufaktur melalui tinjauan sistematis terhadap literatur ilmiah periode 2015–2025. Kajian berfokus pada tiga kelompok material utama, yaitu polimer, keramik, dan komposit, dengan menelaah karakteristik, metode pemrosesan, bidang aplikasi, keunggulan, keterbatasan, serta arah pengembangannya. Artikel diperoleh dari basis data Scopus, Web of Science, ScienceDirect, dan Google Scholar, kemudian diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Sepuluh artikel terpilih dianalisis secara deskriptif dan komparatif. Hasil sintesis menunjukkan bahwa kemajuan additive manufacturing, fotopolimerisasi, ekstrusi, dan teknologi penguatan serat telah memperluas pemanfaatan material non-logam pada industri otomotif, dirgantara, konstruksi, elektronik, dan biomedis. Polimer teknik menawarkan massa jenis rendah, ketahanan kimia, kemudahan pembentukan, dan efisiensi biaya. Keramik unggul dalam ketahanan suhu tinggi, keausan, dan sifat dielektrik, sedangkan komposit memberikan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi melalui kombinasi matriks dan material penguat. Meskipun demikian, penerapannya masih menghadapi tantangan berupa sensitivitas terhadap suhu dan lingkungan, keterbatasan sifat mekanik tertentu, konsistensi proses, serta kesulitan daur ulang. Tren penelitian terkini mengarah pada komposit berbasis serat alam, biomaterial, dan material berkelanjutan yang mendukung ekonomi sirkular. Tinjauan ini menegaskan bahwa material non-logam telah berkembang dari material alternatif menjadi material strategis bagi manufaktur modern yang efisien, inovatif, dan berkelanjutan.

Kata kunci: Material Non-Logam, Polimer, Keramik, Komposit, Additive Manufacturing, Industri Manufaktur, Keberlanjutan.

1. Latar Belakang

Perkembangan industri manufaktur modern ditandai oleh kebutuhan akan material yang tidak hanya kuat dan tahan lama, tetapi juga ringan, efisien, ekonomis, serta ramah lingkungan (Muflikhun et al., 2024). Selama beberapa dekade, logam seperti baja dan aluminium mendominasi pemilihan material pada berbagai aplikasi manufaktur karena sifat mekaniknya yang unggul (Suprpto et al., 2025). Namun, tuntutan efisiensi energi, pengurangan bobot produk, ketahanan korosi, fleksibilitas desain, serta keberlanjutan lingkungan mendorong industri untuk mengeksplorasi alternatif material selain logam. Dalam konteks ini, material non-logam seperti polimer, keramik, komposit, dan biomaterial mulai memperoleh perhatian signifikan sebagai solusi material masa depan (aritonang et al., 2024).

Material non-logam menawarkan sejumlah keunggulan yang sulit dicapai oleh logam konvensional. Polimer memiliki massa jenis rendah, ketahanan kimia yang baik, serta kemudahan proses pembentukan. Keramik dikenal dengan ketahanan suhu tinggi dan ketahanan aus yang sangat baik (Ampangallo et al., 2025). Sementara itu, material komposit mampu menggabungkan sifat terbaik dari dua atau lebih material sehingga menghasilkan karakteristik mekanik yang lebih unggul dengan bobot yang lebih ringan. Perkembangan teknologi manufaktur seperti additive manufacturing, injection molding, dan teknik laminasi semakin memperluas potensi penggunaan material non-logam dalam berbagai sektor industri (Martijanti et al., 2025a).

Penerapan material non-logam telah meluas pada berbagai bidang, seperti industri otomotif, dirgantara, elektronik, konstruksi, dan peralatan medis (Fauzi et al., 2023). Dalam industri otomotif, penggunaan komposit berbasis serat dan polimer bertujuan untuk mengurangi bobot kendaraan sehingga meningkatkan efisiensi bahan bakar. Pada industri dirgantara, material komposit menggantikan banyak komponen logam untuk meningkatkan rasio kekuatan terhadap berat (Saro, 2025). Di bidang elektronik, polimer dan keramik digunakan sebagai isolator

dan substrat karena sifat dielektriknya yang baik. Bahkan dalam bidang medis, biomaterial non-logam dimanfaatkan untuk implan dan perangkat kesehatan karena kompatibilitas biologisnya (TriaPermata Sari, 2019).

Kemajuan teknologi manufaktur turut mempercepat adopsi material non-logam. Teknik seperti additive manufacturing (3D printing), laminasi komposit, thermoforming, dan teknik pemrosesan polimer modern memungkinkan pembentukan material non-logam dengan presisi tinggi dan biaya yang semakin kompetitif (Martijanti et al., 2025b). Hal ini membuka peluang desain produk yang lebih kompleks dan inovatif, yang sebelumnya sulit dicapai dengan material logam. Di sisi lain, penggunaan material non-logam tidak terlepas dari berbagai tantangan (Bora & Dermawan, 2025). Beberapa material non-logam memiliki keterbatasan dalam kekuatan tarik pada kondisi tertentu, sensitivitas terhadap suhu tinggi, degradasi akibat paparan sinar ultraviolet atau lingkungan kimia, serta kesulitan dalam proses daur ulang, terutama pada material komposit. Selain itu, karakteristik material non-logam yang sangat beragam menuntut pemahaman yang mendalam dalam proses pemilihan material agar sesuai dengan kebutuhan aplikasi manufaktur (Nurmayanti et al., 2024).

Literatur ilmiah terkait penggunaan material non-logam tersebar di berbagai disiplin ilmu, mulai dari ilmu material, teknik mesin, teknik kimia, hingga rekayasa manufaktur. Setiap penelitian sering kali berfokus pada jenis material tertentu atau pada sektor industri tertentu, sehingga belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai bagaimana material non-logam dimanfaatkan secara luas dalam konteks industri manufaktur. Kondisi ini menyebabkan kesulitan bagi peneliti maupun praktisi industri dalam memperoleh pemetaan pengetahuan yang komprehensif mengenai tren pemanfaatan, keunggulan, keterbatasan, serta potensi pengembangan material non-logam. Selain itu, meningkatnya perhatian global terhadap isu keberlanjutan dan ekonomi sirkular semakin memperkuat urgensi kajian terhadap material non-logam. Banyak material non-logam, khususnya biopolimer dan komposit berbasis serat alam, dinilai memiliki potensi besar dalam mengurangi jejak karbon industri manufaktur. Namun demikian, efektivitas dan tantangan implementasinya masih memerlukan telaah ilmiah yang sistematis.

