

JURNAL KONSTRUKSI DAN INFRASTRUKTUR

Teknik Sipil dan Perencanaan

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW MANAJEMEN PELAKSANAAN PEKERJAAN KOLOM UNTUK EFISIENSI DAN KEBERLANJUTAN PROYEK KONSTRUKSI

Kamelia^{1*}

^{1*)} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Al-Azhar, Medan.
Email Penulis Korespondensi : Kame02377@gmail.com
Nomor HP Penulis Korespondensi : 083182180055

ABSTRACT

The management of reinforced concrete column execution is a critical element in construction projects, significantly influencing project efficiency and outcomes. This study employs a Systematic Literature Review (SLR) approach, supported by bibliometric analysis, to identify and synthesize optimization strategies for column execution work. Data were systematically collected from the Scopus, ScienceDirect, and Publish or Perish databases, covering publications from 2021 to 2026. The process yielded 1,396 publications, which were filtered using strict inclusion criteria to obtain 35 relevant articles. The results identify three primary issues in column execution: time inefficiency, cost overruns, and declining work quality, which are largely associated with inadequate field coordination. Bibliometric analysis using VOSviewer and RStudio reveals dominant research themes and their interrelationships, particularly planning, labor scheduling, quality control, cost control, and digital technology implementation. The SLR further establishes that integrated planning, structured labor scheduling, systematic quality control, cost monitoring, and Building Information Modeling (BIM) implementation constitute the main management strategies for improving column execution performance. These findings provide a consolidated management framework linking specific execution strategies to three key performance dimensions: time efficiency, cost efficiency, and execution quality. The review also identifies a research gap in the integration of column execution management with sustainability principles, as only a limited number of studies explicitly address both aspects. This study contributes an evidence-based synthesis of column execution management strategies and provides a foundation for developing more efficient, cost-effective, high-quality, and sustainable construction practices.

Keyword: *BIM, Column Execution, Construction Management, Project Performance, Reinforced Concrete.*

1. PENDAHULUAN

Keberhasilan proyek konstruksi tidak hanya ditentukan oleh kualitas perencanaan, tetapi juga oleh efektivitas pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Kolom beton bertulang merupakan salah satu elemen struktural utama yang berperan dalam menyalurkan beban struktur menuju fondasi. Pelaksanaan pekerjaan kolom melibatkan berbagai aktivitas, seperti pemasangan tulangan, bekisting, pengecoran, dan pengendalian mutu yang membutuhkan penggunaan material, tenaga kerja, waktu, dan sumber daya secara terkoordinasi [1]. Ketidakefisienan pada salah satu tahapan tersebut dapat menyebabkan peningkatan waktu pelaksanaan, biaya tenaga kerja dan material, *rework*, serta pemborosan sumber daya. Dengan demikian, pengelolaan pekerjaan kolom menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi

waktu, biaya, dan mutu proyek konstruksi. Upaya meningkatkan efisiensi pekerjaan kolom telah dikaji melalui berbagai pendekatan. Penelitian terdahulu membahas produktivitas tenaga kerja pada pemasangan tulangan dan pekerjaan kolom, pemilihan metode bekisting, serta penerapan teknologi digital seperti *Building Information Modeling* (BIM). Pendekatan tersebut dapat membantu meningkatkan ketepatan pelaksanaan, mengurangi kesalahan, mengoptimalkan penggunaan tenaga kerja dan material, serta meminimalkan pekerjaan ulang. Efisiensi pada pekerjaan kolom juga memiliki keterkaitan dengan prinsip konstruksi berkelanjutan karena penggunaan material yang lebih optimal, pengurangan *construction waste*, dan peningkatan produktivitas dapat mengurangi konsumsi sumber daya selama proses konstruksi [2][3]. Oleh karena itu, optimalisasi pelaksanaan kolom tidak hanya berkontribusi terhadap efisiensi proyek, tetapi juga dapat mendukung pencapaian tujuan konstruksi yang lebih berkelanjutan. Namun, penelitian mengenai pelaksanaan kolom masih cenderung terfragmentasi pada aspek tertentu, seperti produktivitas tenaga kerja, metode bekisting, pemasangan tulangan, atau penerapan teknologi, dan sering dibahas sebagai bagian dari manajemen konstruksi secara umum. Kajian yang secara khusus mensintesis hubungan antara strategi pelaksanaan kolom dengan efisiensi waktu, biaya, mutu, dan keberlanjutan masih terbatas. Akibatnya, belum terdapat gambaran yang komprehensif mengenai strategi manajemen yang dapat mengoptimalkan pelaksanaan kolom sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mendukung konstruksi berkelanjutan. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menggunakan Systematic Literature Review (SLR) untuk mengidentifikasi dan mensintesis permasalahan, faktor yang memengaruhi, serta strategi manajemen pelaksanaan kolom beton bertulang. Kajian ini memfokuskan analisis pada keterkaitan strategi pelaksanaan dengan efisiensi waktu, biaya, mutu, dan keberlanjutan, sehingga menghasilkan pemetaan yang lebih terstruktur mengenai upaya optimalisasi pekerjaan kolom dalam mendukung kinerja proyek konstruksi.

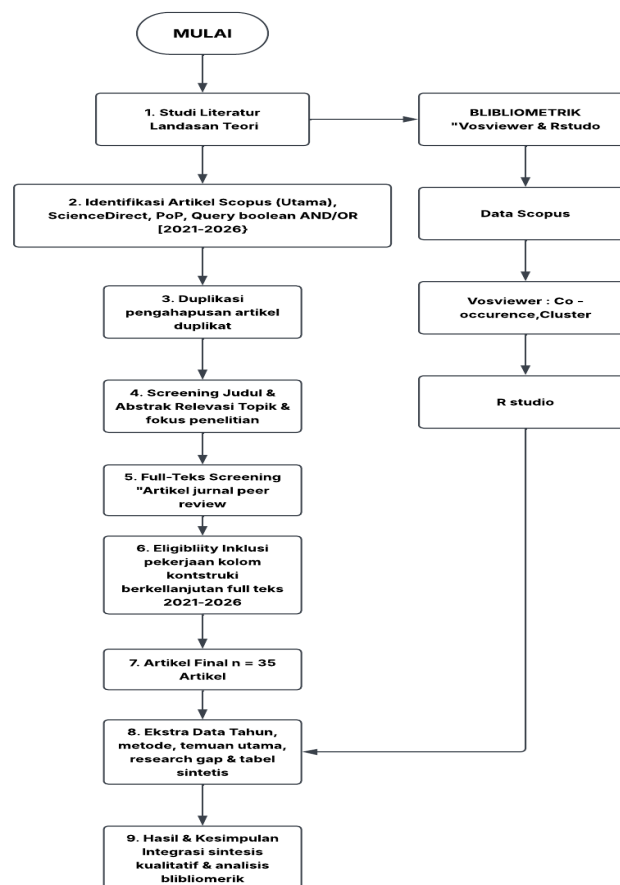
2. METODE

Pemilihan data dalam penelitian ini didasarkan pada sejumlah kriteria seleksi yang mencakup kesesuaian topik dan fokus kajian, tahun publikasi, relevansi pendekatan metodologis yang digunakan dalam artikel sumber, serta cakupan pembahasan mengenai pelaksanaan pekerjaan kolom dan konstruksi berkelanjutan [4]. Proses seleksi dilakukan secara berjenjang, mulai dari penyaringan judul dan abstrak hingga penelaahan teks lengkap, sehingga diperoleh artikel-artikel yang relevan untuk dianalisis lebih lanjut sebagai unit analisis utama dalam penelitian ini. Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif dengan membandingkan temuan dari artikel-artikel terpilih untuk mengidentifikasi persamaan, perbedaan, serta perkembangan kajian terkait pelaksanaan pekerjaan kolom pada proyek konstruksi, termasuk strategi-strategi yang telah dilaporkan dalam literatur untuk mengidentifikasi dan mereduksi pemborosan (*waste*) dalam pelaksanaan pekerjaan kolom. Pendekatan SLR dipilih karena memungkinkan penggabungan kajian literatur secara sistematis dengan sintesis temuan-temuan empiris yang telah dilaporkan pada studi-studi sebelumnya, sehingga menghasilkan kerangka evaluasi yang komprehensif terkait upaya peningkatan efisiensi dan keberlanjutan proyek konstruksi [5][6]. Metode penelitian ini bersifat deskriptif-kualitatif yang dipadukan dengan analisis bibliometrik kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengkaji praktik-praktik terbaik (*best practices*) dalam manajemen konstruksi, khususnya yang berkaitan dengan pekerjaan kolom, sebagaimana terungkap dari sintesis literatur. Sementara itu, pendekatan kuantitatif diterapkan melalui analisis bibliometrik menggunakan perangkat lunak VOSviewer dan RStudio untuk mengukur pola *co-occurrence* kata kunci, jaringan kolaborasi penulis, serta tren jumlah publikasi terkait isu efisiensi waktu, biaya, dan mutu sebagaimana dibahas dalam literatur [7].

