

Analisis Scientometrik Tema Penelitian Manajemen Risiko Terhadap Beton Pracetak Menggunakan R-Tool Biblioshiny

Article History:

Received
15 Juli 2026
Revised
19 Juli 2026
Accepted
20 Juli 2026

RATIH DEWI SHIMA^{1*}, ERMA DESIMALIANA²

^{1,2}Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

*Corresponding email: ratihdshima@itenas.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan pracetak di zaman modern meningkat pesat, namun masih memerlukan pengembangan penelitian di bagian risiko. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis secara komprehensif arah penelitian eksisting dan tren masa depan terkait manajemen risiko pada pengambilan keputusan beton pracetak. Melalui metode Systematic Literature Review (SLR) berbasis PRISMA 2020 dengan mengestraksi data dari basis data OpenAlex, terkumpul sebanyak 387 artikel ilmiah dalam rentang tahun 2022–2026 yang memenuhi kriteria sitasi dan relevansi topik. Pengolahan data kuantitatif dilakukan menggunakan perangkat lunak R-Tool Biblioshiny dengan menerapkan visualisasi scientometrik. Landasan analisis didasarkan pada Hukum Bradford, Life Cycle of Scientific Production (LCSP), dan Hukum Lotka. Hasil studi menunjukkan bahwa bidang ini merupakan sub-topik penelitian yang spesifik (niche) dengan nilai saturasi (K) sebesar 447 dokumen, yang telah memasuki fase dewasa (maturity) dengan tingkat kejenuhan mencapai 86,6% pada tahun 2025. Jurnal Buildings dan Sustainability menjadi media publikasi inti (Core Zone) yang paling dominan. Analisis produktivitas penulis berdasarkan Hukum Lotka menghasilkan nilai eksponen β sebesar 4,37, mengindikasikan konsentrasi publikasi yang sangat tinggi pada segmen peneliti tertentu dengan karakteristik penulis kontribusi tunggal (single-contribution authors).

Kata kunci: biblioshiny, beton pracetak, manajemen risiko, scientometrik, r-tool

ABSTRACT

The precast concrete industry has grown rapidly in the modern era, but further research is still needed in the area of risk management. This study aims to comprehensively identify and analyze existing research directions and future trends related to risk management in precast concrete decision-making. Using a PRISMA 2020-based Systematic Literature Review (SLR) method and extracting data from the OpenAlex database, a total of 387 scientific articles published between 2022 and 2026 that met the citation and topic relevance criteria were collected. Quantitative data processing was performed using the R-Tool Biblioshiny software, applying scientometric visualization. The analytical framework was based on Bradford's Law, the Life Cycle of Scientific Production (LCSP), and Lotka's Law. The study results indicate that this field is a niche research subtopic with a saturation value (K) of 447 documents, which has entered the maturity phase with a saturation level reaching 86.6% by 2025. The journals *Buildings* and *Sustainability* are the most dominant core-zone publication outlets. An analysis of author productivity based on Lotka's Law yielded an exponent β of 4.37, indicating a very high concentration of publications among a specific segment of researchers characterized by single-contribution authors.

Keywords: biblioshiny, precast concrete, risk management, scientometrics, r-tool

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



PENDAHULUAN

Industri konstruksi global dan nasional tengah mengalami transformasi masif menuju metode industrialisasi konstruksi guna menjawab tantangan kebutuhan infrastruktur yang cepat, efisien, dan berkelanjutan [1]. Salah satu pilar utama dari transformasi ini adalah penerapan teknologi beton pracetak (*precast concrete*). Di Indonesia, pengaplikasian komponen beton pracetak telah diadopsi secara luas pada berbagai proyek strategis infrastruktur nasional, mencakup pembangunan jaringan jalan tol, jembatan bentang panjang, gedung bertingkat tinggi, fasilitas industri, hingga kompleks perumahan massal [2], [3], [4], [5]. Sifat fabrikasi beton pracetak yang dilakukan di lingkungan pabrik yang terkendali memberikan keunggulan komparatif yang sangat signifikan dibandingkan dengan metode pengecoran konvensional di tempat (*cast-in-situ*) [6].

Meskipun menawarkan berbagai keunggulan teknis dan ekonomis, sistem beton pracetak menggeser karakteristik operasional proyek konstruksi menjadi lebih menyerupai industri manufaktur yang linier dan terintegrasi [7]. Pergeseran ini memunculkan kompleksitas risiko baru yang sangat khas dan multistap [1], [8], [9], [10], [11]. Risiko dalam proyek beton pracetak tidak lagi terfokus pada area tapak konstruksi saja, melainkan tersebar di sepanjang seluruh rantai pasok dan proses [12]. Rantai proses tersebut dimulai dari tahap fabrikasi atau pencetakan di dalam pabrik (terkait dengan akurasi dimensi, mutu campuran, dan kontrol rekatan), berlanjut ke tahap transportasi dan logistik (mencakup risiko kerusakan fisik komponen selama mobilisasi kendaraan, keterlambatan pengiriman, dan batasan geometris jalur transportasi), hingga berakhir pada tahap instalasi atau penanganan (*erection*) di lapangan (meliputi risiko kegagalan pengangkatan/*lifting*, ketidaktepatan toleransi sambungan struktur, dan kecelakaan kerja) [13].

