

Studi Bibliometrik Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca pada Beton

Alvina Aristawaty, Parmo*, Dian Rizky Adinda, Andi Kaisar Latenrikala,
Clarisha Arkananta Dewi

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya

*Koresponden email: parmo_99@uinsa.ac.id

Diterima: 21 Desember 2025

Disetujui: 31 Januari 2026

Abstract

This study conducts a comprehensive bibliometric analysis to map the intellectual landscape, developmental trends, and global research focus on the influence of adding glass powder to concrete during the period 2014-2024. Using a quantitative approach, the study analyzed 686 indexed documents from the Scopus database utilizing R-Software with R-Package of Biblioshiny. The results reveal exponential growth in publications with an annual rate of 20.2%, dominated by contributions from India and China. Keyword network analysis successfully identified three main research clusters: material optimization and composition, mechanical properties and durability of concrete, and sustainability and waste management aspects. The *Construction and Building Materials* journal was identified as the most influential publication outlet. The thematic map indicates that research on compressive strength and mechanical properties has been fully developed, while the sustainability theme still requires further development. The conclusion of this study affirms that this research field has developed and requires deeper integration between materials-science approaches and life cycle analysis, as well as strengthened international collaboration in the future.

Keywords: *glass powder, concrete, compressive strength, bibliometric analysis*

Abstrak

Penelitian ini melakukan analisis bibliometrik komprehensif untuk memetakan lanskap intelektual, tren perkembangan, dan fokus penelitian global mengenai pengaruh penambahan serbuk kaca pada beton selama periode 2014-2024. Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menganalisis 686 dokumen terindeks dari database Scopus menggunakan perangkat lunak R-Studio dengan R-package Biblioshiny. Hasil penelitian mengungkapkan pertumbuhan publikasi yang eksponensial dengan laju tahunan 20,2%, yang didominasi oleh kontribusi dari India dan Tiongkok. Analisis jejaring kata kunci berhasil mengidentifikasi tiga kluster penelitian utama, yaitu optimasi material dan komposisi, sifat mekanik dan durabilitas beton, serta aspek keberlanjutan dan pengelolaan limbah. Jurnal *Construction and Building Materials* teridentifikasi sebagai *outlet* publikasi paling berpengaruh. Peta tematik menunjukkan bahwa penelitian tentang kuat tekan dan sifat mekanik telah sepenuhnya berkembang, sementara tema keberlanjutan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut. Simpulan studi ini menegaskan bahwa bidang penelitian ini telah berkembang dan memerlukan integrasi yang lebih mendalam antara pendekatan material-sains dengan analisis daur hidup serta penguatan kolaborasi internasional ke depan.

Kata Kunci: *serbuk kaca, beton, kuat tekan, analisis bibliometrik*

1. Pendahuluan

Industri konstruksi global menghadapi tekanan yang semakin besar untuk mengurangi jejak karbon yang ditimbulkan, mengingat sektor ini menyumbang proporsi yang signifikan dari emisi gas rumah kaca dan konsumsi sumber daya alam dunia [1]. Penelitian terbaru oleh Adesina menunjukkan bahwa material konstruksi berkelanjutan dapat mengurangi emisi karbon hingga 40% dibandingkan material konvensional [2]. Dalam konteks keberlanjutan ini, perkembangan penelitian di bidang teknologi beton berkelanjutan mengalami pertumbuhan eksponensial dalam dekade terakhir, khususnya terkait inovasi material untuk mengurangi dampak lingkungan. Data dari Scopus menunjukkan peningkatan publikasi mengenai beton ramah lingkungan lebih dari 200% dalam lima tahun terakhir, dengan topik pemanfaatan material limbah sebagai substitusi semen menjadi bidang yang paling banyak diteliti [3]. Fenomena ini mendorong perlunya pemetaan sistematis melalui pendekatan bibliometrik untuk memahami lanskap penelitian yang semakin kompleks dan tersebar di berbagai jurnal internasional.

Analisis bibliometrik menjadi instrumen yang semakin relevan untuk memetakan bidang pengetahuan yang berkembang pesat, karena memungkinkan eksplorasi kuantitatif terhadap perkembangan ilmu pengetahuan melalui data publikasi yang masif. Pendekatan ini telah terbukti efektif dalam menganalisis lanskap penelitian di bidang teknik sipil dan material konstruksi, sebagaimana ditunjukkan oleh studi yang berhasil memetakan evolusi penelitian material beton. Perkembangan *software* bibliometrik seperti Biblioshiny pada R-package memberikan kemudahan dalam melakukan analisis yang komprehensif dan visualisasi yang interaktif terhadap kumpulan data publikasi yang besar. Metodologi ini memanfaatkan teknik seperti *co-occurrence analysis* dan *thematic evolution* untuk mengidentifikasi pola, hubungan, dan dinamika intelektual yang sering kali tidak terlihat dalam tinjauan literatur konvensional [4].