2.1 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini disusun mengikuti tahapan *Systematic Literature Review* (SLR) secara sistematis dan terstruktur. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk menetapkan landasan teori dan fokus kajian, kemudian dilanjutkan dengan identifikasi artikel melalui penelusuran pada basis data Scopus sebagai sumber utama, didukung oleh ScienceDirect dan Publish or Perish, menggunakan kombinasi *query* Boolean AND/OR sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Pada tahap pencarian awal, diperoleh 139.831 artikel. Selanjutnya, penerapan batasan tahun

publikasi 2021–2026 menghasilkan 1.396 artikel yang menjadi dasar proses penyaringan. Artikel tersebut kemudian disaring secara bertahap melalui deduplikasi, *screening* judul dan abstrak, *full-text screening*, serta penilaian kelayakan (*eligibility*) berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan. Hasil proses penyaringan menghasilkan 35 artikel relevan yang ditetapkan sebagai unit analisis utama penelitian. Selanjutnya, data dari artikel terpilih diekstraksi meliputi tahun publikasi, metode penelitian, temuan utama, dan *research gap*, kemudian dirangkum dalam tabel sintesis literatur. Sintesis dilakukan secara deskriptif-kualitatif dengan membandingkan temuan antarartikel untuk mengidentifikasi persamaan, perbedaan, dan perkembangan kajian. Sebagai analisis pendukung, VOSviewer dan RStudio digunakan untuk memvisualisasikan pola *co-occurrence* kata kunci, jaringan kolaborasi penulis, dan tren perkembangan penelitian. Hasil integrasi keduanya menjadi dasar penarikan kesimpulan penelitian secara komprehensif.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.2 Sumber Data

Instrumen penelitian berupa dokumen artikel ilmiah, tabel sintesis literatur, data hasil pencarian (query) dari database Scopus, serta data sitasi yang diperoleh melalui aplikasi Publish or Perish. Proses pencarian literatur dilakukan menggunakan database Scopus sebagai sumber utama artikel ilmiah dengan memanfaatkan kombinasi kata kunci yang disusun menggunakan operator Boolean (AND dan OR). Kata kunci yang digunakan meliputi: *Reinforced Concrete*, *Column Execution*, *Construction Management*, *BIM*, *Project Performance*

Tabel 1. Tabel Data Query (2021-2026)

NO	QUERY	Jumlah Artikel
1	("column" OR "pillar" OR "post" OR "vertical support") AND ("execution" OR "implementation" OR "performance" OR "operation") AND ("management" OR "oversight" OR "administration" OR "coordination") AND ("construction" OR "building" OR "infrastructure" OR "project") AND ("schedule" OR "timing" OR "planning" OR "timeline") AND ("quality" OR "standards" OR "assurance" OR "control") AND ("cost" OR "budget" OR "finance" OR "expenditure")	139.831
2	("column" OR "pillar" OR "post" OR "vertical support") OR ("execution" AND "implementation" AND "performance" AND "operation") AND ("management" AND "oversight" OR "administration" OR "coordination") AND ("construction" OR "building" AND "infrastructure" OR "project") AND ("schedule" OR "timing" OR "planning" OR "timeline") AND ("quality" OR "standards" OR "assurance" OR "control") AND ("cost" OR "budget" OR "finance" OR "expenditure") AND (LIMIT-TO (OA , "all")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	1.396

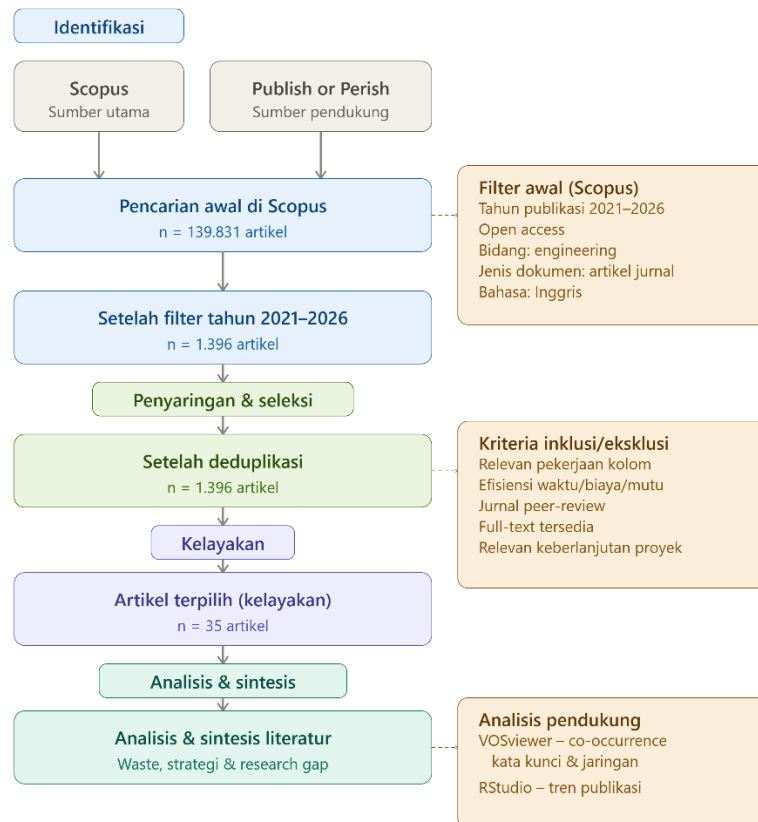
Sumber : Hasil Pencarian Rstudio

2.3 Metode Pengumpulan Data Dan Analisa Data

Pada penelitian ini, proses pencarian artikel dilakukan menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR). Scopus digunakan sebagai basis data utama dalam pencarian dan seleksi artikel, sedangkan *Publish or Perish* digunakan sebagai sumber pendukung untuk menemukan artikel atau referensi tambahan yang relevan. *Query* pencarian pada Scopus disusun menggunakan kombinasi kata kunci dan operator Boolean (AND dan OR) sesuai dengan fokus penelitian [8].

- Pada tahap awal, pencarian menggunakan *query* pada basis data Scopus menghasilkan 139.831 artikel. Jumlah tersebut masih terlalu luas, sehingga dilakukan penyaringan berdasarkan rentang tahun publikasi 2021–2026 serta kriteria penelitian yang telah ditetapkan. Setelah penerapan filter tersebut, diperoleh 1.396 artikel yang selanjutnya digunakan sebagai kumpulan artikel untuk proses seleksi lebih lanjut.
- Sebanyak 1.396 artikel kemudian diseleksi secara bertahap melalui pemeriksaan judul, abstrak, dan *full-text*. Seleksi dilakukan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang mencakup kesesuaian dengan pekerjaan kolom, efisiensi waktu dan biaya, mutu pelaksanaan, serta aspek keberlanjutan konstruksi. Artikel yang tidak relevan dengan fokus penelitian, tidak membahas elemen kolom secara langsung, atau tidak memenuhi kriteria kelayakan dikeluarkan dari proses seleksi. Setelah seluruh tahapan *screening* dan *eligibility* dilakukan, diperoleh 35 artikel terpilih yang digunakan sebagai dasar analisis dan sintesis SLR.
- Tahap Sebanyak 35 artikel terpilih dianalisis secara deskriptif-kualitatif untuk mengidentifikasi faktor yang memengaruhi efisiensi pelaksanaan kolom, strategi manajemen pekerjaan kolom,

aspek waktu, biaya, mutu, dan keberlanjutan, serta *research gap* yang masih terdapat dalam penelitian terdahulu. Selanjutnya, VOSviewer dan RStudio digunakan sebagai analisis pendukung untuk memvisualisasikan *co-occurrence* kata kunci, jaringan penelitian, dan tren publikasi. Sementara itu, Publish or Perish digunakan hanya sebagai sumber pendukung untuk memperkaya referensi dan penelusuran literatur, bukan sebagai basis perhitungan jumlah artikel