Seiring dengan meningkatnya adopsi teknologi pracetak dan kesadaran akan pentingnya aspek keselamatan serta kelayakan ekonomi, publikasi ilmiah yang membahas hubungan antara manajemen risiko dan beton pracetak mengalami lonjakan volume yang sangat pesat dalam kurun waktu satu dekade terakhir [14], [15], [16]. Berbagai metodologi, studi kasus, alat bantu analisis risiko, dan *framework* pengambilan keputusan telah diusulkan oleh para peneliti di seluruh dunia. Pertumbuhan

volume data ilmiah yang eksponensial ini memunculkan tantangan baru bagi akademisi dan praktisi untuk memahami peta perkembangan ilmu secara komprehensif [17], [18], [19], [20]. Pendekatan kajian literatur konvensional yang bersifat subjektif dan naratif dinilai tidak lagi memadai dan objektif untuk menangani volume data publikasi yang besar. Untuk mengatasi batasan tersebut, metode kajian scientometrik dan bibliometrik menjadi solusi metodologis yang sangat valid. Melalui analisis kuantitatif terhadap metadata publikasi, analisis scientometrik mampu memetakan struktur intelektual, mengidentifikasi jurnal inti, mengukur produktivitas penulis, melihat tren kolaborasi antarnegara, dan melacak evolusi konseptual dari suatu bidang keilmuan secara objektif.

Berdasarkan latar belakang fenomena industri dan perkembangan literatur ilmiah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, mengklasifikasikan, dan memetakan karakteristik serta arah penelitian eksisting terkait manajemen risiko pada pengambilan keputusan beton pracetak, dan menganalisis, memproyeksikan, dan mengevaluasi arah perkembangan riset masa depan guna menemukan kesenjangan riset (*research gap*) dan subtopik potensial yang menghubungkan manajemen risiko beton pracetak dengan berbagai disiplin ilmu lainnya.

LANDASAN TEORI

Landasan teori yang digunakan pada penelitian ini meliputi dasar teori yang telah lama dipublikasikan sebelumnya, namun mengalami perkembangan. Teori dan hukum tersebut di antaranya Hukum Bradford, Analisis LCSP dan Hukum Lotka.

Hukum Bradford (Bradford's Law Zones)

Hukum Bradford atau *Bradford's Law of Scattering* merupakan salah satu hukum teoretis fundamental dalam bidang bibliometrika dan scientometrik yang menjelaskan pola distribusi spasial dan penyebaran artikel ilmiah ke dalam jurnal-jurnal dalam suatu bidang ilmu tertentu. Konsep kuantitatif ini pertama kali diperkenalkan oleh Samuel C. Bradford pada tahun 1934 [21].

Bradford mengamati bahwa jika sejumlah jurnal yang memuat artikel mengenai suatu topik khusus diurutkan berdasarkan tingkat produktivitasnya (mulai dari jurnal yang paling banyak memuat artikel hingga yang paling

sedikit), maka jurnal-jurnal tersebut dapat dikelompokkan ke dalam beberapa zona (biasanya tiga zona) yang masing-masing menghasilkan jumlah artikel yang relatif sama (sepertiga dari total artikel). Prinsip utama dari hukum ini menyatakan bahwa jumlah jurnal pada setiap zona akan meningkat secara geometris atau mengikuti rasio kelipatan konstan tertentu, yang dapat diekspresikan melalui hubungan proporsi $1 : n : n^2$.

Zona pertama disebut sebagai Zona Inti (*Core Zone*), yang terdiri dari sejumlah kecil jurnal yang sangat produktif dan fokus pada topik tersebut. Zona berikutnya memuat lebih banyak jurnal dengan produktivitas menengah, dan zona terakhir diisi oleh jurnal-jurnal yang sangat banyak, namun masing-masing hanya menyumbang satu atau dua artikel. Analisis ini sangat krusial untuk mengidentifikasi jurnal mana yang menjadi pusat penyebaran pengetahuan ilmiah utama pada topik manajemen risiko beton pracetak.