Berdasarkan tinjauan awal, penelitian mengenai pengaruh penambahan serbuk kaca pada beton telah menghasilkan temuan yang beragam dan multidisiplin. Menurut Liu, optimasi ukuran partikel serbuk kaca merupakan faktor kritis dalam menentukan performa beton yang dihasilkan [5]. Studi-studi empiris yang ada umumnya berfokus pada pengaruh serbuk kaca terhadap sifat mekanik beton seperti kuat tekan dan tarik, serta durabilitas dan karakteristik mikrostruktur. Namun, temuan dari berbagai penelitian ini sering kali menunjukkan hasil yang tidak konsisten, di mana beberapa penelitian melaporkan peningkatan performa beton sementara lainnya mencatat penurunan pada parameter tertentu [6]. Variasi dalam ukuran partikel, komposisi kimia kaca, dan prosedur pencampuran menjadi faktor yang diduga menyebabkan ketidakkonsistenan hasil ini, menciptakan lanskap penelitian yang kompleks yang sangat tepat untuk diurai melalui analisis bibliometrik yang kokoh.

Konteks perkembangan penelitian ini memiliki relevansi khusus dengan upaya mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya tujuan nomor 9 mengenai industri, inovasi, dan infrastruktur serta tujuan nomor 12 tentang konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab [7]. Implementasi beton ramah lingkungan telah terbukti berkontribusi signifikan terhadap pencapaian SDGs, khususnya dalam pengelolaan limbah konstruksi [8]. Karakteristik khusus penelitian serbuk kaca dalam beton adalah sifatnya yang sangat tersebar di berbagai disiplin ilmu, mulai dari ilmu material, teknik sipil, hingga ilmu lingkungan, yang membutuhkan pendekatan pemetaan untuk melihat keterkaitannya secara holistik. Menurut analisis awal, terdapat kecenderungan peningkatan kolaborasi internasional dalam publikasi terkait topik ini, meskipun pola dan jaringan kolaborasi ini belum pernah dipetakan secara komprehensif.

Meskipun terdapat beberapa tinjauan literatur sistematis mengenai topik terkait, pendekatan bibliometrik dengan alat analisis modern seperti yang telah diimplementasikan pada bidang penelitian lain menggunakan Biblioshiny, belum diaplikasikan secara optimal [9]. Kesenjangan ini mencakup kurangnya pemahaman tentang struktur intelektual bidang penelitian ini, evolusi tema penelitian dari waktu ke waktu, serta pola kolaborasi antar peneliti dan institusi. Kebaruan studi ini terletak pada penerapan analisis bibliometrik yang komprehensif menggunakan Biblioshiny untuk memetakan seluruh lanskap penelitian secara kuantitatif dan visual, termasuk analisis *co-word*, *cluster analysis*, dan *conceptual structure map*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis perkembangan penelitian mengenai pengaruh penambahan serbuk kaca pada beton melalui pendekatan bibliometrik menggunakan *software* R-Studio paket antar muka pengguna Biblioshiny (*R-package*), dengan fokus pada identifikasi tren publikasi, pola kolaborasi, jaringan kata kunci, dan evolusi tema penelitian. Manfaat teoretis dari studi ini termasuk penyediaan peta komprehensif yang dapat menjadi panduan bagi pengembangan penelitian lanjutan, sementara manfaat praktis mencakup identifikasi area penelitian potensial dan peluang kolaborasi bagi peneliti dan praktisi di bidang teknologi beton berkelanjutan, sehingga berkontribusi pada percepatan inovasi material konstruksi yang lebih hijau.

2. Metode Penelitian

Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan studi deskriptif kuantitatif dengan pendekatan bibliometrik yang bertujuan untuk memetakan lanskap intelektual dan perkembangan penelitian mengenai pengaruh penambahan serbuk kaca pada beton. Menurut Donthu, pendekatan bibliometrik efektif untuk menganalisis perkembangan pengetahuan suatu bidang penelitian secara komprehensif melalui data publikasi ilmiah [10]. Penelitian ini mengadaptasi kerangka *Systematic Literature Review* yang telah dimodifikasi untuk studi bibliometrik, sebagaimana direkomendasikan oleh Page untuk memastikan transparansi dan akuntabilitas dalam proses seleksi literatur [11].

Sumber Data dan Strategi Pencarian

Sumber data penelitian diperoleh dari database Scopus yang terindeks bereputasi internasional, untuk memastikan kualitas dan cakupan literatur yang komprehensif [12]. Database Scopus dipilih karena cakupannya yang luas dan berkualitas tinggi dalam bidang teknik dan material, serta sering digunakan dalam studi bibliometrik [13]. Proses pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan string pencarian TITLE-ABS-KEY ("glass powder" OR "waste glass") AND (concrete) AND ("compressive strength") yang dikombinasikan melalui operator Boolean, dengan subjek penelitian mencakup seluruh dokumen publikasi ilmiah yang membahas pemanfaatan serbuk kaca sebagai material dalam campuran beton selama periode 2014 hingga 2024. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel penelitian empiris atau review, (2) fokus pada pemanfaatan serbuk kaca dalam beton, (3) tersedia dalam bahasa Inggris, dan (4) terpublikasi dalam jurnal terindeks. Sementara kriteria eksklusi mencakup: (1) artikel akses terbatas, (2) studi tentang material kaca selain serbuk, (3) tidak tersedia abstrak lengkap, dan (4) publikasi duplikat. Proses seleksi dilakukan secara independen oleh dua peneliti untuk meminimalkan bias, yang setelah melalui proses *screening* menghasilkan 686 dokumen dari 234 sumber yang memenuhi kriteria untuk dianalisis lebih lanjut.