Gambar 2. Tabel Diagram Prisma

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pencarian Literatur Berbasis Data

Pencarian literatur dilakukan melalui tiga basis data dengan peran yang berbeda. Scopus digunakan sebagai sumber *query* utama menggunakan kombinasi operator Boolean (AND, OR, NOT) untuk menghasilkan artikel yang relevan sesuai fokus penelitian. ScienceDirect digunakan sebagai sumber referensi dan kutipan pendukung, sedangkan Publish or Perish digunakan untuk menelusuri dan memverifikasi data sitasi artikel terpilih guna memastikan relevansi dan dampak ilmiahnya. Berdasarkan hasil penelusuran pada ketiga basis data tersebut, proses seleksi berjenjang menghasilkan 35 artikel final yang memenuhi kriteria inklusi dari 139.831 artikel awal yang teridentifikasi. Tahapan seleksi secara lengkap disajikan pada diagram PRISMA (Gambar 2), dan sintesis seluruh artikel terpilih disajikan pada Tabel 2.[9].

3.2 Research Gap

Tabel berikut menyajikan identifikasi *research gap* (celah penelitian) dari setiap referensi yang digunakan dalam *Systematic Literature Review* (SLR) mengenai manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom untuk efisiensi dan keberlanjutan proyek konstruksi. Identifikasi *research gap* dilakukan untuk

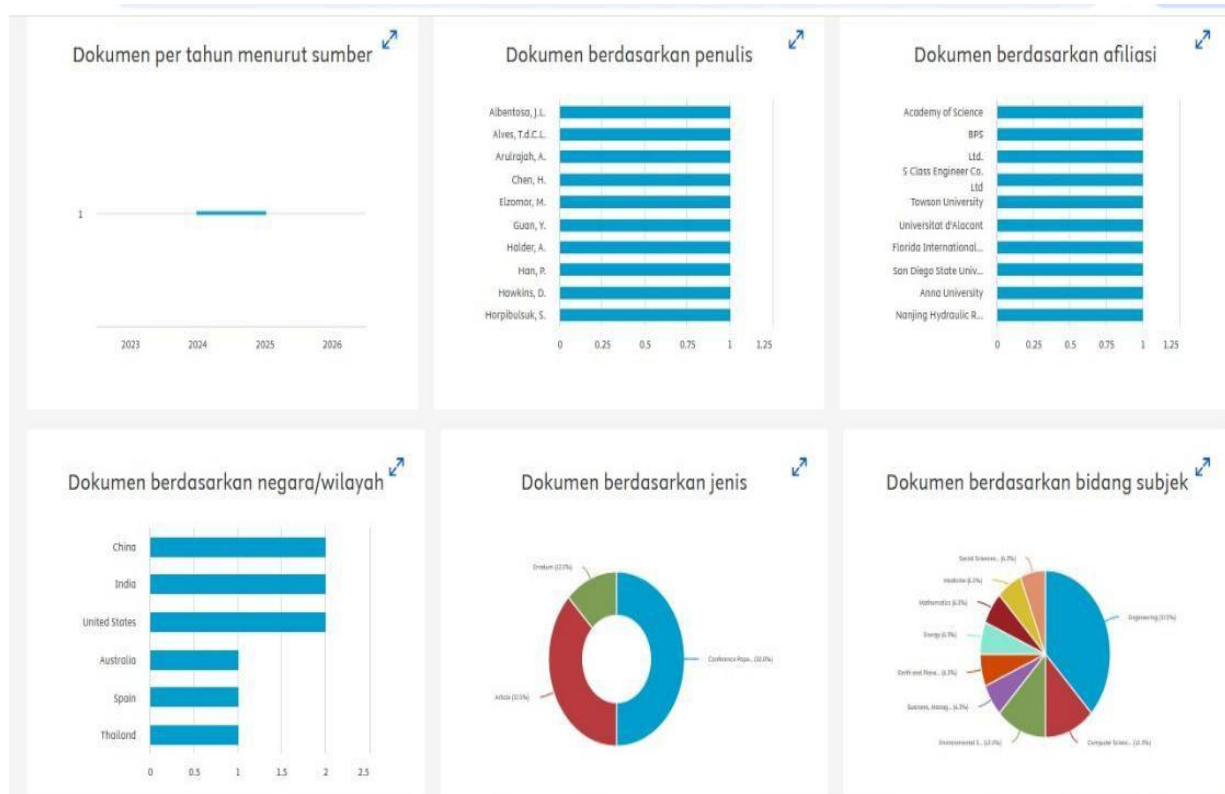
mengetahui fokus, metode, dan temuan penelitian terdahulu serta mengidentifikasi keterbatasan yang masih terdapat dalam manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom. Celah penelitian tersebut mencakup aspek metode pelaksanaan, penggunaan material, efisiensi waktu dan biaya, kualitas pekerjaan, teknologi konstruksi, serta aspek keberlanjutan. Hasil identifikasi ini diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah bagi penelitian lanjutan yang lebih spesifik, terintegrasi, dan kontekstual dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pelaksanaan pekerjaan kolom pada proyek konstruksi.

No .	Tahun & Penulis	Metode	Fokus Penelitian	Temuan Utama	Research Gap
1	2024 Basheer et al.	– Blockchain-based decentralised material management system	Blockchain / sistem manajemen material terdesentralisasi	Pengelolaan material konstruksi berbasis blockchain untuk meningkatkan transparansi dan pengelolaan material.	Belum tampak integrasi dengan perencanaan kebutuhan material, persediaan, waktu, dan biaya proyek secara terpadu.
2	2026 Oyefusi et al.	– Multi-level hierarchy decision-making framework	Kerangka pengambilan Keputusan hierarki multi-level	Mendukung pengambilan keputusan untuk implementasi praktik regenerative supply chain dalam konstruksi.	Belum terlihat penerapan langsung pada pengendalian kebutuhan dan persediaan material proyek.
3	2024 Zhengdao et al.	– Lean construction management	Lean construction	Mengevaluasi dan meningkatkan kinerja proyek bangunan prefabrikasi.	Belum spesifik mengintegrasikan lean construction dengan perencanaan kebutuhan dan pengendalian persediaan material.
4	2026 – Wang et al.	Efficiency of policy response to public emergency	Analisis respons kebijakan/manajemen proyek	Membahas efisiensi respons kebijakan terhadap keadaan darurat dalam industri konstruksi.	Belum berfokus pada pengendalian material sebagai respons operasional terhadap gangguan proyek.
5	2026 Shahin	– Innovative models for optimizing steel formwork weight	Model optimasi / studi kasus	Mengoptimalkan berat bekisting baja pada pekerjaan kolom beton.	Fokus pada bekisting; belum mencakup optimasi keseluruhan kebutuhan material dan keterkaitannya dengan waktu-biaya.
6	2020 Siregar, Harahap & Zurairah	– Perencanaan bahan baku menggunakan metode Min-Max	Min-Max	Menentukan pengendalian persediaan bahan baku menggunakan batas minimum-maksimum.	Objek bukan proyek konstruksi; belum mengintegrasikan persediaan dengan durasi dan biaya proyek.
7	Siregar & C. R. Planning	Capacity Requirement Planning dengan POM for Windows	CRP dan POM for Windows	Menghitung dan menganalisis kebutuhan kapasitas produksi.	Lebih berorientasi manufaktur; belum diarahkan pada kebutuhan kapasitas/material pekerjaan konstruksi.
8	2022 Bandio,	– Analisis kapasitas produksi	RCCP	Menganalisis kapasitas produksi menggunakan Rough	Belum menghubungkan kapasitas dengan