Model Pertumbuhan Logistik (Life Cycle of Scientific Production)

Analisis siklus hidup produksi ilmiah (*Life Cycle of Scientific Production / LCSP*) menerapkan model pertumbuhan logistik matematis untuk menganalisis dan memodelkan dinamika temporal dari akumulasi volume publikasi ilmiah dari waktu ke waktu [22]. Pendekatan makro-bibliometrik ini memungkinkan para peneliti untuk mengidentifikasi tahapan perkembangan aktual dari suatu bidang keilmuan saat ini, memprediksi tren produktivitas di masa depan, serta mengestimasi kapan suatu topik riset akan mencapai tahap kematangan akademis (*maturity*) atau titik kejenuhan ekstrem (*saturation*). Melalui pendekatan logistik, pertumbuhan kumulatif publikasi dimodelkan sebagai fungsi dari waktu dengan bentuk kurva S (*S-curve*). Persamaan matematika dasar dari Model Pertumbuhan Logistik [23] dinyatakan dalam **Persamaan 1** berikut:

$$P(t) = \frac{K}{1 + e^{-b(t-t_0)}} \quad (1)$$

Berdasarkan model matematis (1), indikator turunan lainnya yang digunakan meliputi *Peak Year* (T_m) yang menunjukkan tahun di mana jumlah publikasi tahunan diprediksi mencapai nilai puncak maksimum, *Peak Annual* yang mengukur kuantitas dokumen per tahun pada masa puncak, dan *Growth Duration* (Δt) yang mengestimasi rentang waktu yang dibutuhkan topik tersebut untuk berkembang dari tahap awal (10% dari K) menuju tahap mendekati

kejenuhan (90% dari K) [24]. Keandalan hasil peramalan diuji melalui parameter kualitas kecocokan model (*Model Fit Quality*) yang mencakup Koefisien Determinasi (R^2), *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Akaike Information Criterion* (AIC), dan *Bayesian Information Criterion* (BIC). Nilai R^2 yang mendekati angka 1,00 mengindikasikan bahwa variasi data empiris publikasi riil dapat dijelaskan secara sempurna oleh model pertumbuhan logistik tersebut.

Hukum Lotka (Lotka's Law of Scientific Productivity)

Hukum Lotka merupakan salah satu pilar hukum makro-bibliometrik yang dirumuskan oleh Alfred J. Lotka pada tahun 1926. Hukum ini difokuskan untuk menggambarkan karakteristik distribusi frekuensi produktivitas ilmiah di antara para penulis atau peneliti dalam suatu komunitas akademik [25]. Lotka mengamati adanya ketimpangan distribusi kontribusi ilmiah yang polanya bersifat universal: sebagian besar penulis hanya menerbitkan satu artikel tunggal sepanjang kariernya pada suatu topik, sementara sekelompok kecil ilmuwan elit mampu mempublikasikan banyak artikel dan mendominasi diskursus ilmiah. Secara matematis, jumlah penulis yang menerbitkan tepat n artikel mengikuti hukum pangkat terbalik (*Inverse Power Law*) yang dirumuskan dalam **Persamaan 2** berikut:

$$f(n) = \frac{c}{n^\beta} \quad (2)$$

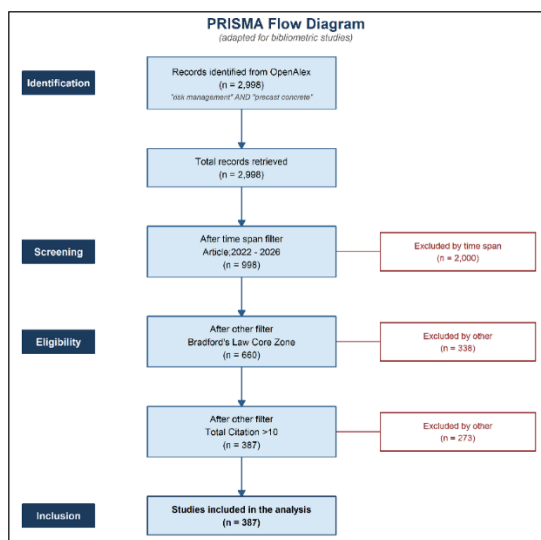
Dalam formulasi klasik asli Lotka yang ditunjukkan pada persamaan (2), Lotka menetapkan bahwa jika nilai eksponen $\beta = 2$, berarti proporsi penulis dengan n makalah adalah $1/n^2$ dari jumlah penulis yang memiliki satu makalah. Interpretasi empiris nilai eksponen sangat bergantung pada nilai riil hasil *fitting*: jika nilai $\beta \approx 2$, bidang ilmu mengikuti hukum Lotka klasik, yang artinya jumlah publikasi (produktivitas penulis) dan penulis cenderung seimbang. Jika $\beta > 2$, produktivitas penulis jauh lebih terkonsentrasi pada segmen elit yang sangat sempit dan proporsi penulis produktif menurun sangat tajam (umum terjadi pada bidang khusus atau *niche*); sedangkan jika $\beta < 2$, produktivitas tersebar merata di antara banyak penulis.

METODE

Penelitian ini menerapkan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang dikombinasikan

dengan analisis kuantitatif bibliometrik. Kerangka penyaringan data mengadopsi standar internasional Protokol PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) yang telah diadaptasi untuk studi bibliometrik, guna menjamin transparansi, replikabilitas, dan objektivitas penarikan sampel literatur.