Teknik Analisis dan Perangkat

Analisis data dilakukan menggunakan software Biblioshiny, sebuah package dalam software R yang khusus dikembangkan untuk analisis bibliometrik komprehensif. Software ini dipilih karena kemampuannya dalam memproses data bibliometrik skala besar dan menghasilkan visualisasi yang interaktif [14]. Analisis data dilakukan melalui beberapa pendekatan utama, yaitu :

1. *Performance Analysis* digunakan untuk memetakan produktivitas dan dampak penelitian berdasarkan metrik seperti tren publikasi, jejaring kolaborasi peneliti dan institusi, serta analisis sumber publikasi (jurnal) yang paling berpengaruh.
2. *Science Mapping* digunakan untuk memahami struktur intelektual dan konseptual bidang penelitian melalui teknik seperti analisis kemunculan bersama kata kunci (*keyword co-occurrence*) dan analisis ko-pengutipan (*co-citation*) [15].
3. Hasil *performance analysis* dan *science mapping* kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta jaringan (*network map*) dan bagan untuk mengidentifikasi pola, *cluster* tema penelitian, dan hubungan antar elemen secara visual.

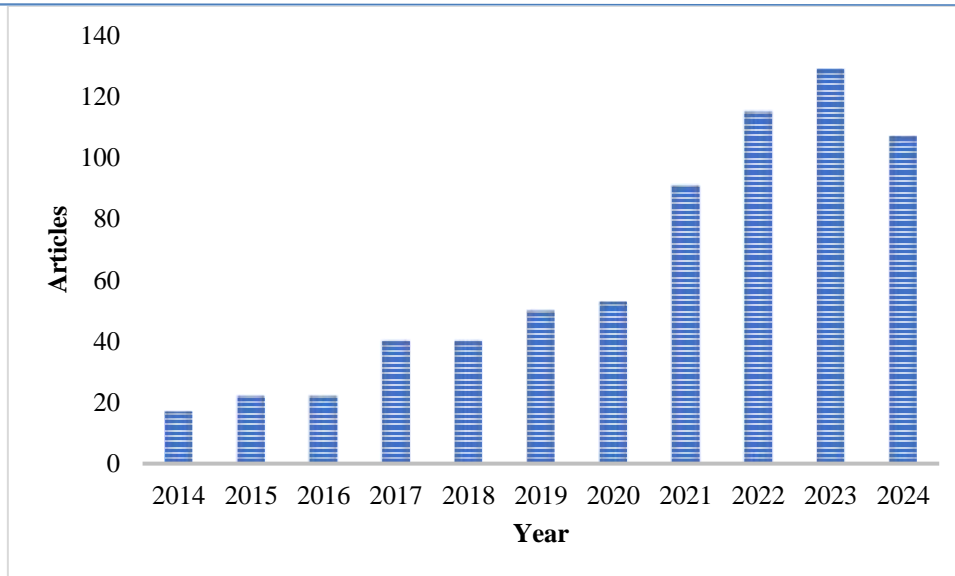
3. Hasil dan Pembahasan

Tren Produktivitas dan Dampak Ilmiah

Analisis terhadap 686 dokumen yang dipublikasikan antara tahun 2014 hingga 2024 mengungkapkan dinamika perkembangan penelitian yang signifikan dalam bidang pemanfaatan serbuk kaca pada beton. Pertumbuhan tahunan publikasi sebesar 20.2% mengonfirmasi pernyataan dalam pendahuluan mengenai perkembangan eksponensial penelitian di bidang beton berkelanjutan. Tren pertumbuhan ini tidak linear, melainkan menunjukkan percepatan yang signifikan setelah tahun 2020 (**Gambar 1**). Dari hanya 17 dokumen pada 2014, jumlah publikasi melonjak lebih dari enam kali lipat menjadi 107 dokumen pada 2024 (yang hanya mencakup sebagian tahun), dengan puncaknya pada 129 dokumen di tahun 2023. Pola ini merefleksikan bidang penelitian yang telah bergerak dari fase *emerging* menuju fase pertumbuhan yang sangat pesat, didorong oleh semakin mendesaknya kebutuhan akan material konstruksi berkelanjutan.