No .	Tahun & Penulis	Metode	Fokus Penelitian	Temuan Utama	Research Gap
	Nasution & Siregar			Cut Capacity Planning.	kebutuhan material serta jadwal dan biaya konstruksi.
9	2024 – Adry et al.	Evaluasi kualitas pekerjaan kolom beton	Evaluasi kualitas / studi kasus proyek	Mengevaluasi kualitas pelaksanaan pekerjaan kolom beton pada proyek gedung.	Belum mengkaji hubungan kualitas dengan perencanaan material, kapasitas, waktu, dan biaya.
10	2026 – Oyefusi et al.	Kerangka kerja pengambilan keputusan regenerative supply chain	Multi-level decision-making	Mendukung implementasi praktik manajemen rantai pasok regeneratif dalam konstruksi.	Belum tampak model operasional untuk pengendalian material proyek.
11	2023 – Sustainable Cities and Society	Hambatan implementasi digital twin dan sustainability	Analisis hubungan hambatan digital twin dengan sustainability	Memodelkan hubungan hambatan implementasi digital twin dengan pilar keberlanjutan.	Belum spesifik menggunakan digital twin untuk perencanaan dan pengendalian material.
12	2026 – Hasan & Is	BIM-enabled framework untuk evaluasi mega construction projects	BIM dan indikator SDGs	Menggunakan BIM untuk mengevaluasi proyek berdasarkan indikator pembangunan berkelanjutan.	Belum fokus pada optimasi kebutuhan material, biaya, dan waktu secara simultan.
13	2026 – Oyefusi et al.	Multi-level hierarchy decision-making framework	Hierarchical decision-making	Membahas kerangka pengambilan keputusan untuk praktik supply chain regeneratif.	Belum diuji integrasinya dengan metode perencanaan material seperti Min-Max atau MRP.
14	2024 – Amini et al.	Diameter measurement of jet-grouting column	Geo-electrical probe / field testing	Mengukur diameter kolom jet-grouting melalui metode geo-elektrik dan pengujian lapangan.	Fokus pada pengukuran teknis; belum membahas dampaknya terhadap kebutuhan material, waktu, dan biaya.
15	2024 – KOLEMENOGLU et al.	Seismic performance of repaired RC columns	Pengujian/permodelan kinerja seismik	Mengkaji kinerja seismik kolom RC yang diperbaiki dengan sustainable structural mortar.	Belum membahas perencanaan dan pengendalian material pada proses konstruksi/perbaikan .
16	2025 – Zeng et al.	3D printing continuous CFRP reinforcement	3D printing	Mengembangkan pencetakan 3D tulangan CFRP untuk kolom beton.	Fokus pada inovasi material dan struktur; belum mengintegrasikan teknologi dengan perencanaan material proyek.
17	2024 – Thai	Beam-to-CFST column joints	Comprehensive review	Meninjau secara komprehensif sambungan balok-kolom CFST pada bangunan komposit.	Fokus struktural dan belum mencakup manajemen material, biaya, serta waktu konstruksi.

No .	Tahun Penulis	&	Metode	Fokus Penelitian	Temuan Utama	Research Gap
18	2024 Esmaelian et al.	–	Self-centering RC columns with prestressed Fe-SMA	Eksperimen/kajian self-centering	Mengkaji kemampuan self-centering kolom RC menggunakan tulangan Fe-SMA prategang.	Belum membahas efisiensi kebutuhan dan pengelolaan material proyek.
19	2026 Agrawal et al.	–	Automated assembly schedules for precast building projects	Reinforcement learning dan Monte Carlo	Mengotomatisasi jadwal perakitan proyek prefabrikasi dalam kondisi tidak pasti.	Belum mengintegrasikan penjadwalan dengan kebutuhan dan ketersediaan material.
20	2025 Kripka	–	Design optimization of composite frame building	Optimasi desain	Mengoptimalkan desain untuk mengurangi biaya, emisi, dan embodied energy.	Belum mengkaji pengendalian material selama tahap pelaksanaan proyek.
21	2026 Shahin	–	Optimizing steel formwork weight	Model optimasi / studi kasus	Mengoptimalkan penggunaan bekisting baja pada konstruksi kolom beton.	Belum mencakup seluruh material proyek dan hubungan material-waktu-biaya.
22	2025 Jadallah & Alghamri	–	Progressive collapse under multiple column loss	Analisis perilaku struktur	Mengkaji pengaruh tipe pelat dan kedalaman balok terhadap progressive collapse.	Fokus pada struktur; belum pada perencanaan atau pengendalian material.
23	2025 Buitrago et al.	–	Robustness of full-scale precast building after edge column failure	Full-scale experimental/structural analysis	Mengkaji robustness bangunan prefabrikasi setelah kegagalan kolom tepi.	Belum membahas strategi kebutuhan material dan manajemen proyek pascakegagalan.
24	2025 Naumets, Lu & Qi	–	Time-cost combined optimization	Optimasi waktu-biaya	Mengoptimalkan waktu dan biaya proyek infrastruktur dengan batasan time-window lingkungan.	Kebutuhan dan persediaan material belum menjadi variabel utama optimasi.
25	2025 Edalatpour et al.	–	Project management and supply chain for sustainable construction	Model matematis dan studi kasus	Menyelaraskan manajemen proyek dan supply chain untuk konstruksi berkelanjutan.	Belum spesifik menerapkan model pada perencanaan kebutuhan material tingkat pekerja/proyek.
26	2026 Ibrahim et al.	–	Cyber technology in construction projects	Teknologi siber	Membahas teknologi siber sebagai jalur menuju efisiensi dan keberlanjutan konstruksi.	Belum spesifik pada pengendalian persediaan dan kebutuhan material.
27	2026 Nesarnobari et al.	–	Time-Cost-Waste trade-offs in panelised offsite construction	Analisis trade-off / optimasi	Menganalisis trade-off waktu, biaya, dan limbah pada supply chain konstruksi offsite.	Belum mengintegrasikan pengendalian persediaan material dengan ketiga indikator secara menyeluruh.

No .	Tahun & Penulis	Metode	Fokus Penelitian	Temuan Utama	Research Gap
28	2024 – De Almeida, Ferreira & Lins	Organization s and stakeholders' roles in sustainability requirements	Analisis stakeholder peran	Menganalisis peran dan pengaruh organisasi/stakeholder dalam penerapan keberlanjutan.	Belum menghubungkan stakeholder dengan keputusan kuantitatif kebutuhan dan persediaan material.
29	2024 Palawi, Susanti, Lestari & Winarsih	Estimasi biaya dan waktu pekerjaan grouting	Estimasi biaya dan waktu / studi kasus	Mengestimasi biaya dan waktu pekerjaan grouting pada proyek bendungan.	Belum mengintegrasikan estimasi dengan perencanaan kebutuhan dan persediaan material.
30	Johari & Amarulloh	Faktor keberhasilan proyek konstruksi	Analisis keberhasilan faktor	Mengidentifikasi faktor-faktor keberhasilan proyek konstruksi.	Masih umum dan belum secara khusus menguji pengendalian material sebagai faktor keberhasilan.
31	2024 Lawdy et al.	Perbandingan conventional dan semi-system formwork	Comparative study	Membandingkan metode bekisting konvensional dan semi-sistem.	Belum menghubungkan pilihan metode dengan optimasi material, biaya, dan waktu secara terpadu.
32	2023 Alrasheed, Soliman & Albader	Systematic review construction project delays	Systematic review	Meninjau faktor dan permasalahan keterlambatan proyek konstruksi di Kuwait.	Belum menguji pengendalian material secara spesifik sebagai mekanisme pencegahan keterlambatan.
33	2022 – Wong & Loo	Sustainability implications of precast concrete	In-depth project-level analysis	Menganalisis implikasi keberlanjutan penggunaan beton pracetak pada tingkat proyek.	Belum berfokus pada optimasi kebutuhan dan pengendalian persediaan material.
34	2026 – Wang	Carbon emission intensity and reduction potential of prefabricated concrete structures	Analisis emisi karbon	Mengkaji intensitas emisi karbon dan potensi reduksi karbon struktur beton prefabrikasi.	Fokus pada karbon; belum mengintegrasikan reduksi emisi dengan perencanaan material, biaya, dan waktu.
35	2024 – Fei, Liao & Lu	Construction material quantity estimation for reinforced concrete buildings	Knowledge-enhanced graph neural networks	Mengestimasi kuantitas material bangunan beton bertulang menggunakan GNN berbasis pengetahuan.	Sudah relevan untuk estimasi material, tetapi belum menghubungkan estimasi dengan pengendalian persediaan, waktu, dan biaya proyek.