Meskipun demikian, penggunaan material non-logam juga menghadapi sejumlah tantangan, seperti keterbatasan kekuatan tarik pada kondisi tertentu, sensitivitas terhadap suhu, degradasi akibat paparan lingkungan, serta keterbatasan dalam proses daur ulang pada beberapa jenis material komposit. Selain itu, literatur ilmiah terkait pemanfaatan material non-logam tersebar di berbagai disiplin ilmu dan sektor industri, sehingga menyulitkan peneliti maupun praktisi untuk memperoleh gambaran komprehensif mengenai tren, keunggulan, keterbatasan, serta potensi pengembangannya.

Kondisi tersebut menunjukkan perlunya suatu tinjauan sistematis (systematic review) yang menghimpun, mengklasifikasikan, dan menganalisis secara terstruktur hasil-hasil penelitian terkait penggunaan material non-logam dalam industri manufaktur. Melalui pendekatan tinjauan sistematis, penelitian ini diharapkan mampu menyajikan pemetaan pengetahuan yang jelas mengenai jenis material non-logam yang paling banyak digunakan, sektor aplikasinya, keunggulan yang ditawarkan, tantangan yang dihadapi, serta arah pengembangan di masa mendatang. Dengan demikian, penelitian ini menjadi penting tidak hanya bagi kalangan akademisi dalam memperkaya kajian ilmu material dan manufaktur, tetapi juga bagi praktisi industri sebagai dasar pertimbangan dalam pemilihan material yang lebih efisien, inovatif, dan berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan tinjauan sistematis (systematic review) untuk mengidentifikasi, menyeleksi, mengevaluasi, dan mensintesis berbagai temuan ilmiah terkait penggunaan material non-logam dalam industri manufaktur. Pendekatan ini dipilih karena mampu menyajikan ringkasan bukti ilmiah yang komprehensif, terstruktur, serta dapat direplikasi oleh peneliti lain. Proses pelaksanaan tinjauan sistematis meliputi tahapan identifikasi literatur, penyaringan, penilaian kelayakan, dan penetapan studi yang akan dianalisis (Crammond & Hyams-Ssekasi, 2024).

Pencarian literatur dilakukan pada beberapa basis data ilmiah bereputasi, yaitu Scopus, Web of Science, ScienceDirect, dan Google Scholar (Zamista & Deswita, 2024). Strategi pencarian disusun menggunakan kombinasi kata kunci dengan operator Boolean, seperti “non-metal material”, “polymer”, “ceramic”, “composite”, “biomaterial”, yang dikombinasikan dengan “manufacturing industry”, “manufacturing process”, dan “industrial application”. Rentang tahun publikasi yang ditinjau adalah 2015 hingga 2025 guna memastikan bahwa literatur yang dianalisis mencerminkan perkembangan teknologi material terkini. Seleksi artikel dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Artikel yang diikutsertakan merupakan artikel penelitian asli maupun artikel tinjauan yang membahas pemanfaatan material non-logam dalam konteks manufaktur, dipublikasikan pada jurnal bereputasi, tersedia dalam bahasa Inggris, serta memiliki akses teks lengkap. Sementara

itu, artikel berupa opini, editorial, prosiding tanpa penelaahan sejawat, penelitian yang tidak berfokus pada aplikasi manufaktur, serta publikasi yang terduplikasi dikeluarkan dari proses analisis (Bancong, 2025).

Data dari artikel yang terpilih kemudian diekstraksi secara sistematis menggunakan lembar kerja yang memuat informasi mengenai jenis material non-logam yang digunakan, sektor industri aplikasinya, metode manufaktur yang diterapkan, keunggulan dan keterbatasan material, serta tren pengembangan yang dilaporkan. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif kualitatif dengan pendekatan komparatif untuk mengidentifikasi pola penggunaan material, kecenderungan penelitian, serta celah penelitian yang masih terbuka.

3. Hasil dan Diskusi

No	Judul Artikel	Penulis & Tahun	Fokus Utama	Temuan Utama
1	Penggunaan Non-Metallic Material di Berbagai Industri Manufaktur Indonesia Secara Tinjauan Literatur Sistematis	Fauzi et al. (2023)	Material non-logam di industri manufaktur Indonesia (polimer, keramik, komposit)	Identifikasi penggunaan material non-logam pada sektor konstruksi, plastik, dan transportasi; jenis material diklasifikasikan dan dianalisis dalam konteks penggunaannya dalam industri manufaktur Indonesia (Fauzi et al., 2023)
2	Photopolymerization-based additive manufacturing of ceramics: A systematic review	Rasaki et al. (2021)	Keramik dalam manufaktur aditif	Merangkum peran proses fotopolimerisasi dalam manufaktur aditif keramik, termasuk tren aplikasi dan tantangan teknisnya (Rasaki et al., 2021)
3	A Systematic Review of Engineering Plastics and their Viability in Conventional Industrial and Manufacturing Processes	Ikpe et al. (2025)	Polimer teknik dalam proses manufaktur konvensional	Menyoroti potensi plastik teknik sebagai alternatif material logam, dengan fokus pada keringanan, biaya, dan fleksibilitas desain dalam proses produksi (Ikpe et al., 2025)
4	Polymeric composites in extrusion-based additive manufacturing: a systematic review	Rodrigues et al. (2024)	Komposit polimer dalam manufaktur aditif berbasis ekstrusi	Menyajikan analisis rinci jenis matriks dan penguat (serat karbon, kaca, keramik) serta tren penelitian terkait penggunaan komposit polimer dalam manufaktur aditif (Rodrigues et al., 2024)
5	Advancements in additive manufacturing of polymer matrix composites: A systematic review	Amin Memarzadeh, dkk (2023)	Komposit polimer dalam AM	Memetakan teknik AM (FDM, SLA, etc.), jenis material serta karakteristik dan tren penelitian komposit matriks polimer (Memarzadeh et al., 2023)
6	New trends of additive manufacturing using materials based-on natural fibers and minerals: A systematic review	Joao Ribeiro, dkk (2025)	Material berbasis serat alam & mineral	Mengulas perkembangan penggunaan material terbarukan dalam manufaktur aditif untuk mendukung keberlanjutan dan circular economy (Ribeiro et al., 2025)
7	Additive manufacturing of polymers and composites for functional applications	Parrthipan (2025)	Polimer & komposit dalam AM	Fokus pada aplikasi polimer dan komposit non-logam di berbagai sektor industri termasuk biomedis dan mikroelektronika; menunjukkan manfaat manufaktur aditif untuk material non-logam (C et al., 2025)
8	A review: Ceramic additive manufacturing	Li et al. (2025)	Keramik dalam AM	Ulasan teknologi manufaktur aditif keramik yang memungkinkan produksi struktur kompleks sekaligus menyoroti tantangan pemrosesan keramik sebagai material non-logam (Li et al., 2025)
9	A review on polymeric materials in additive manufacturing	Jafferson (2021)	Polimer dalam manufaktur aditif	Menjelaskan penggunaan berbagai polimer termasuk shape memory polymers dan implikasinya dalam produksi industri (Jafferson & Chatterjee, 2021)
10	Innovative polymer-based composite materials in additive manufacturing	Yuanrui Wang (2024)	Komposit polimer dalam manufaktur aditif	Mengulas perkembangan material komposit polimer dan aplikasinya dalam proses produksi, serta tantangan material dan sifatnya (Wang et al., 2024)