Usia rata-rata dokumen yang relatif muda, yaitu 3,15 tahun, mengindikasikan bahwa tubuh pengetahuan dalam topik ini sangat dinamis dan terus diperbarui. Sebagian besar literatur yang dianalisis merupakan publikasi yang sangat baru. Hal ini selaras dengan tingginya *annual growth rate*, yang menegaskan bahwa penelitian tentang serbuk kaca dalam beton merupakan *frontier research* yang masih sangat aktif, di mana temuan-temuan lama dapat dengan cepat digantikan atau disempurnakan oleh penelitian terbaru.

Dominasi tipe dokumen "*article*" (680 dari 686 dokumen) menunjukkan bahwa komunikasi ilmiah utama dalam bidang ini terjadi melalui jurnal yang melalui proses *peer-review*, yang merefleksikan kualitas dan kedalaman diskusi ilmiah yang berlangsung. Konsistensi ini memastikan bahwa temuan-temuan dalam bidang ini telah melalui validasi komunitas ilmiah sebelum dipublikasikan.



Gambar 1. Perkembangan Jumlah Publikasi Tahunan tentang Serbuk Kaca dalam Beton (2014-2024)

Rata-rata kutipan per dokumen sebesar 22.61 menunjukkan bahwa penelitian dalam bidang ini memiliki dampak yang signifikan. Analisis lebih mendalam terhadap rata-rata kutipan per tahun mengungkap pola yang menarik (**Tabel 1**). Dokumen-dokumen yang terbit pada periode awal (seperti tahun 2016 dengan *MeanTCperYear* 8.27) memperoleh tingkat sitasi tahunan yang tinggi, mengindikasikan bahwa publikasi-publikasi pionir tersebut diakui sebagai *foundational papers*. Sebaliknya, dokumen yang lebih baru (2023-2024) memiliki rata-rata sitasi tahunan yang lebih rendah, yang merupakan karakteristik normal dari siklus publikasi ilmiah di mana dokumen-dokumen ini merupakan bagian dari "*research front*" yang masih membutuhkan waktu untuk disitasi secara luas.

Tabel 1. Rata-rata Kutipan per Tahun Dokumen Berdasarkan Tahun Publikasi

Tahun	MeanTCperArt	N	MeanTC per tahun	Sitasi tahunan
2014	78,82	17	7,17	11
2015	26,77	22	2,68	10
2016	74,45	22	8,27	9
2017	47,67	40	5,96	8
2018	30,98	40	4,43	7
2019	35,12	50	5,85	6
2020	34,11	53	6,82	5
2021	23,05	91	5,76	4
2022	15,90	115	5,30	3
2023	8,85	129	4,42	2
2024	1,56	107	1,56	1

Sumber: Analisis peneliti dengan Biblioshiny

Jejaring Kolaborasi Internasional

Tingkat kolaborasi internasional yang mencapai 29,3% merupakan indikator yang kuat bahwa penelitian mengenai serbuk kaca dalam beton telah menjadi sebuah bidang kajian yang bersifat global. Angka ini menunjukkan bahwa hampir sepertiga dari seluruh publikasi melibatkan peneliti dari lebih satu negara, yang merefleksikan upaya kolektif untuk mengatasi tantangan lingkungan dan teknis yang kompleks, sebagaimana disebutkan dalam konteks SDGs pada pendahuluan.

Tingginya intensitas kolaborasi ini semakin ditekankan oleh rata-rata 3.94 penulis per dokumen dan hanya terdapat 24 dokumen (3,5%) yang ditulis oleh penulis tunggal. Data ini mengonfirmasi analisis preliminar dalam pendahuluan yang menyatakan adanya kecenderungan peningkatan kolaborasi internasional. Kolaborasi semacam ini sangat penting dalam bidang yang tersebar di berbagai disiplin ilmu (ilmu material, teknik sipil, ilmu lingkungan), karena memungkinkan penggabungan *expertise*, fasilitas, dan pendanaan yang beragam. Karakteristik kolaborasi ini, ditambah dengan jumlah penulis yang sangat

besar (1996 penulis) untuk 686 dokumen, merupakan tanda bahwa bidang penelitian ini telah mencapai tingkat kematangan tertentu, di mana kerja sama tim menjadi lebih umum daripada penelitian yang dilakukan secara terisolasi.

Pemetaan produktivitas negara mengungkapkan lanskap penelitian yang didominasi oleh India (215 dokumen) dan Tiongkok (191 dokumen), yang secara kolektif menyumbang hampir 60% dari total output penelitian (**Gambar 2**). Munculnya Irak (94 dokumen) dalam posisi ketiga, mengungguli negara-negara maju, menunjukkan bahwa motivasi penelitian tidak hanya didorong oleh kemajuan ekonomi, tetapi juga oleh urgensi lokal untuk memanfaatkan kembali limbah dan merehabilitasi infrastruktur. Sebaran geografis ini memberikan konteks bagi tingginya kolaborasi internasional, di mana negara-negara dengan sumber daya dan keahlian yang saling melengkapi membentuk jejaringan untuk memecahkan masalah bersama.