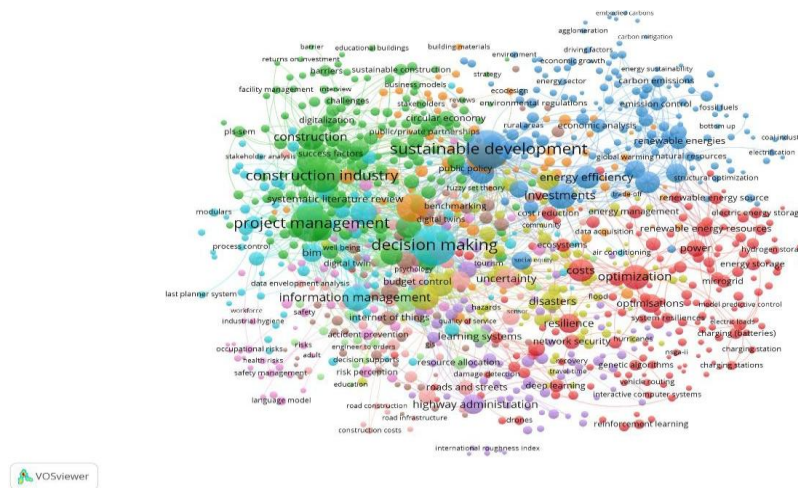


Gambar 3. Tren Jumlah Dokumen Berdasarkan Data Scopus

Gambar 3 menunjukkan tren jumlah dokumen yang diperoleh berdasarkan hasil pencarian dan proses indeksasi pada basis data Scopus. Data tersebut menggambarkan perkembangan jumlah publikasi dari tahun ke tahun berdasarkan query dan kata kunci yang digunakan pada tahap awal pencarian literatur. Pada tahap ini, pencarian dilakukan dengan cakupan yang lebih luas untuk mengidentifikasi berbagai penelitian yang memiliki keterkaitan dengan ruang lingkup SLR, seperti manajemen konstruksi, efisiensi pelaksanaan, teknologi konstruksi, material, dan keberlanjutan. Oleh karena itu, hasil yang ditampilkan pada Gambar 3 belum secara khusus menggambarkan penelitian mengenai pekerjaan kolom, karena pencarian tersebut merupakan tahap awal sebelum dilakukan penyaringan dan pemfokusan literatur. Tren jumlah dokumen pada gambar ini digunakan sebagai gambaran awal mengenai ketersediaan dan perkembangan literatur yang relevan dengan topik penelitian. Selanjutnya, hasil pencarian diperluas dan disaring berdasarkan kata kunci serta kriteria inklusi dan eksklusi untuk memperoleh artikel yang lebih spesifik sesuai dengan fokus penelitian, yaitu manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom untuk efisiensi dan keberlanjutan proyek konstruksi. Dengan demikian, Gambar 3 berfungsi sebagai gambaran awal hasil pencarian literatur, bukan sebagai representasi langsung dari perkembangan penelitian khusus mengenai pekerjaan kolom.[10].

3.3 Hasil Visualisasi Co-Occurrence

Analisis co-occurrence kata kunci menggunakan VOSviewer dilakukan untuk mengidentifikasi pola keterkaitan tema dalam literatur yang diperoleh dari proses pencarian. Pada visualisasi ini, ukuran node menunjukkan frekuensi kemunculan kata kunci, garis penghubung menunjukkan keterkaitan kemunculan antarkata kunci, sedangkan warna menunjukkan pengelompokan kata kunci ke dalam klaster tematik. Hasil visualisasi disajikan pada Gambar 4. Analisis co-occurrence digunakan untuk memberikan gambaran mengenai lanskap awal penelitian sebelum dilakukan sintesis terhadap artikel yang memenuhi kriteria inklusi, mengingat hasil pencarian awal memiliki cakupan yang lebih luas dibandingkan dengan fokus penelitian pada manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom.



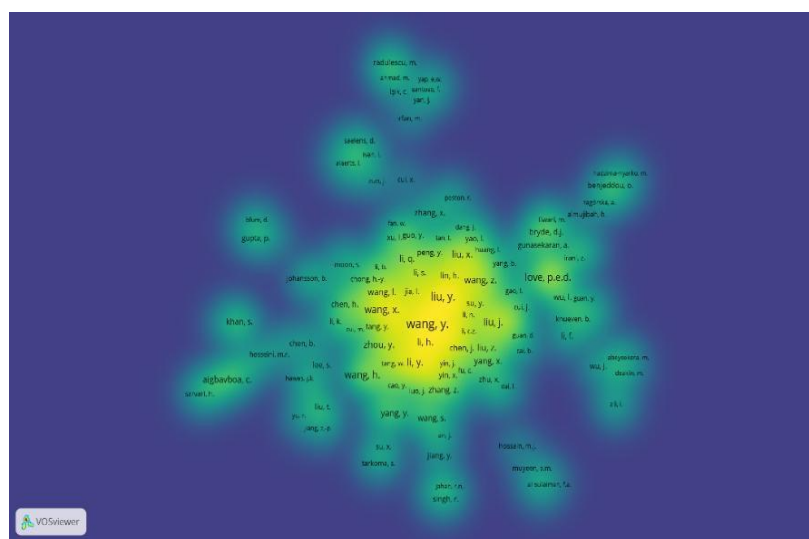
Gambar 4. Visualisasi VosViewer

Hasil visualisasi menunjukkan sejumlah tema yang muncul dalam literatur, antara lain *construction management*, *project management*, *sustainable construction*, *optimization*, *cost efficiency*, *supply chain*, *BIM*, *digital twin*, *IoT*, *circular economy*, dan keselamatan kerja. Keberagaman tema tersebut menunjukkan bahwa literatur hasil pencarian memiliki cakupan multidimensional dan tidak seluruh kata kunci berada pada tingkat yang sama dengan fokus pekerjaan kolom. Beberapa klaster merepresentasikan tema umum dalam manajemen dan teknologi konstruksi, sementara tema lainnya berkaitan dengan efisiensi, keberlanjutan, serta pengendalian pelaksanaan proyek. Keterkaitan beberapa tema dengan pelaksanaan pekerjaan kolom dapat dilihat melalui aspek manajemen konstruksi yang mendukung kegiatan pelaksanaan. Tema *supply chain* berkaitan dengan ketersediaan dan pengelolaan material, sedangkan *optimization* dan *cost efficiency* berkaitan dengan penggunaan sumber daya dan pengendalian biaya. Sementara itu, BIM dan teknologi digital seperti *digital twin* serta IOT berkaitan dengan koordinasi, perencanaan, pemantauan, dan pengendalian kegiatan konstruksi. Meskipun demikian, keberadaan tema-tema tersebut dalam hasil co-occurrence tidak menunjukkan bahwa seluruh penelitian dalam klaster secara khusus membahas pekerjaan kolom. Hubungan tersebut menunjukkan adanya keterkaitan konseptual antara manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom dengan aspek manajemen konstruksi yang lebih luas [10][11]. Berdasarkan proses penyaringan, diperoleh 35 artikel sebagai unit analisis utama. Artikel yang terpilih memiliki tingkat relevansi yang berbeda terhadap pelaksanaan pekerjaan kolom. Sebagian artikel membahas pekerjaan kolom secara langsung, sedangkan artikel lainnya membahas aspek pendukung seperti material, metode pelaksanaan, manajemen proyek, efisiensi waktu dan biaya, teknologi konstruksi, serta keberlanjutan. Shahin (2026) [12][13]. misalnya, membahas optimasi penggunaan bekisting baja pada konstruksi kolom beton. Adry et al. (2024) membahas evaluasi kualitas pelaksanaan pekerjaan kolom beton pada proyek gedung [14] Sementara itu, Fei, Liao, dan Lu (2024) membahas estimasi kuantitas material pada bangunan beton bertulang yang berkaitan dengan kebutuhan material, tetapi belum mengintegrasikan aspek tersebut dengan pengendalian persediaan, waktu, dan biaya proyek Heterogenitas artikel tersebut menunjukkan bahwa penelitian mengenai pekerjaan kolom masih beririsan dengan berbagai aspek manajemen konstruksi lainnya. Literatur mengenai penjadwalan, material, metode konstruksi, pengendalian biaya, kualitas, dan teknologi digital memberikan konteks yang mendukung pembahasan mengenai pelaksanaan pekerjaan kolom. Namun, belum seluruh penelitian mengintegrasikan aspek-aspek tersebut secara bersamaan dalam satu kerangka manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom. Hasil sintesis terhadap artikel yang telah diseleksi menunjukkan tiga permasalahan utama dalam pelaksanaan pekerjaan kolom, yaitu inefisiensi waktu, pembengkakan biaya, dan penurunan mutu. Ketiga permasalahan tersebut berkaitan dengan koordinasi lapangan, pengelolaan material dan tenaga kerja, metode pelaksanaan, serta pengendalian waktu, biaya, dan mutu. Dengan demikian, hasil co-occurrence memberikan gambaran mengenai tema-tema penelitian yang membentuk konteks pembahasan, sedangkan identifikasi permasalahan utama diperoleh melalui sintesis terhadap isi artikel yang relevan. Secara