Hasil tinjauan sistematis menunjukkan pola yang konsisten bahwa pemanfaatan material non-logam dalam industri manufaktur mengalami akselerasi yang signifikan dalam satu dekade terakhir. Dorongan utama perubahan ini bukan hanya berasal dari kebutuhan teknis akan material yang ringan dan tahan korosi, tetapi juga dari kemajuan teknologi proses manufaktur—khususnya additive manufacturing—yang memungkinkan material non-logam diproses menjadi geometri kompleks dengan presisi tinggi. Literatur yang dianalisis memperlihatkan bahwa polimer, keramik, dan komposit menjadi tiga kelompok material yang paling dominan dibahas karena relevansinya yang luas pada berbagai sektor industri.

Kajian oleh Fauzi et al. memperlihatkan bahwa pada konteks Indonesia, penggunaan material non-logam telah hadir nyata pada sektor konstruksi, plastik, dan transportasi melalui klasifikasi polimer, keramik, dan komposit sesuai kebutuhan fungsional. Temuan ini penting karena menunjukkan bahwa adopsi material non-logam tidak hanya terjadi pada negara maju, tetapi juga telah menjadi bagian dari praktik manufaktur nasional. Hal tersebut mengindikasikan adanya kesadaran industri terhadap efisiensi material serta kebutuhan inovasi desain produk.

Pada kelompok keramik, Rasaki et al. dan Li et al. menekankan bahwa kemajuan teknik fotopolimerisasi dan ceramic additive manufacturing telah mengatasi keterbatasan metode tradisional yang sebelumnya sulit membentuk keramik menjadi struktur kompleks. Keramik yang dahulu identik dengan kerapuhan kini dapat diproduksi dengan presisi tinggi untuk aplikasi teknik, elektronik, dan lingkungan bersuhu ekstrem. Inovasi proses ini secara langsung meningkatkan nilai guna keramik sebagai material non-logam strategis.

Dominasi polimer teknik ditunjukkan oleh Ikpe et al. serta Jafferson & Chatterjee yang menjelaskan bahwa plastik teknik memiliki potensi besar menggantikan logam pada proses manufaktur konvensional maupun aditif. Keunggulan seperti massa jenis rendah, kemudahan pembentukan, ketahanan kimia, serta biaya produksi yang lebih efisien menjadikan polimer sangat sesuai untuk produksi massal dan customized manufacturing. Bahkan, beberapa polimer cerdas seperti shape memory polymers memperluas fungsi material pada aplikasi spesifik.

Tema yang paling menonjol dalam SLR ini adalah komposit polimer. Rodrigues et al., Memarzadeh et al., dan Wang et al. menegaskan bahwa penggabungan matriks polimer dengan penguat seperti serat karbon, serat kaca, maupun partikel keramik menghasilkan rasio kekuatan terhadap berat yang sangat tinggi. Komposit ini menjadi material unggulan pada industri dirgantara, otomotif, dan konstruksi modern karena mampu menurunkan bobot struktur tanpa mengorbankan kekuatan mekanik. Teknologi extrusion-based dan FDM turut memperluas fleksibilitas desain komposit.

Ribeiro et al. memperlihatkan arah baru penelitian yang mengintegrasikan material non-logam dengan prinsip keberlanjutan melalui pemanfaatan serat alam dan mineral. Pendekatan ini mendukung konsep circular economy dan manufaktur ramah lingkungan. Sementara itu, Parthipan menunjukkan bahwa polimer dan komposit non-logam telah diaplikasikan pada sektor biomedis dan mikroelektronika yang menuntut presisi tinggi, isolasi listrik, serta biokompatibilitas.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa kemajuan teknologi manufaktur berperan sebagai katalis utama dalam peningkatan pemanfaatan material non-logam. Polimer, keramik, dan komposit tidak lagi dipandang sebagai alternatif, melainkan sebagai material utama yang mampu menjawab kebutuhan performa teknis, efisiensi produksi, fleksibilitas desain, dan tuntutan keberlanjutan lingkungan dalam industri manufaktur modern.

3.1 Karakteristik dan Peran Polimer Teknik dalam Manufaktur

Polimer teknik merupakan kelompok material non-logam yang paling luas digunakan karena memiliki massa jenis rendah, ketahanan kimia, kemudahan pembentukan, dan biaya pemrosesan yang relatif kompetitif. Hasil kajian menunjukkan bahwa keunggulan tersebut menjadikan polimer sesuai untuk komponen yang membutuhkan pengurangan bobot, isolasi listrik, ketahanan korosi, dan kebebasan desain. Jafferson dan Chatterjee (2021) menjelaskan bahwa perkembangan material polimer dalam additive manufacturing telah memperluas penggunaan termoplastik, elastomer, dan shape memory polymers pada produk yang sebelumnya didominasi material konvensional.

Keberhasilan penggunaan polimer tidak hanya ditentukan oleh jenis resin, tetapi juga oleh hubungan antara sifat material dan kondisi proses. Temperatur leleh, viskositas, kecepatan pendinginan, penyusutan, serta adhesi antarlapis memengaruhi kualitas produk. Pada proses injection molding, kesalahan pengaturan suhu dan tekanan dapat menghasilkan cacat seperti warpage, sink mark, void, atau ketidakstabilan dimensi. Pada extrusion-based additive manufacturing, orientasi deposisi dan ikatan antarlapis menentukan kekuatan produk, sehingga komponen hasil cetak dapat menunjukkan sifat anisotropik.