Gambar 2. Peta Produktivitas Negara dalam Penelitian Serbuk Kaca pada Beton

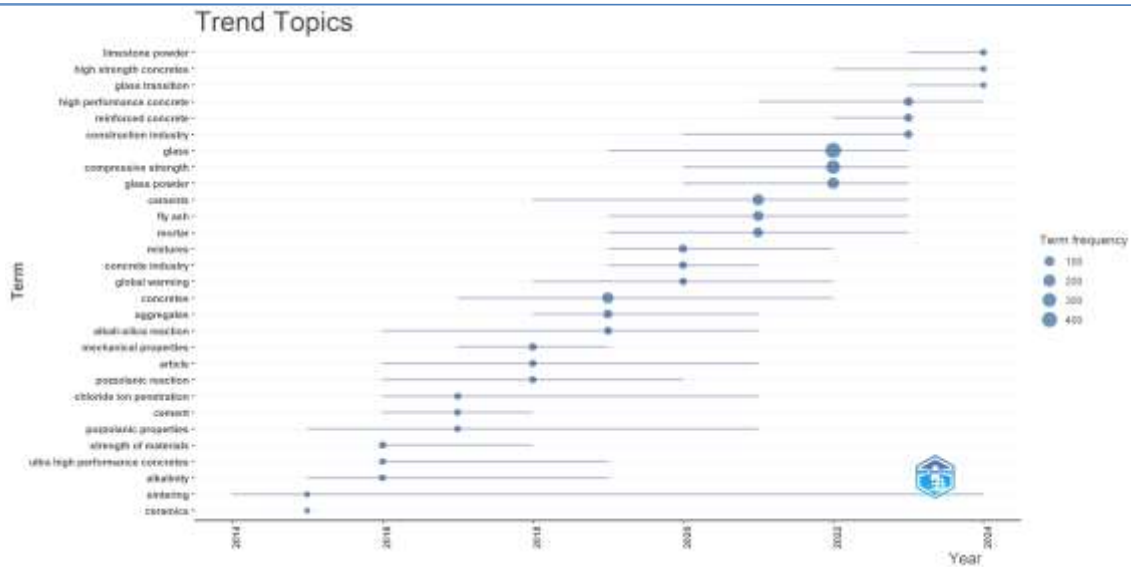
Analisis Sumber Publikasi Terdepan

Analisis terhadap sumber publikasi mengidentifikasi 234 jurnal dan prosiding yang telah mempublikasikan penelitian tentang serbuk kaca dalam beton. Konsentrasi penelitian ini sangat terlihat dengan 50% dokumen (343 dari 686) dipublikasikan hanya dalam 10 jurnal teratas. "*Construction and Building Materials*" menempati posisi yang sangat dominan dengan 113 artikel, menjadikannya saluran komunikasi utama dan forum diskusi paling berpengaruh dalam bidang ini. **Tabel 2** menunjukkan sepuluh sumber publikasi paling produktif penelitian tentang serbuk kaca dalam beton.

Tabel 2. Sepuluh Sumber Publikasi Paling Produktif

Element	h_index	g_index	m_index	TC	NP	PY_start
Construction and Building Materials	38	66	3,455	4764	113	2014
Journal of Cleaner Production	17	28	1,889	1586	28	2016
Journal of Building Engineering	14	23	2	554	28	2018
Case Studies in Construction Materials	13	22	2,6	487	24	2020
Materials	13	26	1,857	706	31	2018
Cement and Concrete Composites	10	11	0,909	751	11	2014
ACI Materials Journal	7	11	0,636	226	11	2014
Applied Sciences (Switzerland)	7	8	1,4	134	8	2020
Cement and Concrete Research	7	7	0,636	913	7	2014
Journal of Materials Research and Technology	7	9	1,167	204	9	2019

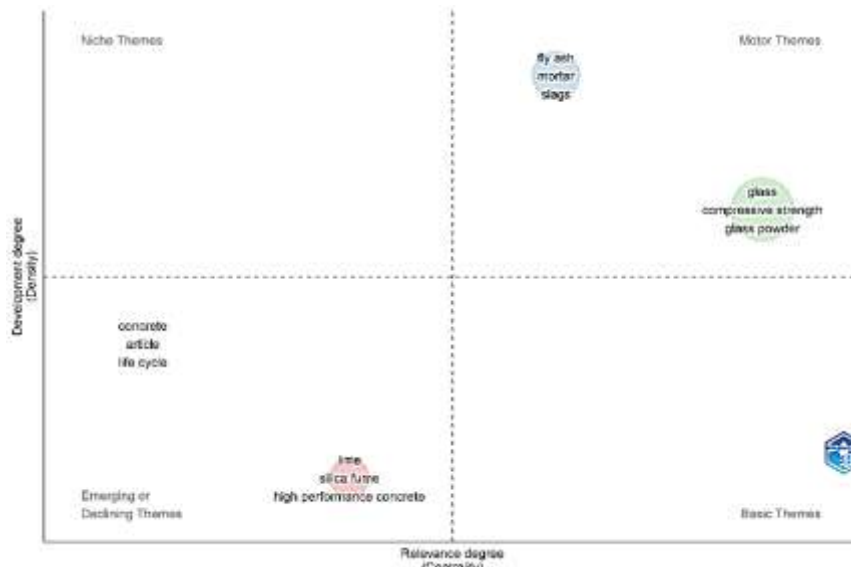
Dampak jurnal ini juga tertinggi dengan indeks-h 38, yang jauh melampaui pesaing terdekatnya seperti "*Journal of Cleaner Production*" (indeks-h 17) dan "*Journal of Building Engineering*" (indeks-h 14). Hal ini menunjukkan bahwa artikel-artikel dalam "*Construction and Building Materials*" tidak hanya produktif, tetapi juga secara konsisten berpengaruh, membentuk tulang punggung literatur bidang ini. Tingginya total kutipan sebanyak 4.764 pada jurnal ini semakin mengukuhkan posisinya sebagai *core publication outlet* dalam bidang penelitian serbuk kaca pada beton.