keseluruhan, visualisasi co-occurrence menunjukkan bahwa penelitian mengenai pelaksanaan pekerjaan kolom berada pada persinggungan antara manajemen konstruksi, efisiensi sumber daya, pengendalian proyek, teknologi digital, dan keberlanjutan. Namun, masih terdapat keterbatasan penelitian yang secara khusus mengintegrasikan manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom dengan efisiensi waktu, biaya, mutu, dan keberlanjutan dalam satu kerangka yang terpadu. Kondisi tersebut menjadi dasar untuk membahas lebih lanjut strategi manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom berdasarkan temuan dari artikel-artikel yang telah diseleksi..[15]

3.4 Hasil Co – Authorship denstip

Sebagai analisis bibliometrik pendukung, pemetaan *co-authorship density* menggunakan VOSviewer dilakukan untuk menggambarkan tingkat kolaborasi antarpengarang dalam jaringan publikasi ilmiah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



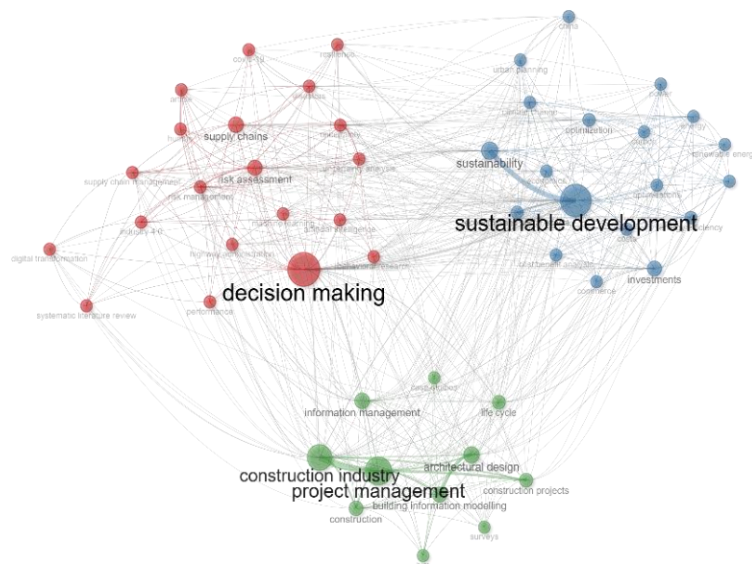
Gambar 5. Co-Outhorship denstip Visualisasi

Visualisasi menunjukkan bahwa zona kuning merepresentasikan tingkat kolaborasi tertinggi, zona hijau menunjukkan kolaborasi sedang, dan zona biru menunjukkan kolaborasi rendah. Hasil analisis mengindikasikan bahwa jaringan penelitian didominasi oleh beberapa penulis inti dengan hubungan kolaborasi yang kuat dalam pengembangan penelitian manajemen konstruksi[16]. Secara komplementer, visualisasi *word cloud* menggunakan RStudio menunjukkan dominasi kata kunci berdasarkan frekuensi kemunculannya, di mana semakin besar ukuran kata maka semakin tinggi intensitas kemunculannya dalam literatur yang dianalisis. Kedua visualisasi tersebut berfungsi sebagai analisis pendukung untuk memperkuat pemahaman terhadap lanskap penelitian secara bibliometrik. Porsi analisis utama selanjutnya difokuskan pada sintesis temuan artikel terkait manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom

3.5 Analisa Co-occurrence Network

Analisis *co-occurrence network* menggunakan *Biblioshiny/RStudio* dilakukan untuk memetakan hubungan antar kata kunci berdasarkan kemunculan bersama dalam publikasi ilmiah. Dalam representasi jaringan yang dihasilkan, setiap node merupakan simbol dari kata kunci tertentu, sementara garis penghubung (*edge*) mengindikasikan intensitas keterkaitan antar topik penelitian. Pada visualisasi jaringan, setiap *node* merepresentasikan kata kunci, sedangkan garis penghubung menunjukkan tingkat keterkaitan antar topik penelitian. Ukuran *node* menunjukkan frekuensi kemunculan kata kunci, sementara warna menunjukkan pengelompokan tema penelitian (*cluster*).ditunjukkan pada gambar 4. Hasil analisis

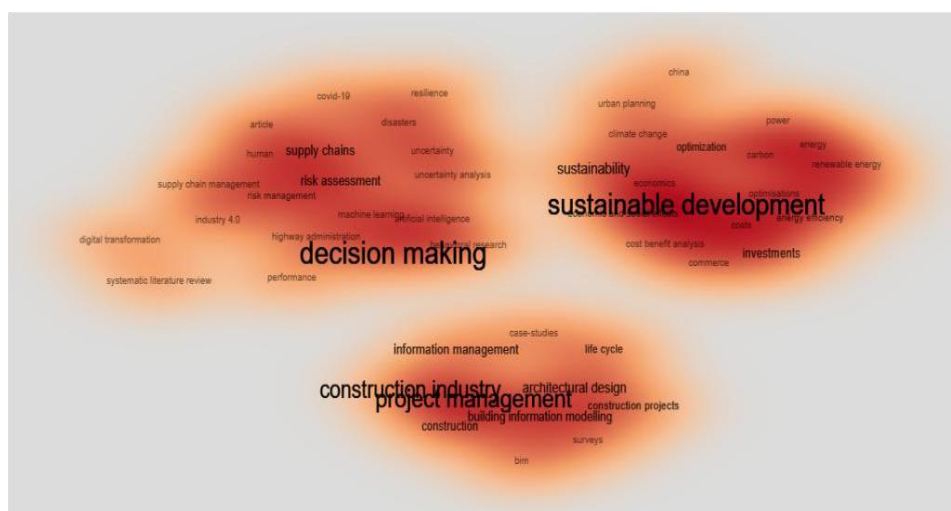
menunjukkan tiga kluster utama. Kluster merah mendominasi jaringan dengan fokus pada tema manajemen dan optimasi energi serta memiliki konektivitas paling kuat. Kluster biru menunjukkan hubungan yang erat dengan kluster merah, menandakan adanya keterkaitan tematik yang intensif antar topik penelitian. Sementara itu, kluster hijau memiliki pola yang lebih spesifik dan tersegmentasi, namun tetap relevan dalam ekosistem penelitian. Secara keseluruhan, kepadatan koneksi tertinggi berada pada area pertemuan kluster merah dan biru, yang menunjukkan adanya integrasi kuat antar tema penelitian dalam bidang manajemen konstruksi dan keberlanjutan proyek [17].



Gambar 6. Visualisasi Analisa Network

3.6 Hasil Co – Occurrence Network density

Analisis *co-occurrence network density* menggunakan Biblioshiny/RStudio dilakukan untuk memetakan tingkat kepadatan hubungan antara kata kunci dalam literatur terpilih sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil analisis mengidentifikasi tiga kluster utama yang relevan secara akademik dengan tujuan penelitian ini.