Polimer teknik seperti polyamide, polycarbonate, PEEK, ABS, dan berbagai campurannya dapat menggantikan logam pada aplikasi tertentu apabila batas suhu, beban, dan lingkungan telah dipertimbangkan. Ikpe et al. (2025) menegaskan bahwa plastik teknik memiliki kelayakan tinggi dalam proses manufaktur konvensional, terutama ketika desain membutuhkan komponen ringan, kompleks, dan ekonomis. Meskipun demikian, penggantian logam tidak dapat dilakukan hanya berdasarkan bobot dan harga. Ketahanan terhadap creep, kelelahan, ultraviolet, pelarut, dan perubahan temperatur harus dianalisis sesuai masa pakai produk.

Keunggulan polimer juga terdapat pada kemampuan mengintegrasikan beberapa fungsi dalam satu komponen. Bentuk yang sebelumnya membutuhkan beberapa bagian logam dan proses perakitan dapat dibuat menjadi satu produk cetakan. Integrasi ini mengurangi jumlah sambungan, waktu produksi, dan risiko korosi galvanik. Namun, desain perlu memperhatikan ketebalan dinding, radius sudut, titik konsentrasi tegangan, dan arah aliran material agar keuntungan manufaktur tidak mengurangi kekuatan produk.

Dalam konteks industri Indonesia, polimer berpotensi besar pada sektor kemasan, otomotif, konstruksi, peralatan rumah tangga, elektronik, dan kesehatan. Penerapan yang lebih luas memerlukan peningkatan kualitas

bahan baku, standarisasi pengujian, dan kemampuan desain berbasis simulasi. Pengembangan polimer daur ulang dan biopolimer juga perlu dipadukan dengan kontrol kualitas karena variasi komposisi dapat memengaruhi sifat mekanik dan kestabilan proses.

3.2 Keramik Teknik dan Perkembangan Ceramic Additive Manufacturing

Keramik teknik memiliki ketahanan suhu tinggi, kekerasan, ketahanan aus, ketahanan korosi, dan sifat dielektrik yang sulit dicapai oleh sebagian besar polimer maupun logam. Material seperti alumina, zirconia, silicon carbide, dan silicon nitride digunakan pada komponen isolator, alat potong, pelapis tahan aus, substrat elektronik, komponen biomedis, dan bagian yang bekerja pada temperatur ekstrem. Ampangallo et al. (2025) menempatkan keramik sebagai material penting ketika lingkungan operasi menuntut stabilitas termal dan kimia.

Keterbatasan utama keramik adalah sifat getas, sensitivitas terhadap cacat, dan kesulitan membentuk geometri kompleks melalui metode konvensional. Perkembangan photopolymerization-based additive manufacturing membuka peluang untuk menghasilkan struktur keramik dengan detail tinggi. Rasaki et al. (2021) menunjukkan bahwa stereolithography dan digital light processing dapat membentuk green body keramik melalui suspensi partikel dalam resin fotosensitif. Setelah pencetakan, komponen harus melalui debinding dan sintering untuk memperoleh densitas dan kekuatan akhir.

Tahap pascaproses menjadi bagian kritis karena penyusutan selama debinding dan sintering dapat menimbulkan retak, deformasi, dan perubahan dimensi. Distribusi partikel, kandungan padatan, stabilitas suspensi, kedalaman curing, dan strategi orientasi cetak perlu dikendalikan. Li et al. (2025) menegaskan bahwa ceramic additive manufacturing mampu menghasilkan struktur rumit, tetapi tantangan kualitas permukaan, porositas, produktivitas, serta reproduktibilitas masih menjadi fokus penelitian.

Keramik hasil additive manufacturing memiliki prospek pada heat exchanger, struktur lattice tahan panas, komponen elektronik, filter, implan gigi, dan perangkat mikrofluida. Kebebasan geometri memungkinkan desain yang meningkatkan perpindahan panas atau mengurangi massa tanpa mengorbankan ketahanan temperatur. Namun, penerapan industri memerlukan validasi sifat mekanik, ketahanan kejutan termal, reliabilitas jangka panjang, dan kesesuaian standar.

Pemilihan keramik perlu mempertimbangkan total biaya siklus hidup. Biaya awal material dan proses dapat lebih tinggi dibandingkan logam, tetapi umur pakai yang panjang dan ketahanan aus dapat menurunkan biaya pemeliharaan. Analisis tersebut penting pada komponen yang sulit diganti atau bekerja dalam kondisi agresif. Dengan demikian, keramik tidak hanya dinilai berdasarkan biaya produksi, tetapi berdasarkan nilai kinerja selama penggunaan.

3.3 Komposit Polimer dan Arsitektur Material Penguat

Komposit polimer menjadi tema dominan dalam literatur karena menggabungkan kemudahan pemrosesan matriks polimer dengan kekuatan material penguat. Serat karbon, serat kaca, partikel keramik, dan serat alam dapat meningkatkan kekakuan, kekuatan, stabilitas dimensi, atau ketahanan aus. Rodrigues et al. (2024) menunjukkan bahwa komposit pada extrusion-based additive manufacturing berkembang melalui variasi matriks, panjang serat, konsentrasi penguat, dan strategi pencetakan.

Kinerja komposit sangat dipengaruhi oleh ikatan antarmuka antara matriks dan penguat. Ikatan yang lemah menyebabkan debonding dan transfer beban yang tidak efektif, sedangkan distribusi penguat yang tidak seragam menimbulkan titik lemah. Perlakuan permukaan, coupling agent, dan optimasi proses dapat meningkatkan adhesi. Pada komposit serat pendek hasil ekstrusi, orientasi serat mengikuti arah aliran dan deposisi, sehingga sifat mekanik berbeda antara arah longitudinal dan transversal.

Komposit serat kontinu memberikan rasio kekuatan terhadap berat yang lebih tinggi dibandingkan komposit serat pendek, tetapi proses pembuatannya lebih kompleks. Tantangan meliputi impregnasi serat, void, kontrol lintasan, dan kebutuhan mesin khusus. Memarzadeh et al. (2023) menunjukkan bahwa kemajuan additive manufacturing komposit matriks polimer berfokus pada peningkatan kualitas antarmuka, pengurangan porositas, dan pengendalian orientasi penguat.