Gambar 4. Evolusi Topik Penelitian Berdasarkan Waktu

Analisis Tematik dan Arah Strategis

Analisis thematic map (Gambar 5) mengelompokkan tema penelitian ke dalam empat kuadran berdasarkan tingkat densitas dan sentralitas, memberikan pandangan strategis mengenai posisi dan potensi pengembangan masing-masing kluster penelitian.



Gambar 5. Peta Tematik Penelitian Serbuk Kaca dalam Beton

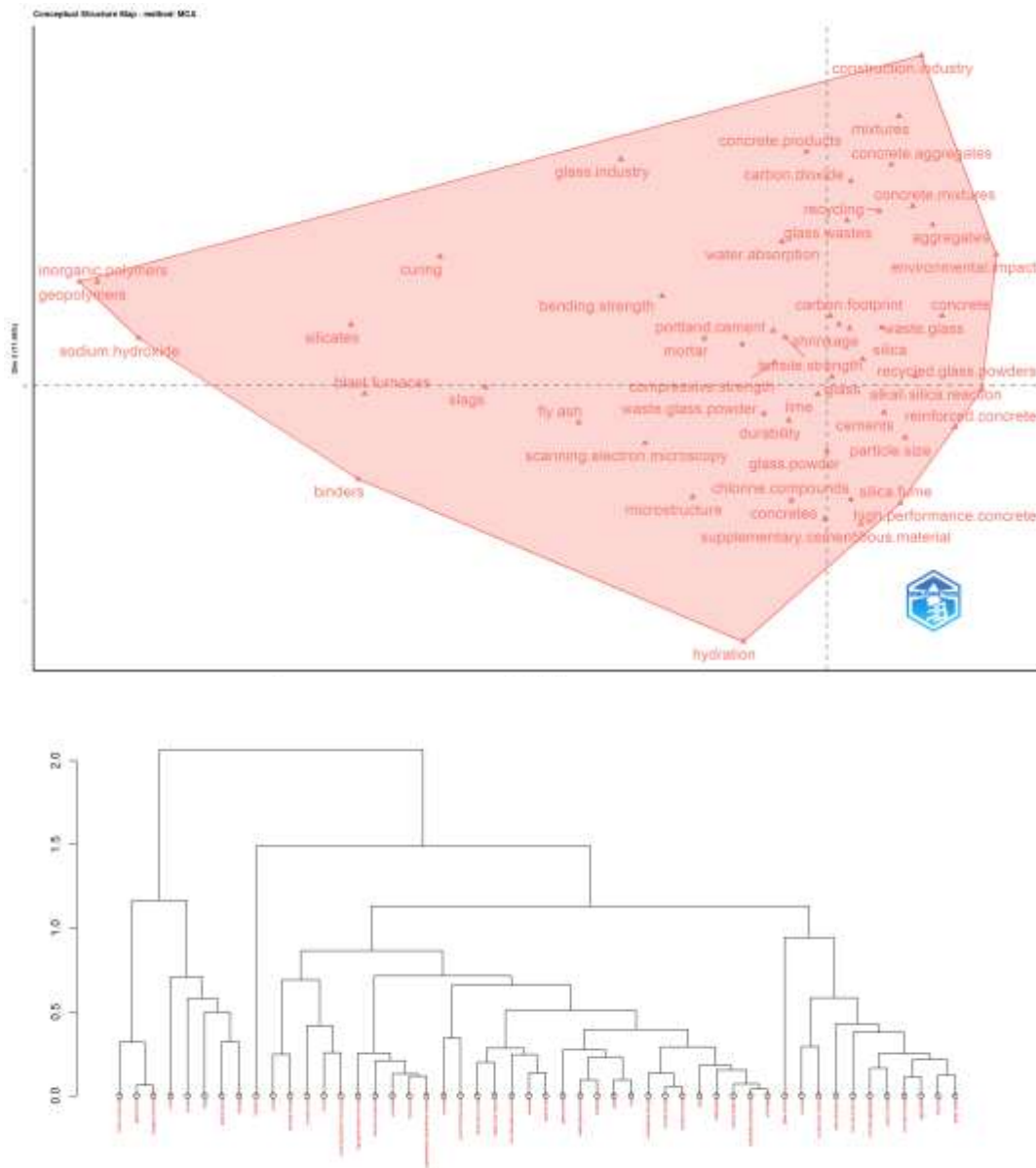
Kuadran Motor Themes (Kanan Atas): Tema "compressive strength", "durability", dan "mechanical properties" menempati posisi ini, mengindikasikan bahwa mereka merupakan tulang punggung penelitian yang sudah matang dan sangat relevan. Tema-tema ini memiliki kedua densitas (tingkat pengembangan internal) dan sentralitas (keterkaitan dengan tema lain) yang tinggi.