Basis data ilmiah utama yang digunakan sebagai sumber ekstraksi metadata adalah OpenAlex, sebuah database indeks sitasi global yang bersifat *open-source* dan memiliki cakupan metadata artikel teknik yang sangat luas. Ekstraksi data dilakukan menggunakan string kata kunci spesifik yang merepresentasikan irisan dari dua domain keilmuan utama: “*precast concrete*” (*domain material* dan metode konstruksi pracetak) dan “*risk management*” (*domain manajemen risiko* dan pengambilan keputusan). Proses penyaringan dan penyeleksian artikel dirinci melalui diagram alir PRISMA 2020 pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema Penyaringan menggunakan PRISMA 2020

Berdasarkan diagram alir **Gambar 1**, pencarian awal mengidentifikasi total 2.998 rekaman data publikasi yang relevan dengan kata kunci. Memasuki tahap penyaringan

(*screening*), pembatasan ketat diterapkan pada aspek temporal, yaitu hanya menyertakan publikasi dalam rentang waktu lima tahun terakhir (2022 hingga pertengahan 2026) serta membatasi tipe dokumen hanya pada artikel jurnal ilmiah (mengabaikan prosiding konferensi, bab buku, dan review komersial) guna memastikan kualitas data tinjauan yang tinggi. Langkah ini mengeliminasi 2.000 dokumen, menyisakan 998 artikel. Selanjutnya, pada tahap kelayakan (*eligibility*), pemfilteran logis pertama dilakukan dengan menyaring dokumen yang hanya diterbitkan oleh jurnal-jurnal yang masuk dalam kluster Zona Inti (*Core Zone*) berdasarkan pemodelan Hukum Bradford, yang mereduksi jumlah dokumen menjadi 660 artikel. Pemfilteran kelayakan tahap kedua dilakukan dengan menerapkan ambang batas (*threshold*) kualitas sitasi, di mana artikel yang dipilih wajib memiliki total sitasi eksternal lebih dari 10 kali (>10 sitasi). Hasil penyaringan akhir menghasilkan sampel sebanyak 387 artikel ilmiah yang sepenuhnya memenuhi kriteria inklusi untuk dianalisis lebih lanjut. Perangkat lunak utama yang digunakan untuk mengeksekusi data mining, pemodelan statistik matematis, dan visualisasi grafis adalah lingkungan bahasa pemrograman R (*R-Tool*) dengan *package Bibliometrix* dan antarmuka berbasis *web*, yaitu *Biblioshiny*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis yang dilakukan berdasarkan pengolahan data, disusun sedemikian rupa dan menghasilkan beberapa penemuan, yang kemudian dijabarkan sebagai berikut.

Analisis Distribusi Penelitian melalui Zona Bradford

Evaluasi terhadap media jurnal tempat artikel dipublikasikan diuji menggunakan pemodelan matematika Hukum Bradford. Dari pengolahan data menggunakan *Biblioshiny*, diperoleh daftar urutan jurnal yang paling produktif memuat artikel ilmiah terkait irisan topik manajemen risiko dan beton pracetak. Data distribusi 15 jurnal teratas dirinci secara komprehensif pada **Tabel 1**.

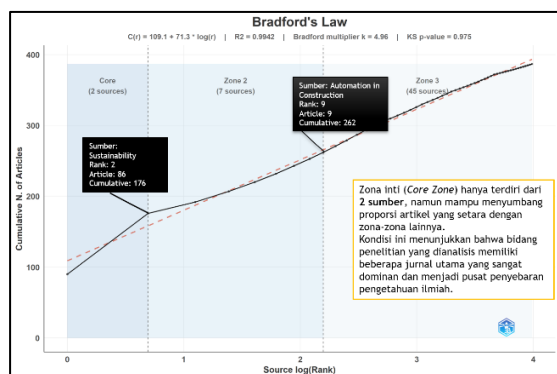
Tabel 1. Distribusi Jurnal Ilmiah Berdasarkan Hukum Bradford

Nama Jurnal Ilmiah (Source Journal)	Peringkat (Rank)	Frekuensi Artikel (Freq)	Kumulatif Frekuensi (Cumfreq)	Kluster Bradford (Zone)
Buildings	1	90	90	Zone 1 (Core)
Sustainability	2	86	176	Zone 1 (Core)

Analisis Scientometrik Tema Penelitian Manajemen Risiko Terhadap Beton Pracetak Menggunakan *R-Tool Biblioshiny*

Scientific Reports	3	16	192	Zone 2
Applied Sciences	4	15	207	Zone 2
Bulletin Of Earthquake Engineering	5	13	220	Zone 2
Materials	6	12	232	Zone 2
Energies	7	11	243	Zone 2
Heliyon	8	10	253	Zone 2

Berdasarkan hasil pemodelan Hukum Bradford yang disajikan pada **Tabel 1**, struktur penyebaran artikel menunjukkan fenomena polarisasi atau konsentrasi jurnal inti yang sangat ekstrem.