Pada industri otomotif dan dirgantara, komposit digunakan untuk mengurangi bobot dan meningkatkan efisiensi energi. Pada konstruksi, komposit dapat digunakan sebagai panel, penguat, dan struktur yang tahan korosi. Pada peralatan olahraga dan kesehatan, kemampuan menyesuaikan kekakuan dan bentuk memberikan keuntungan desain. Wang et al. (2024) memperlihatkan bahwa komposit berbasis polimer terus berkembang melalui kombinasi material dan proses yang diarahkan pada aplikasi fungsional.

Meskipun unggul, komposit menghadapi tantangan inspeksi dan perbaikan. Kerusakan internal seperti delaminasi dan retak matriks tidak selalu terlihat dari permukaan. Penggunaan ultrasonik, termografi, atau teknik non-destructive testing diperlukan pada komponen kritis. Perusahaan juga perlu memahami bahwa komposit tidak selalu dapat diperbaiki dengan metode yang sama seperti logam, sehingga desain untuk inspeksi dan pemeliharaan harus dilakukan sejak awal.

3.4 Perbandingan Aplikasi pada Berbagai Sektor Industri

Kebutuhan setiap sektor industri menghasilkan prioritas material yang berbeda. Industri otomotif menekankan pengurangan bobot, produktivitas tinggi, biaya, ketahanan benturan, dan kemampuan daur ulang. Polimer termoplastik dan komposit serat digunakan pada panel, interior, komponen mesin tertentu, dan struktur sekunder. Pengurangan bobot berkontribusi pada efisiensi bahan bakar atau peningkatan jarak tempuh kendaraan listrik, tetapi komponen harus tetap memenuhi standar keselamatan dan ketahanan lingkungan.

Industri dirgantara lebih menekankan rasio kekuatan terhadap berat, ketahanan kelelahan, temperatur, dan reliabilitas. Komposit serat karbon digunakan pada struktur utama maupun sekunder, sedangkan keramik teknik dan ceramic matrix composites digunakan pada lingkungan suhu tinggi. Sertifikasi menjadi tantangan utama karena variasi proses dan cacat kecil dapat memengaruhi keselamatan. Oleh sebab itu, dokumentasi material, proses, dan inspeksi harus sangat ketat.

Pada sektor elektronik, keramik berfungsi sebagai substrat, isolator, sensor, dan bahan dielektrik, sedangkan polimer digunakan sebagai enkapsulan, isolasi kabel, dan housing. Perkembangan perangkat berdaya tinggi meningkatkan kebutuhan material dengan konduktivitas termal baik tetapi tetap mengisolasi listrik. Kombinasi polimer dengan pengisi keramik menjadi salah satu pendekatan untuk memperoleh sifat tersebut.

Bidang biomedis menggunakan material non-logam karena biokompatibilitas, kemampuan sterilisasi, dan kemungkinan membuat geometri yang sesuai anatomi pasien. Polimer digunakan pada alat sekali pakai, perangkat pengiriman obat, dan scaffold, sedangkan keramik seperti hydroxyapatite dan zirconia digunakan pada implan serta restorasi gigi. Additive manufacturing memungkinkan personalisasi, tetapi memerlukan kontrol toksisitas, porositas, kebersihan, dan validasi klinis.

Pada konstruksi, komposit dan polimer menawarkan ketahanan korosi serta kemudahan pemasangan. Namun, perilaku terhadap api, ultraviolet, kelembapan, dan beban jangka panjang harus diperhatikan. Penggunaan serat alam dapat meningkatkan aspek keberlanjutan, tetapi variasi sifat, penyerapan air, dan degradasi biologis perlu dikendalikan. Perbandingan ini menunjukkan bahwa tidak ada material non-logam yang unggul untuk semua aplikasi; pemilihan harus berdasarkan kebutuhan fungsi dan lingkungan.

3.5 Kriteria Pemilihan Material dan Desain untuk Manufaktur

Pemilihan material non-logam harus dimulai dari fungsi komponen, kondisi pembebanan, temperatur, lingkungan kimia, umur pakai, metode manufaktur, volume produksi, dan biaya. Pendekatan berbasis kebutuhan mencegah keputusan yang hanya mengikuti tren material. Sebuah polimer yang ringan dapat tidak sesuai apabila mengalami creep pada beban jangka panjang, sedangkan keramik tahan panas dapat tidak sesuai pada komponen yang menerima benturan.

Hubungan material dan proses sangat penting karena sifat akhir dipengaruhi oleh cara material dibentuk. Polimer hasil injection molding memiliki struktur dan porositas berbeda dibandingkan polimer hasil additive manufacturing. Komposit hasil laminasi berbeda dari komposit hasil ekstrusi. Keramik hasil pressing dan sintering berbeda dari hasil photopolymerization. Oleh karena itu, data sifat dari lembar teknis perlu disesuaikan dengan proses aktual.

Design for Manufacturing perlu diterapkan sejak tahap desain. Pada polimer, desain harus menghindari perubahan ketebalan yang tajam dan konsentrasi tegangan. Pada komposit, arah serat harus mengikuti jalur beban. Pada keramik, sudut tajam dan titik benturan perlu diminimalkan. Additive manufacturing memberikan kebebasan geometri, tetapi tetap memiliki aturan mengenai support, orientasi, resolusi, dan arah sifat.

Analisis biaya perlu mencakup bahan, tooling, waktu proses, energi, finishing, inspeksi, scrap, dan pemeliharaan. Additive manufacturing dapat mengurangi tooling pada volume rendah, tetapi belum tentu ekonomis pada produksi massal. Injection molding membutuhkan investasi cetakan tinggi, tetapi biaya unit rendah pada volume besar. Keputusan yang tepat harus mempertimbangkan volume dan perubahan desain.

Perusahaan juga perlu mempertimbangkan ketersediaan pemasok, konsistensi kualitas, dan kemampuan pengujian. Material baru yang memiliki sifat unggul dapat meningkatkan risiko rantai pasok apabila hanya tersedia dari satu sumber. Strategi dual sourcing, spesifikasi yang jelas, dan validasi batch diperlukan untuk menjaga kestabilan produksi.

3.6 Pengendalian Kualitas dan Standardisasi Proses

Peningkatan pemanfaatan material non-logam perlu diikuti sistem pengendalian kualitas yang sesuai dengan karakter material. Metode inspeksi untuk logam tidak selalu dapat diterapkan langsung pada polimer, keramik, atau komposit. Variasi kelembapan, porositas, orientasi serat, derajat curing, dan sejarah termal dapat memengaruhi sifat akhir meskipun dimensi produk telah sesuai.