Kuadran Basic and Transversal Themes (Kanan Bawah): Tema "sustainability", "recycling", dan "waste management" berada di posisi ini, menunjukkan bahwa mereka merupakan tema dasar yang menghubungkan berbagai bidang penelitian namun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut.

Kuadran Emerging or Declining Themes (Kiri Bawah): Tema-tema spesifik seperti "alkali-silica reaction" dan "thermal properties" berada di kuadran ini, mengindikasikan bahwa mereka merupakan tema niche atau yang sedang dalam tahap perkembangan awal.

Kuadran Highly Developed and Isolated Themes (Kiri Atas): Beberapa tema spesifik seperti "microstructure analysis" menempati posisi ini, menunjukkan kedewasaan tema tersebut namun dengan keterkaitan terbatas dengan tema lain.

Analisis faktor dan *dendrogram* (**Gambar 6**) mengungkapkan struktur konseptual yang mendasari bidang penelitian ini. Dua dimensi utama menjelaskan sebagian besar variansi dalam data:



Gambar 6. Analisis Faktorial dan Dendrogram Hubungan Konseptual

Dimensi 1 (Pendekatan Material-Sains): Dimensi ini merepresentasikan penelitian yang berfokus pada karakterisasi material, analisis mikrostruktur, dan optimisasi komposisi. Kluster ini didominasi oleh pendekatan eksperimental laboratorium dan analisis material.

Dimensi 2 (Pendekatan Keberlanjutan-Terintegrasi): Dimensi ini mencakup penelitian yang menekankan aspek lingkungan, ekonomi sirkular, dan evaluasi daur hidup. Kluster ini menunjukkan pergeseran dari penelitian murni teknis menuju pendekatan yang lebih holistik.

Dendrogram mengonfirmasi adanya tiga kluster utama yang terpisah namun saling terkait: (1) kluster teknik-material, (2) kluster lingkungan-keberlanjutan, dan (3) kluster aplikasi-struktural. Pembagian ini merefleksikan evolusi bidang penelitian dari pertanyaan dasar "apakah bisa?" menuju "bagaimana mengoptimalkan?" dan akhirnya "apa dampaknya?".

Sintesis dan Implikasi

Hasil analisis bibliometrik secara komprehensif mengungkapkan bahwa penelitian tentang pemanfaatan serbuk kaca dalam beton telah berkembang menjadi bidang yang matang dengan identitas

intelektual yang jelas. Pertumbuhan eksponensial, tingkat kolaborasi yang tinggi, dan dampak ilmiah yang signifikan mengindikasikan vitalitas bidang penelitian ini.

Beberapa implikasi strategis dapat diidentifikasi:

1. Kesenjangan Penelitian: Meskipun penelitian pada sifat mekanis sudah matang, terdapat peluang pada investigasi dampak lingkungan secara kuantitatif melalui *Life Cycle Assessment (LCA)* dan analisis ekonomi implementasi skala penuh.
2. Peluang Kolaborasi: Jejaring kolaborasi internasional yang sudah terbentuk dapat diperkuat dengan melibatkan lebih banyak negara dengan masalah limbah kaca spesifik namun belum memiliki kapasitas penelitian memadai.
3. Arah Masa Depan: Integrasi antara pendekatan material-sains dengan prinsip ekonomi sirkular dan analisis daur hidup merupakan frontier berikutnya yang menjanjikan.

Temuan ini tidak hanya memetakan lanskap penelitian yang ada, tetapi juga memberikan panduan strategis bagi pengembangan penelitian masa depan dalam bidang beton berkelanjutan dengan memanfaatkan limbah kaca.

4. Kesimpulan

Studi bibliometrik ini berhasil memetakan lanskap penelitian mengenai pemanfaatan serbuk kaca dalam beton dari tahun 2014 hingga 2024. Temuan utama mengungkapkan bahwa bidang penelitian ini telah berkembang menjadi bidang yang matang dengan identitas intelektual yang jelas, ditandai dengan pertumbuhan eksponensial (20,2% per tahun), tingkat kolaborasi internasional yang tinggi (29,3%), dan dampak ilmiah yang signifikan (rata-rata 22,61 kutipan per dokumen).