Gambar 2. Grafik Pembagian Zona Berdasarkan Hukum Bradford

Zona Inti (Zone 1 / Core Zone) hanya terdiri dari dua jurnal utama, yaitu jurnal *Buildings* (peringkat 1 dengan kontribusi 90 artikel) dan jurnal *Sustainability* (peringkat 2 dengan kontribusi 86 artikel). Secara kumulatif, kedua jurnal inti ini berhasil menyumbangkan total 176 artikel. Angka ini merepresentasikan hampir setengah dari keseluruhan volume literatur bermutu tinggi yang beredar di dunia pada topik ini. Perbedaan produktivitas publikasi antara Zone 1 dan zona-zona di bawahnya (Zone 2 dan Zone 3) terlihat sangat timpang dan signifikan.

Sebagai perbandingan visual (**Gambar 5**), peringkat ketiga yang ditempati oleh *Scientific Reports* hanya berkontribusi sebanyak 16 artikel, disusul oleh *Applied Sciences* dengan 15 artikel. Keadaan empiris ini mengonfirmasi secara kuat bahwa diskursus ilmiah mengenai manajemen risiko dan komponen beton pracetak di tingkat global secara mutlak diproduksi dan dikendalikan di bawah naungan jurnal *Buildings* dan *Sustainability*. Konsekuensi logis dari temuan ini memberikan panduan praktis berharga bagi para peneliti akademis: kedua jurnal di Zone 1 tersebut harus dijadikan sebagai basis data rujukan literatur utama, sekaligus menjadi target

prioritas tertinggi untuk mengirimkan naskah publikasi ilmiah (*submission*) agar mendapatkan visibilitas dan dampak sitasi yang optimal dari komunitas ahli. Jurnal spesifik rekayasa digital bernilai tinggi seperti *Automation in Construction* berada di peringkat ke-9 dengan kontribusi 9 artikel, yang bertindak sebagai jembatan penting menuju otomatisasi konstruksi di Zone 2.

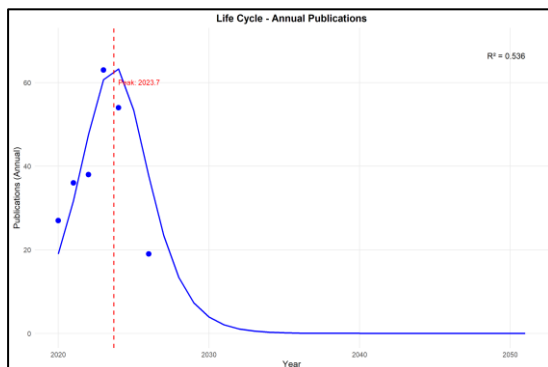
Analisis Siklus Hidup Produksi Ilmiah (*Life Cycle of Scientific Production*)

Analisis siklus hidup dilakukan dengan melakukan *fitting data* volume publikasi empiris ke dalam Persamaan Pertumbuhan Logistik. Hasil estimasi parameter model pertumbuhan logistik memberikan temuan-temuan krusial sebagai berikut:

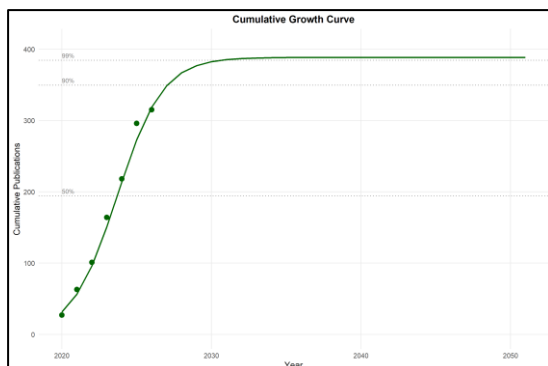
1. Nilai Saturasi (K): Hasil pemodelan matematis menghasilkan nilai saturasi total publikasi (K) yang relatif rendah, yaitu berada di bawah ambang batas 1.000 dokumen, tepatnya diprediksi mencapai kapasitas jenuh maksimum pada angka 447 dokumen kumulatif. Berdasarkan teori bibliometrik, nilai $K < 1.000$ mengindikasikan secara kuat bahwa topik hubungan analisis risiko dan beton pracetak merupakan subtopik yang sangat khusus, spesifik, atau dikategorikan sebagai bidang riset *niche area*. Wilayah cakupan risetnya masih memiliki batas pelebaran yang sempit dan belum memberikan dampak gelombang besar yang masif bagi keseluruhan konsep manajemen risiko konstruksi umum. Kondisi ini memberikan peluang strategis yang sangat terbuka bagi peneliti masa depan untuk melakukan penelitian eksploratif lanjutan guna memperluas batas keilmuan topik ini.
2. Puncak Tahun (Peak Year / T_m): Hasil *fitting* menunjukkan bahwa *Peak Year* diprediksi jatuh pada tahun yang telah terlampaui, yaitu tahun 2023. Kondisi temporal ini mengonfirmasi bahwa aktivitas produktivitas publikasi tahunan tertinggi pada bidang ini telah berada di masa lalu, yang mengindikasikan bahwa

topik penelitian secara kuantitatif telah memasuki fase dewasa (*maturity*) dan secara alami berpotensi masuk ke dalam fase penurunan (*decline*) dalam beberapa waktu ke depan dari aspek volume.