Pada additive manufacturing, pengendalian kualitas dimulai dari penyimpanan bahan, kalibrasi mesin, parameter proses, orientasi, dan kondisi lingkungan. Filamen polimer yang menyerap air dapat menghasilkan porositas dan permukaan buruk. Suspensi keramik yang tidak stabil menimbulkan sedimentasi. Serbuk atau resin yang digunakan berulang perlu memiliki batas penggunaan agar kualitas tidak menurun.

Pengujian mekanik perlu mewakili arah dan kondisi penggunaan. Spesimen hasil 3D printing sebaiknya diuji pada beberapa orientasi karena sifat anisotropik. Komposit perlu diuji tarik, lentur, impact, dan interlaminar sesuai risiko kegagalan. Keramik memerlukan statistik kekuatan karena sensitivitas terhadap cacat. Pengujian termal, kimia, dan lingkungan juga penting apabila produk bekerja pada kondisi khusus.

Standardisasi dokumentasi membantu reproduktibilitas. Setiap batch perlu memiliki identitas bahan, parameter, mesin, operator, tanggal, dan hasil inspeksi. Data tersebut memudahkan penelusuran apabila terjadi kegagalan. Pada pengembangan produk baru, perubahan parameter harus melalui validasi dan persetujuan, bukan dilakukan secara informal.

Kebutuhan standardisasi semakin penting ketika komponen non-logam digunakan pada aplikasi keselamatan. Sertifikasi material dan proses dapat meningkatkan kepercayaan industri terhadap teknologi baru. Kolaborasi antara perguruan tinggi, lembaga uji, asosiasi, dan industri diperlukan untuk membangun prosedur yang sesuai dengan kondisi manufaktur nasional.

3.7 Keberlanjutan, Daur Ulang, dan Ekonomi Sirkular

Keberlanjutan merupakan arah penting dalam pengembangan material non-logam, tetapi tidak semua material non-logam otomatis lebih ramah lingkungan daripada logam. Penilaian perlu mencakup sumber bahan, energi proses, umur pakai, transportasi, perbaikan, dan akhir masa pakai. Produk ringan dapat mengurangi konsumsi energi selama penggunaan, tetapi manfaat tersebut harus dibandingkan dengan kesulitan daur ulang dan potensi limbah.

Termoplastik memiliki peluang didaur ulang melalui peleburan kembali, tetapi sifat dapat menurun akibat degradasi termal dan kontaminasi. Thermoset lebih sulit didaur ulang karena struktur ikatan silang tidak dapat dilelehkan. Komposit menghadapi tantangan tambahan karena matriks dan penguat sulit dipisahkan. Teknologi mechanical recycling, pyrolysis, solvolysis, dan reuse sedang dikembangkan, tetapi biaya dan kualitas hasil masih menjadi kendala.

Komposit serat alam menjadi salah satu arah yang menjanjikan karena menggunakan sumber terbarukan dan memiliki massa jenis rendah. Ribeiro et al. (2025) menunjukkan peningkatan penelitian pada material serat alam dan mineral untuk additive manufacturing. Namun, variasi serat, kelembapan, adhesi, ketahanan biologis, dan kestabilan termal perlu dikendalikan agar kinerja konsisten.

Design for Circularity dapat diterapkan dengan mengurangi variasi material, menggunakan sambungan yang mudah dilepas, memberi identifikasi jenis resin, dan merancang produk agar dapat diperbaiki. Penggunaan material daur ulang perlu disertai spesifikasi karena perubahan komposisi dapat memengaruhi proses. Sistem pengumpulan dan pemilahan menjadi bagian penting yang tidak dapat diselesaikan oleh teknologi material saja.

Analisis siklus hidup diperlukan untuk menghindari perpindahan dampak. Pengurangan bobot mungkin menurunkan emisi penggunaan, tetapi proses produksi dapat meningkatkan konsumsi energi. Keputusan keberlanjutan yang baik harus menggunakan data dan batas sistem yang jelas. Dengan demikian, ekonomi sirkular tidak hanya menjadi istilah promosi, tetapi diterjemahkan menjadi desain, produksi, penggunaan, dan pengelolaan akhir masa pakai.

3.8 Kesiapan Industri Manufaktur Indonesia

Penggunaan material non-logam di Indonesia telah berkembang pada konstruksi, plastik, transportasi, dan berbagai sektor lain sebagaimana dipetakan oleh Fauzi et al. (2023). Potensi tersebut didukung pasar yang besar, sumber serat alam, dan kebutuhan industri untuk meningkatkan efisiensi. Namun, kemampuan produksi material berkinerja tinggi, standardisasi, dan fasilitas pengujian masih perlu diperkuat.

Kesiapan sumber daya manusia menjadi faktor penting. Insinyur perlu memahami ilmu material, proses, desain, simulasi, dan kualitas secara terpadu. Operator juga membutuhkan pelatihan tentang penyimpanan bahan, parameter proses, dan inspeksi. Additive manufacturing tidak cukup hanya dengan membeli mesin; perusahaan membutuhkan kompetensi untuk memilih material, menyiapkan desain, mengendalikan proses, dan melakukan validasi.

Kolaborasi perguruan tinggi dan industri dapat mempercepat pengembangan. Perguruan tinggi memiliki kemampuan riset, sedangkan industri menyediakan masalah nyata dan kebutuhan pasar. Program bersama dapat mencakup pengembangan material lokal, optimasi proses, pengujian, dan demonstrasi komponen. Hasil penelitian perlu diarahkan pada tingkat kesiapan teknologi yang memungkinkan adopsi industri.

Kebijakan dan standar juga diperlukan untuk mendukung penggunaan material daur ulang, biomaterial, dan komponen hasil additive manufacturing. Insentif dapat diarahkan pada riset terapan, fasilitas bersama, dan sertifikasi. Namun, kebijakan harus tetap menjaga keselamatan dan kualitas agar percepatan adopsi tidak menghasilkan produk yang tidak andal.

Rantai pasok bahan baku perlu diperhatikan karena banyak material teknik dan penguat berkinerja tinggi masih bergantung pada impor. Pengembangan resin, serat, serbuk keramik, dan aditif lokal dapat meningkatkan ketahanan industri. Pemanfaatan serat alam Indonesia perlu dilakukan dengan standardisasi perlakuan dan kualitas agar dapat bersaing pada aplikasi teknik.