Gambar 7. Visualisasi Co-occurrence Kata Kunci

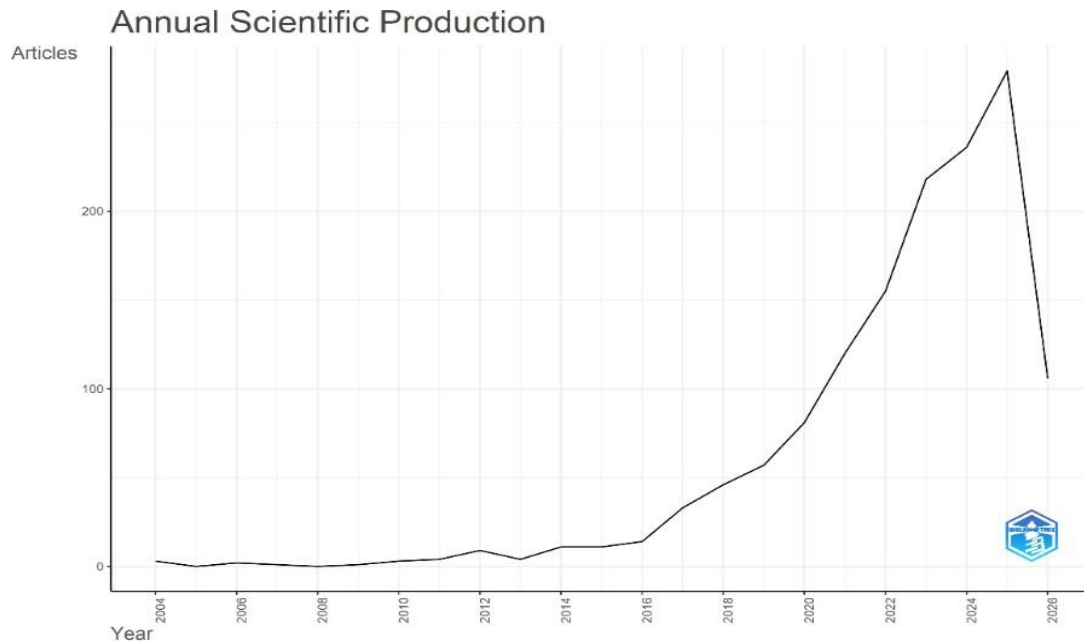
Klaster pertama mencakup tema manajemen risiko dan pengambilan keputusan (*decision making, risk management*), yang mengindikasikan bahwa pelaksanaan pekerjaan kolom menuntut kerangka pengambilan keputusan yang terstruktur dalam mengantisipasi risiko keterlambatan material, kesalahan pemasangan, dan deviasi mutu struktural. Klaster kedua mencakup tema keberlanjutan dan efisiensi (*sustainable development, energy efficiency*), yang menegaskan bahwa efisiensi pelaksanaan pekerjaan kolom tidak dapat dipisahkan dari prinsip konstruksi berkelanjutan yang semakin menjadi acuan dalam industri konstruksi modern. Klaster ketiga mencakup manajemen proyek konstruksi (*project management, construction industry, BIM*), yang secara langsung mendukung identifikasi strategi manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom dari aspek efisiensi waktu, biaya, dan mutu. Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa tema keberlanjutan, efisiensi, dan manajemen proyek konstruksi memiliki keterkaitan erat dengan tingkat frekuensi penelitian yang tinggi, sekaligus mengkonfirmasi bahwa integrasi ketiga tema tersebut dalam konteks spesifik pelaksanaan pekerjaan kolom.

3.7 Tabel Visual Annual

Berdasarkan grafik *Annual Scientific Production* pada Gambar di atas, data publikasi ilmiah menunjukkan perkembangan dari tahun 2004 hingga 2026. Data sebelum tahun 2021 disajikan sebagai konteks historis untuk menggambarkan tren perkembangan penelitian secara keseluruhan, sedangkan analisis utama difokuskan pada periode 2021–2026 sesuai rentang tahun yang ditetapkan dalam penelitian ini.

1. Periode Konteks Historis (2004–2020). Pada periode ini, jumlah publikasi tumbuh secara lambat dan bertahap, berkisar antara 0-80 artikel per tahun. Rendahnya jumlah publikasi menunjukkan bahwa topik manajemen konstruksi berkelanjutan dan pelaksanaan pekerjaan kolom belum mendapat perhatian yang signifikan dari komunitas peneliti global. Pertumbuhan mulai terlihat meningkat sejak tahun 2016 seiring meningkatnya kesadaran global terhadap isu keberlanjutan dan efisiensi konstruksi, namun masih dalam skala yang terbatas.
2. Periode Fokus Penelitian (2021–2025). Memasuki periode ini, terjadi lonjakan publikasi yang sangat signifikan, di mana jumlah artikel meningkat drastis dari sekitar 150 artikel pada tahun 2021 hingga mencapai puncaknya dengan hampir 280 artikel pada tahun 2025. Lonjakan ini mengindikasikan meningkatnya perhatian global terhadap isu efisiensi waktu, biaya, mutu, dan keberlanjutan dalam manajemen pelaksanaan proyek konstruksi, sekaligus memperkuat relevansi dan urgensi penelitian ini.
3. Periode 2026. Terjadi penurunan sementara menjadi sekitar 110 artikel. Penurunan ini bukan mencerminkan berkurangnya minat penelitian, melainkan disebabkan oleh data yang belum lengkap karena tahun 2026 masih berjalan pada saat pengambilan data dilakukan.

Secara keseluruhan, tren peningkatan publikasi yang signifikan dalam periode 2021–2026 mengkonfirmasi bahwa topik manajemen pelaksanaan konstruksi berkelanjutan semakin berkembang pesat dalam komunitas ilmiah global, sekaligus menegaskan urgensi penelitian ini dalam mengisi kesenjangan kajian (*research gap*) terkait manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom secara spesifik.

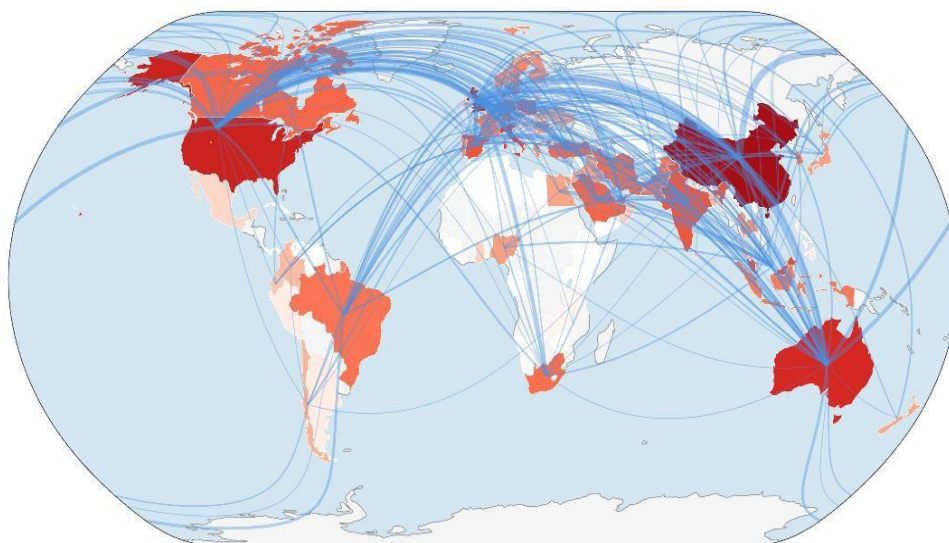


Sumber : Data Rstudio (2021-2026)

Gambar 9. Visualisasi Faktor Annual Berdasarkan Tahun

3.8 Visualisasi Country Collaboration Map

Sebagai informasi pendukung bibliometrik, peta kolaborasi internasional (*Country Collaboration Map*) disajikan untuk menggambarkan jaringan kerja sama antarnegara dalam publikasi ilmiah terkait manajemen konstruksi. Hasil analisis menunjukkan bahwa Amerika Serikat, Tiongkok, dan sejumlah negara Eropa merupakan kontributor utama dengan tingkat produktivitas publikasi tertinggi, sedangkan jaringan kolaborasi paling intensif teridentifikasi pada kawasan Asia Timur dan Pasifik, khususnya antara Tiongkok dan Australia[18]. Informasi ini relevan sebagai gambaran umum lanskap penelitian global, meskipun analisis utama penelitian ini tetap difokuskan pada sintesis temuan terkait manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom secara spesifik [2].