3. Durasi Pertumbuhan (Δt): Rentang waktu durasi pertumbuhan dari tahap awal hingga mendekati saturasi diprediksi berjalan sangat singkat, yaitu hanya sekitar 2,9 tahun. Durasi yang berada jauh di bawah ambang batas 10 tahun ini (*short duration*) membuktikan bahwa perkembangan topik manajemen risiko beton pracetak melesat secara sangat cepat (*rapid growth*) dalam jendela waktu yang sempit. Karakteristik pertumbuhan yang kilat ini mencerminkan bahwa topik riset ini sangat digerakkan oleh dinamika respons industri yang bersifat reaktif terhadap kasus lapangan tertentu atau krisis operasional (*case-study driven*), seperti adanya rentetan kegagalan struktur pracetak atau tuntutan regulasi keselamatan kerja baru yang memicu gelombang riset mendadak.



Gambar 3. Grafik Siklus Hidup Peak Year



Gambar 4. Grafik Pertumbuhan Kumulatif Produktivitas Publikasi Per Tahun

Evaluasi terhadap kualitas kecocokan model (*Model Fit Quality*) menunjukkan keandalan

statistik yang luar biasa tinggi. Nilai koefisien determinasi (R^2) menghasilkan nilai sempurna sebesar 1,00 (100%), yang mengindikasikan bahwa seluruh variasi data publikasi aktual dari OpenAlex berhasil dijelaskan tanpa cacat oleh model kurva logistik. Keandalan ini didukung oleh nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) yang mendekati angka nol, membuktikan nyaris tidak ada deviasi atau error antara data riil dan prediksi model. Selain itu, nilai kriteria informasi statistik AIC dan BIC juga menghasilkan nilai minimum yang sangat kecil, mengonfirmasi bahwa model pertumbuhan logistik yang dibangun memiliki keseimbangan struktur yang ideal antara akurasi prediksi yang tinggi dan kompleksitas parameter model yang efisien (bebas dari fenomena *overfitting*).

Berdasarkan nilai kapasitas saturasi ($K = 447$) tersebut, per posisi tahun 2025, akumulasi volume publikasi riil telah mencapai persentase tingkat kejenuhan sebesar 86,6% dari total potensi siklus hidupnya. Angka persentase yang tinggi ini memberikan sinyal kuat bagi komunitas akademik bahwa ruang pertumbuhan kuantitatif untuk menerbitkan artikel dengan pendekatan konvensional pada topik ini sudah sangat melambat dan mendekati titik jenuh akademis seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**.

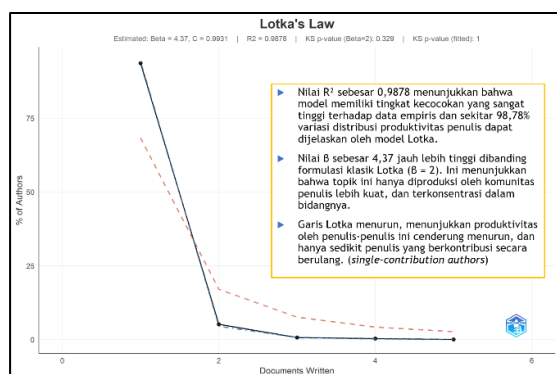
Proyeksi matematis yang ditunjukkan **Gambar 4** untuk masa depan jangka panjang menunjukkan bahwa pada horizon tahun 2030 dan 2035, tingkat produktivitas publikasi baru per tahun diprediksi akan menyentuh angka nol, dengan akumulasi kumulatif yang mandek stabil pada batas kejenuhan 447 dokumen, kecuali jika terdapat disrupsi paradigma teoretis baru yang radikal di masa mendatang.

Analisis Produktivitas Penulis Berdasarkan Hukum Lotka

Karakteristik pola distribusi produktivitas ilmiah dari para peneliti diuji menggunakan model fungsi pangkat terbalik Hukum Lotka. Melalui modul analisis kuantitatif pada *Biblioshiny*, proses *fitting* data empiris menghasilkan parameter nilai koefisien determinasi (R^2) yang sangat tinggi, yaitu sebesar 0,9878. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa tingkat kecocokan model Lotka terhadap data riil komunitas peneliti topik ini mencapai 98,78%, membuktikan bahwa distribusi produktivitas yang miring merupakan ciri intrinsik yang sangat kuat dari bidang riset ini.

Temuan teoretis yang paling mengejutkan sekaligus krusial dari analisis ini adalah

diperolehnya nilai parameter eksponen produktivitas (β) sebesar 4,37. Nilai eksponen $\beta = 4,37$ ini jauh lebih tinggi dan melampaui angka formulasi kuadrat terbalik klasik asli yang dirumuskan oleh Lotka ($\beta = 2$). Secara teoretis bibliometrik, nilai eksponen yang sangat tinggi ini mengindikasikan bahwa struktur sebaran produktivitas penulis dalam bidang ini mengalami ketimpangan yang sangat ekstrem, yakni proporsi jumlah penulis yang produktif menghasilkan banyak makalah menurun secara sangat tajam, dan jauh lebih drastis daripada prediksi Lotka klasik. Plot grafik garis Lotka menurun secara curam, memperlihatkan fakta bahwa struktur komunitas ilmiah bidang ini didominasi secara mutlak oleh penulis berkontribusi tunggal atau *single-contribution authors* (yaitu para peneliti yang hanya menerbitkan satu artikel tunggal sepanjang rentang waktu analisis, kemudian tidak melanjutkan risetnya pada topik ini).