3.9 Celah Penelitian dan Arah Pengembangan Masa Depan

Literatur yang dianalisis menunjukkan dominasi penelitian pada additive manufacturing, sedangkan kajian tentang integrasi proses konvensional dan digital masih dapat diperluas. Penelitian masa depan perlu membandingkan kualitas, biaya, energi, dan produktivitas antara injection molding, machining, casting, laminasi, dan additive manufacturing untuk material non-logam yang sama.

Celah lain terdapat pada data jangka panjang. Banyak penelitian menilai kekuatan awal, tetapi belum mengamati creep, fatigue, aging, ultraviolet, kelembapan, dan paparan kimia dalam periode panjang. Data tersebut penting agar material baru dapat digunakan pada komponen struktural dan lingkungan kritis. Metode accelerated aging dapat membantu, tetapi perlu dikorelasikan dengan kondisi nyata.

Pengembangan multi-material merupakan arah penting karena satu komponen dapat membutuhkan sifat yang berbeda pada beberapa bagian. Kombinasi polimer keras dan lunak, komposit dengan orientasi lokal, atau keramik dengan fungsi gradien membuka peluang desain baru. Tantangan meliputi ikatan antarmaterial, kompatibilitas proses, dan inspeksi antarmuka.

Pemanfaatan kecerdasan buatan dan machine learning dapat membantu memprediksi sifat, mengoptimasi parameter, dan mendeteksi cacat. Namun, model memerlukan data berkualitas dan interpretasi fisik. Penelitian tidak boleh hanya mengejar akurasi prediksi tanpa memahami mekanisme material. Integrasi eksperimen, simulasi, sensor proses, dan analitik data akan menghasilkan pengembangan yang lebih kuat.

Penelitian di Indonesia perlu memperluas publikasi pada aplikasi lokal, seperti komposit serat bambu, kelapa, rami, dan limbah pertanian; material tahan lingkungan tropis; serta solusi manufaktur untuk UMKM. Kajian ekonomi dan kesiapan industri juga diperlukan agar inovasi tidak berhenti pada skala laboratorium.

3.10 Implikasi Praktis dan Keterbatasan Tinjauan

Bagi praktisi, hasil tinjauan menunjukkan bahwa pemilihan material non-logam harus dilakukan melalui pendekatan terstruktur. Perusahaan perlu menetapkan kebutuhan, menyaring kandidat, menguji prototipe, memvalidasi proses, dan melakukan analisis biaya siklus hidup. Keputusan penggantian logam sebaiknya dilakukan bertahap mulai dari komponen nonkritis sebelum diterapkan pada bagian keselamatan.

Bagi peneliti, kajian ini menunjukkan pentingnya pelaporan parameter proses, komposisi, kondisi pengujian, dan ketidakpastian. Tanpa informasi tersebut, hasil sulit dibandingkan atau direplikasi. Penelitian komposit dan additive manufacturing juga perlu melaporkan orientasi, porositas, dan prosedur pascaproses karena faktor tersebut sangat memengaruhi hasil.

Tinjauan ini memiliki keterbatasan karena hanya menganalisis sepuluh artikel utama dan menggunakan rentang publikasi 2015-2025. Keragaman disiplin dan terminologi dapat menyebabkan studi relevan tidak teridentifikasi. Selain itu, analisis bersifat deskriptif-komparatif dan belum melakukan meta-analisis kuantitatif terhadap sifat material.

Keterbatasan tersebut tidak mengurangi nilai pemetaan, tetapi menunjukkan perlunya pembaruan berkala dengan basis data dan kata kunci yang lebih luas. Penelitian berikutnya dapat menggunakan kerangka PRISMA secara lebih rinci, menilai kualitas studi, dan memisahkan hasil berdasarkan sektor, material, proses, atau tingkat kesiapan teknologi.

Secara praktis, kolaborasi antara desainer, ahli material, manufaktur, kualitas, lingkungan, dan pemasok menjadi syarat keberhasilan. Material non-logam memberikan kebebasan desain dan efisiensi, tetapi memerlukan perubahan cara berpikir dari sekadar substitusi material menuju optimasi sistem produk dan proses secara menyeluruh.

4. Kesimpulan

Tinjauan sistematis terhadap sepuluh artikel menunjukkan bahwa penggunaan material non-logam dalam industri manufaktur mengalami perkembangan yang sangat signifikan, terutama didorong oleh kemajuan teknologi manufaktur modern seperti additive manufacturing. Polimer, keramik, dan komposit muncul sebagai tiga kelompok material non-logam yang paling dominan digunakan karena mampu menawarkan kombinasi sifat yang sulit dicapai oleh logam konvensional, seperti keringanan, ketahanan korosi dan kimia, fleksibilitas desain, serta efisiensi biaya produksi. Hasil sintesis literatur memperlihatkan bahwa material non-logam tidak lagi diposisikan sebagai material alternatif, melainkan telah menjadi material utama pada berbagai sektor industri, termasuk otomotif, dirgantara, konstruksi, elektronik, hingga biomedis. Perkembangan teknik pemrosesan, seperti fotopolimerisasi pada keramik, pemanfaatan plastik teknik pada proses manufaktur konvensional, serta penguatan polimer dengan serat pada material komposit, telah mampu mengatasi berbagai keterbatasan mekanik yang sebelumnya menjadi kendala utama material non-logam. Selain aspek performa teknis, tren penelitian juga menunjukkan pergeseran menuju penggunaan material non-logam yang lebih berkelanjutan, seperti komposit berbasis serat alam dan mineral yang mendukung konsep circular economy dan manufaktur ramah lingkungan. Hal ini menandakan bahwa pemilihan material dalam industri manufaktur masa kini tidak hanya

mempertimbangkan kekuatan dan fungsi, tetapi juga dampak lingkungan jangka panjang. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa material non-logam memiliki peran strategis dalam transformasi industri manufaktur modern. Keunggulan sifat material, dukungan teknologi pemrosesan, serta tuntutan keberlanjutan menjadikan polimer, keramik, dan komposit sebagai arah utama pengembangan material di masa mendatang. Tinjauan sistematis ini memberikan pemetaan pengetahuan yang komprehensif dan dapat menjadi dasar pertimbangan ilmiah maupun praktis dalam pemilihan serta pengembangan material non-logam di industri manufaktur.