Gambar 10. Visualisasi Country Collaboration Map

4. KESIMPULAN

Berdasarkan proses *Systematic Literature Review* (SLR), sebanyak 35 artikel terpilih dari hasil penyaringan literatur periode 2021–2026 digunakan sebagai dasar analisis mengenai manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom beton bertulang. Hasil sintesis menunjukkan tiga permasalahan utama yang paling sering berkaitan dengan pelaksanaan pekerjaan kolom, yaitu inefisiensi waktu, pembengkakan biaya, dan penurunan mutu pekerjaan. Permasalahan tersebut berkaitan dengan keterlambatan pengadaan material, koordinasi lapangan, pemborosan material, kesalahan dalam pelaksanaan, serta pengawasan mutu yang belum optimal.[19][20]. Faktor yang banyak muncul dalam literatur meliputi perencanaan material, penjadwalan tenaga kerja, pengendalian mutu, pengendalian biaya, dan pemanfaatan teknologi digital. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kinerja pekerjaan kolom tidak hanya bergantung pada satu aspek pelaksanaan, tetapi memerlukan pengelolaan yang saling terkoordinasi antara sumber daya, waktu, biaya, dan mutu. Beberapa penelitian juga menunjukkan potensi teknologi seperti BIM dalam mendukung perencanaan, koordinasi, dan pengendalian pelaksanaan konstruksi. Sintesis literatur juga menunjukkan bahwa penelitian yang membahas pekerjaan kolom masih tersebar pada aspek tertentu, seperti bekisting, material, kualitas, penjadwalan, teknologi konstruksi, atau keberlanjutan. Kajian yang secara khusus mengintegrasikan manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom dengan efisiensi waktu, biaya, mutu, dan keberlanjutan masih terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya *research gap* berupa kebutuhan akan pendekatan yang lebih terintegrasi dan spesifik terhadap pekerjaan kolom. Dengan demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan pekerjaan kolom perlu diarahkan pada integrasi perencanaan material, penjadwalan tenaga kerja, pengendalian mutu dan biaya, serta pemanfaatan teknologi digital. Temuan ini memberikan dasar bagi pengembangan penelitian selanjutnya, khususnya untuk membangun model manajemen pelaksanaan pekerjaan kolom yang menghubungkan kinerja waktu, biaya, mutu, dan keberlanjutan secara lebih terukur.[21][22].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. J. Johari and S. Amarulloh, “Analisa Faktor Keberhasilan Proyek Kontruksi di Kabupaten Garut,” no. 1, doi: <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.19-2.895>.
- [2] E. D. A. N. Sipil, F. R. Bandio, R. H. Nasution, and Z. H. Siregar, “ANALISIS KAPASITAS PRODUKSI MENGGUNAKAN METODE ROUGHT CUT CAPACITY PLANNING (RCCP),” 2022, doi: <https://doi.org/10.54123/vorteks.v3i2.213>.
- [3] S. F. Rostiyanti, F. Fassa, and L. Sutanto, “EKSPLORASI FAKTOR KEBERLANJUTAN SOSIAL DALAM KONSTRUKSI BERKELANJUTAN,” vol. 3, no. 3, 2025, doi: 10.25077/jbk.3.3.112-123.2025.
- [4] M. Kripka, “Energy & Buildings Design optimization of a composite typology based on RC columns and THVS girders to reduce economic cost , emissions , and embodied energy of frame building construction,” vol. 336, no. February, 2025, doi: 10.1016/j.enbuild.2025.115607.
- [5] S. Naumets, M. Lu, and K. Qi, “Time – cost combined optimization in planning infrastructure construction projects under environment induced time-window constraints,” *Comput. Civ. Infrastruct. Eng.*, vol. 40, no. 31, pp. 6678–6700, 2025, doi: 10.1111/mice.70175.
- [6] A. Waqar, M. Houda, and M. Ahsan, “Tantangan Lingkungan,” vol. 18, 2025.
- [7] B. Salam and D. Ramayanti, “Optimasi Pengelolaan Proyek dengan Sistem Manajemen Data Berbasis Web untuk Meningkatkan Efisiensi dan Akurasi Progres Pekerjaan di Fanaya Art Construction,” vol. 4, no. 2, pp. 220–225, 2025, doi: <https://doi.org/10.30606/rjti.v4i2.3420>.
- [8] H. A. A, W. Salah, A. M. K. A, and M. A. M. A, “Tinjauan Ilmu Komputer tinjauan sistematis dan kerangka kerja sosio-teknis untuk integrasi digital .,” vol. 60, no. September 2025, 2026.
- [9] U. Samudra, S. Science, U. N. Jakarta, P. Education, and U. N. Jakarta, “ANALISIS BIBLIOMETRIK : ANTISIPASI THE TUG FALL TECHNIQUE PENCAK SILAT,” no. Icspsh 2024, 2025.
- [10] H. Bashir, R. Musa, H. Ahmed, A. Zarooni, and U. Ojiako, “Machine Translated by Google Kepemimpinan Proyek dan Masyarakat manajemen proyek konstruksi Machine Translated by Google,” vol. 5, 2024.
- [11] M. Jadallah and R. Alghamri, “Progressive collapse behaviour of reinforced concrete buildings

- under multiple column loss : Influence of slab type and beam depth,” vol. 115, no. October, 2025, doi: 10.1016/j.job.2025.114550.
- [12] F. Shahin, “Innovative models for optimizing steel formwork weight in concrete column construction: A case study,” *Results Eng.*, vol. 29, no. June 2025, p. 109033, 2026, doi: 10.1016/j.rineng.2026.109033.
- [13] S. Omar, H. Felizzola, G. Adriana, and N. Arrieta, “Case Studies on Transport Policy Influence of public procurement characteristics on cost and time overruns in rural road construction projects : A descriptive analysis,” vol. 24, no. April 2025, 2026, doi: 10.1016/j.cstp.2026.101748.
- [14] P. Civil, E. Journal, H. Adry, I. Sopacua, J. Mara, and A. N. M, “Evaluasi Kualitas Pelaksanaan Pekerjaan Kolom Beton Pada Proyek Pembangunan Gedung Baru RS Siloam Makassar,” vol. 6, no. 1, pp. 145–154, 2024, doi: <https://doi.org/10.52722/c5ngzj54>.
- [15] J. A. Bamgbade, “Machine Translated by Google Teknologi kembar digital infrastruktur : Paradigma baru untuk industri konstruksi masa depan,” vol. 77, 2024.
- [16] S. Ahmed, J. Beaver, and K. Aaltonen, “Surat Produksi Bersih Menjelajahi penerapan prinsip ekonomi sirkular melalui strategi manajemen proyek berkelanjutan dalam proyek konstruksi .,” vol. 10, no. September 2025, 2026.
- [17] P. Pramarta, “Integrasi Manajemen Proyek dan Teknologi Antena dalam Pengembangan Sistem Energi Berkelanjutan,” vol. 10, no. 1, pp. 537–543, 2026, doi: <https://doi.org/10.35870/emt.v10i1.5474>.
- [18] H. Siregar and C. R. Planning, “ELEKTRO DAN SIPIL PENGGUNAAN METODE CAPACITY REQUIREMENT PLANNING (CRP) DENGAN APLIKASI POM FOR WINDOWS DALAM PERHITUNGAN KAPASITAS PRODUKSI (STUDI KASUS INDUSTRI PENGOLAHAN TAHU XYZ),” vol. 01, no. 01, pp. 20–29, doi: <https://doi.org/10.54123/vorteks.v1i1.13>.
- [19] P. Dickemann, “Energi Terapan,” vol. 397, 2025.
- [20] K. Hussain, H. Sun, N. A. C, and M. Iqbal, “Heliyon Penilaian faktor risiko terhadap adopsi Green , Lean , Six Sigma di,” vol. 10, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32749>.
- [21] H. S. X. Zhang, “Machine Translated by Google Jurnal Penelitian Keselamatan berbasis pengetahuan yang inovatif untuk penilaian risiko keselamatan otomatis . Machine Translated by Google,” vol. 90, no. September 2023, pp. 272–294, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.05.011>.
- [22] Z. H. Siregar, U. N. Harahap, and M. Zurairah, “Perencanaan Bahan Baku Menggunakan Metode Min-Max Pada PT . TALENTA Conference Series Perencanaan Bahan Baku Menggunakan Metode Min-Max Pada PT . Pacific Palmindo Industri,” vol. 3, no. 2, 2020, doi: 10.32734/ee.v3i2.1073.