Pemetaan konseptual mengidentifikasi tiga kluster utama yang membentuk struktur intelektual bidang ini: (1) material dan komposisi, (2) sifat-sifat beton, dan (3) aspek keberlanjutan. Analisis tematik lebih lanjut menunjukkan bahwa penelitian pada sifat mekanis telah matang (*Motor Themes*), sementara penelitian mengenai keberlanjutan masih memerlukan pengembangan lebih lanjut meskipun memiliki keterkaitan yang luas (*Basic and Transversal Themes*).

Implikasi strategis dari penelitian ini adalah:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut yang mengintegrasikan pendekatan material-sains dengan analisis daur hidup (LCA) dan analisis ekonomi untuk implementasi skala penuh.
2. Jejaring kolaborasi internasional yang sudah terbentuk perlu diperkuat dengan melibatkan lebih banyak negara yang memiliki masalah limbah kaca spesifik.
3. Integrasi antara pendekatan teknis dan prinsip ekonomi sirkular merupakan frontier penelitian yang paling menjanjikan di masa depan.

Keterbatasan studi ini antara lain pada penggunaan database Scopus saja dan kriteria inklusi yang terbatas pada artikel berbahasa Inggris. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggabungkan data dari beberapa database seperti *Web of Science* guna mendapatkan cakupan yang lebih komprehensif.

5. Daftar Pustaka

- [1] UNEP, "2022 Global Status Report for Buildings and Construction," United Nations Environment Programme, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- [2] M. H. R. N. K. G. M. Sadiqul Islam, "Waste glass powder as partial replacement of cement for," *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 6, pp. 37-44, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.job.2023.106218>
- [3] M. Aria, "bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," *Journal of Informetrics*, vol. 11, no. 4, pp. 959-975, 2017.
<https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- [4] T. Č. Ivan Zupic, "Bibliometric Methods in Management and Organization," *Organizational Research Methods*, vol. 18, no. 3, pp. 429-472, 2015.
<https://doi.org/10.1177/1094428114562629>
- [5] A. G. M. H. Celina Ziejewska, "Influence of Waste Glass Particle Size on the Physico-Mechanical Properties and Porosity of Foamed Geopolymer Composites Based on Coal Fly Ash," *Materials*, vol. 16, no. 5, p. 2044, 2023.
<https://doi.org/10.3390/ma16052044>

- [6] K. L. S. G. & G. L. K. Jain, "Durability performance of waste glass powder as cement replacement in concrete: A review," *Journal of Cleaner Production*, p. 356, 2022.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131858>
- [7] W. W. T. M. S. A. R. N. G. J. B. A. L. L. J. M. ... & A. F. M. S. Leal Filho, "The role of universities in achieving the Sustainable Development Goals," *Sustainability*, vol. 13, no. 16, p. 8960, 2021.
<https://doi.org/10.3390/su13168960>
- [8] C. R. Rusnak, "Sustainable Strategies for Concrete Infrastructure Preservation: A Comprehensive Review and Perspective," *Infrastructures*, vol. 10, no. 4, p. 99, 2025.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures10040099>
- [9] R. & H. E. N. S. Oktavianto, "A Comprehensive Study of Artificial Intelligence on Financial Analysis: A Bibliometric Analysis.," *Nominal: Barometer Riset Akuntansi dan Manajemen*, vol. 13, no. 1, pp. 98 -117, 2024.
<https://doi.org/10.21831/nominal.v13i1.66248>
- [10] N. K. S. M. D. P. N. & L. W. M. Donthu, "How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines," *Journal of Business Research*, vol. 133, pp. 285-296, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>
- [11] M. J. M. J. E. B. P. M. B. I. H. T. C. M. C. D. ... & M. D. Page, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, 2021.
<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- [12] J. S. M. P. A. C. G. & K. R. Baas, "Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies," *Quantitative Science Studies*, vol. 1, pp. 377-386, 2020.
https://doi.org/10.1162/qss_a_00019
- [13] P. & P.-H. A. Mongeon, "The journal coverage of Web of Science and Scopus: A comparative analysis," *Scientometrics*, vol. 106, no. 1, pp. 213-228, 2016.
<https://doi.org/10.1007/s11192-015-1765-5>
- [14] J. A. H.-V. E. S.-E. A. & C. M. J. Moral-Muñoz, "oftware tools for conducting bibliometric analysis in science: An up-to-date review," *El Profesional de la Información*, vol. 29, no. 1, p. e290103, 2020.
<https://doi.org/10.3145/epi.2020.ene.03>
- [15] N. J. & W. L. Van Eck, "tion-based clustering of publications using CitNetExplorer and VOSviewer," *Scientometrics*, vol. 111, no. 2, pp. 1053-1070, 2017.
<https://doi.org/10.1007/s11192-017-2300-7>