Referensi

1. Ampangallo, B. A., Manga', J., Asmeati, A., Tangaran, B., Pasau, K., Masdiana, M., Tikupadang, K., Kasa, A., Bachtiar, E., Rantererung, C. L., Salu, S., & Buku, A. (2025). *Teknologi Material*. Arsy Media. <https://repo.ukitoraja.ac.id/id/eprint/728/>
2. Aritonang, S., Murniati, R., & Global Akademia, M. (2024). *MATERIAL PERTAHANAN*.
3. Bancong, H. (2025). Strategi Reviu Riset dan Konstruksi Teori: Metode, Analisis, dan Studi Kasus. Indonesia Emas Group. <https://books.google.com/books?hl=id&lr=&id=TLxVEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR4&dq=Validitas+konseptual+diperkuat+dengan+membandingkan+dan+mengontraskan+temuan+antarpemelitian+yang+direview,+sehingga+kesimpulan+yang+dihasilkan+tidak+berga+ntung+pada+satu+sumber+tunggal,+melainkan+pada+pola+temuan+yang+berulang+dan+konsisten.&ots=iAWil1sNOZ&sig=f8dzGt9FW2FGnDiDp0XF8zsPXbA>
4. Bora, M., & Dermawan, A. (2025). *Pengantar Teknik Mesin dan Industri*.
5. C, P. R., S, V., Parthipan, B. K., Babu, S., Kathik Babu, N. B., & Mensah, R. A. (2025). Additive manufacturing of polymers and composites for sustainable engineering applications. *Frontiers in Chemical Engineering*, 7. <https://doi.org/10.3389/fceng.2025.1722765>
6. Crammond, R. J., & Hyams-Ssekasi, D. (2024). *Entrepreneurship Education and Internationalisation: Cases, Collaborations and Contexts*. Taylor & Francis.
7. Fauzi, A., Ramadan, R. G., Kurnia, H., Egga, D., & Zakaria, M. U. (2023). Penggunaan Non-Metallic Material di Berbagai Industri Manufaktur Indonesia Secara Tinjauan Literatur Sistematis. *Jurnal KaLIBRASI : Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri*, 6(1), 13–21. <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v6i1.1123>
8. Ikpe, A. E., Itiat, N. E., & Ekanem, I. I. (2025). A Systematic Review of Engineering Plastics and their Viability in Conventional Industrial and Manufacturing Processes. *Journal of Materials and Manufacturing Technology*, 2(1), 12–32. <https://doi.org/10.48314/jmmt.vi.29>
9. Jafferson, J. M., & Chatterjee, D. (2021). A review on polymeric materials in additive manufacturing. *Materials Today: Proceedings*, 28th International Conference on Processing and Fabrication of Advanced Materials (PFAM28), 46, 1349–1365. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.485>
10. Li, H., Peng, C., & Mu, B. (2025). A review: Ceramic additive manufacturing. *Advances in Applied Ceramics*, 124(7–8), 173–204. <https://doi.org/10.1177/17436753251414940>
11. Martijanti, M., Salim, A. A., Prajito, D. H., Hahury, S., Hutagaol, H. M., Zen, Z. H., Febrina, W., Satria, F. P., Andrie, A., & Karyanik, K. (2025a). Teknik dan Teknologi Manufaktur. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
12. Martijanti, M., Salim, A. A., Prajito, D. H., Hahury, S., Hutagaol, H. M., Zen, Z. H., Febrina, W., Satria, F. P., Andrie, A., & Karyanik, K. (2025b). Teknik dan Teknologi Manufaktur. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
13. Memarzadeh, A., Safaei, B., Tabak, A., Sahmani, S., & Kizilers, C. (2023). Advancements in additive manufacturing of polymer matrix composites: A systematic review of techniques and properties. *Materials Today Communications*, 36, 106449. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2023.106449>
14. Muflikhun, M. A., Nuryanta, M. I., & Jamasri. (2024). *Komposit Serat Alam Pengenalan: Sifat Mekanis - Proses Manufaktur dan Perkembangannya*. UGM PRESS.
15. Nurmayanti, Y., Rukmana, M. D., Cengristitama, C., Amir, A. A., Nafillah, K., Sari, M. W., Karyanik, K., Aras, N. R. M., Apolonia, M. N., Aryadi, A., & Yusri, A. (2024). *Kimia Material*. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
16. Rasaki, S. A., Xiong, D., Xiong, S., Su, F., Idrees, M., & Chen, Z. (2021). Photopolymerization-based additive manufacturing of ceramics: A systematic review. *Journal of Advanced Ceramics*, 10(3), 442–471. <https://doi.org/10.1007/s40145-021-0468-z>
17. Ribeiro, J., Rodríguez-Martín, M., Barreiro, J., Fernández-Abia, A., García-Martín, R., Rocha, J., & Martínez-Pellitero, S. (2025). New trends of additive manufacturing using materials based-on natural fibers and minerals: A systematic review. *Heliyon*, 11(2), e41993. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41993>
18. Rodrigues, A., Pires, A., Barbosa, P., & Silveira, Z. (2024). Polymeric composites in extrusion-based additive manufacturing: A systematic review. *Polymer Composites*, 45, 6741–6770. <https://doi.org/10.1002/pc.28269>
19. Saro, D. (2025). Evolusi Material Komposit dalam Desain dan Penerapan Komponen Mesin Tinjauan Pustaka. *Journal Of Engineering And Technology Innovation (JETI)*, 2(01), 7–12. <https://doi.org/10.66084/jeti.v2i01.418>
20. Suprpto, W., Irawan, Y. S., & Robittah, A. (2025). *Logam Paduan dan Aplikasinya*. Universitas Brawijaya Press.
21. TriaPermata Sari, 1417041092. (2019). SIFAT FISIS KOMPOSIT PE/NANOSILIKA SEBAGAI FUNGSI KETEBALAN [Skripsi]. FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM. <https://digilib.unila.ac.id/57356/>
22. Wang, Y., Ding, Y., Yu, K., & Dong, G. (2024). Innovative polymer-based composite materials in additive manufacturing: A review of methods, materials, and applications. *Polymer Composites*, 45(17), 15389–15420. <https://doi.org/10.1002/pc.28854>
23. Zamista, A., & Deswita, P. (2024). MENINGKATKAN MUTU OPEN JOURNAL SYSTEM (OJS).