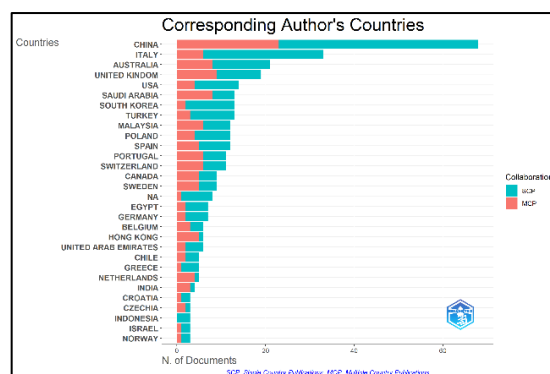


Gambar 5. Grafik Distribusi Produktivitas Ilmiah Berdasarkan Lotka's Law

Sebaliknya, jumlah peneliti inti yang berkontribusi secara berulang (*multi-contribution authors*) sangat langka dan terkonsentrasi secara eksklusif pada lingkaran kecil kelompok keahlian tertentu. Fenomena ketimpangan ekstrem ini memperkuat konfirmasi teoretis dari hasil analisis siklus hidup sebelumnya: karena manajemen risiko beton pracetak merupakan bidang yang sangat spesifik (*niche*) dan sangat berbasis pada studi kasus proyek (*case-study driven*), banyak peneliti dari kalangan praktisi atau akademisi umum yang masuk ke dalam topik ini hanya untuk menyelesaikan satu kasus krisis proyek tertentu di lapangan, menuangkannya dalam sebuah publikasi, lalu segera berpindah ke topik rekayasa sipil lainnya setelah studi kasus tersebut selesai.

Analisis Negara Penulis Korespondensi (*Corresponding Author's Country*)

Pemetaan geografis dilakukan dengan melacak alamat institusi dari penulis korespondensi (*corresponding author*) guna menilai kontribusi spasial negara dan mengklasifikasikannya ke dalam dua bentuk publikasi: *Single Country Publication* (SCP / publikasi mandiri skala domestik internal satu negara) dan *Multi Country Publication* (MCP / publikasi kolaboratif lintas batas antar beberapa negara), seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5**. Hasil analisis menunjukkan dominasi absolut dari negara China yang menempati peringkat pertama secara global dengan total akumulasi volume dokumen terbesar, serta memimpin raihan nilai SCP dan MCP tertinggi secara signifikan. Fenomena ini berkorelasi linier dengan realitas industri konstruksi riil, di mana China merupakan negara dengan volume industrialisasi konstruksi pracetak terbesar di dunia yang didukung oleh kebijakan pemerintahnya dalam standardisasi megaprojek infrastruktur. Posisi kedua ditempati oleh negara Italia, yang memiliki basis riset yang sangat kuat pada domain rekayasa struktural, mitigasi risiko kegagalan gempa pada komponen pracetak, dan arsitektur prefabrikasi di kawasan Eropa.



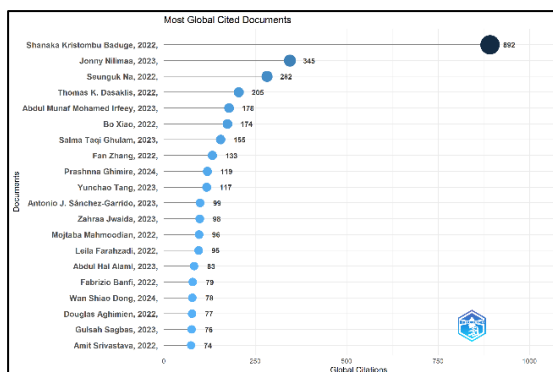
Gambar 6. Grafik Distribusi Negara

Berdasarkan hasil pemetaan global yang ditunjukkan pada grafik **Gambar 6**, Indonesia berada di peringkat ke-28 dunia. Total publikasi ilmiah yang dihasilkan oleh institusi Indonesia dalam rentang waktu lima tahun terakhir terkait topik manajemen risiko beton pracetak ini hanya berjumlah 3 dokumen. Ketiga dokumen tersebut seluruhnya memiliki sifat publikasi berkategori MCP (*Multi-Country Publication*), yang berarti riset-riset tersebut tidak berdiri sendiri secara domestik, melainkan lahir dari hasil kerja sama atau kolaborasi internasional dengan peneliti dari luar negeri. Fakta bibliometrik ini menyingkapkan sebuah kesenjangan riset yang ironis sekaligus menjadi tantangan besar:

di tengah masifnya program pembangunan infrastruktur nasional Indonesia yang sangat mengandalkan komponen beton pracetak (seperti tol trans-Jawa, trans-Sumatera, pembangunan jembatan layang LRT/MRT, dan mega-proyek Ibu Kota Nusantara/IKN), kontribusi publikasi ilmiah mandiri berskala nasional dari akademisi Indonesia masih sangat minim. Hal ini menegaskan urgensi krusial bagi institusi pendidikan tinggi dan pusat riset di Indonesia untuk mengalokasikan sumber daya dan fokus penelitian yang lebih besar guna memproduksi kajian manajemen risiko pracetak yang kontekstual dengan kondisi geologis, regulasi, dan karakteristik rantai pasok domestik di Indonesia.

Analisis Dokumen Berpengaruh Berdasarkan Dampak Sitasi

Melalui analisis dokumen berpengaruh (*top cited documents*), diidentifikasi artikel-artikel ilmiah yang menjadi landasan teoretis utama dan memiliki dampak kuat dalam menggerakkan arah riset. Posisi peringkat pertama artikel dengan jumlah sitasi tertinggi secara global ditempati oleh karya ilmiah yang ditulis oleh Baduge et al. (2022) yang berjudul *“Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications”* seperti yang tampak pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Grafik Dokumen dengan Sitasi Tertinggi Berdasarkan Nama Penulis

Dalam artikel yang sangat berpengaruh tersebut, Baduge [26] menawarkan pendekatan revolusioner untuk meminimalisir risiko operasional konstruksi di lapangan melalui implementasi sistem penglihatan pintar (*smart vision*) berbasis metode *machine learning* dan *deep learning*. Secara spesifik, ia memaparkan *framework* pengembangan algoritma *Artificial Neural Networks* (ANN) yang dikombinasikan dengan sensor termal dan sensor visual (*computer vision*) untuk

melakukan rekognisi spasial ruangan dan deteksi otomatis cacat komponen di lapangan. Implementasi teknologi ini memudahkan pengawasan keselamatan (*safety oversight*) dan mengeliminasi risiko kesalahan manusia (*human error*) pada proses instalasi penanganan pracetak.

Artikel berpengaruh kedua ditempati oleh penelitian komprehensif yang membahas tema *“Smart materials and technologies for sustainable concrete construction”*. Kajian literatur ini berfokus pada integrasi aspek keberlanjutan (*sustainability*) dari penggunaan material pintar pada beton dan menghubungkannya secara terperinci dengan manajemen risiko multidimensi. Faktor risiko yang dianalisis ditinjau dari dimensi ekonomi (analisis biaya siklus hidup/LCC), dimensi teknis rekayasa (durabilitas material pintar), dimensi batasan sosial, dan dimensi regulasi lingkungan. Tinjauan bibliometrik terhadap dokumen top-cited lainnya, seperti studi mengenai *“Acceptance Model of Artificial Intelligence (AI)-Based Technologies in Construction Firms: Applying the Technology Acceptance Model (TAM) in Combination with the Technology–Organisation–Environment (TOE) Framework”*—menegaskan bahwa artikel-artikel ilmiah yang mengintegrasikan subtopik manajemen risiko beton pracetak dengan domain Kecerdasan Buatan (AI) dan pilar keberlanjutan (*sustainability*) selalu mendominasi popularitas sitasi tertinggi saat ini.

Analisis Frekuensi Kata, Co-occurrence Network, dan Klaster Peta Tematik

Analisis tekstual terhadap frekuensi kata kunci (*word frequency analysis*) yang diekstraksi dari judul dan abstrak sampel 387 artikel memberikan bukti empiris yang selaras dengan analisis dokumen berpengaruh. Kata atau frasa yang paling sering muncul dan disebutkan secara berulang dalam mayoritas literatur adalah kata *“engineering”* (domain rekayasa teknik) dan *“computer science”* (domain ilmu komputer), yang kemudian diikuti secara ketat oleh kata *“business”* (domain bisnis ekonomi) dan *“construction engineering”* (domain rekayasa konstruksi). Pola ini membuktikan secara ilmiah bahwa tren riset manajemen risiko pada beton pracetak saat ini telah bergeser sangat jauh dari sekadar analisis statistik keselamatan konvensional, melainkan telah melebur secara erat dengan teknologi sains komputer dan kalkulasi bisnis strategis.

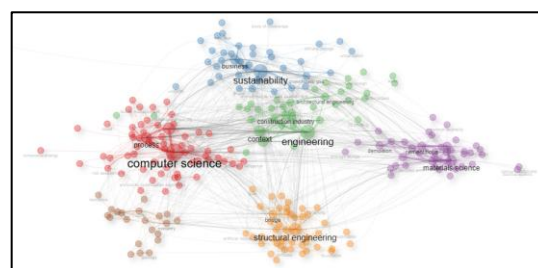
Untuk memetakan struktur internal keilmuan secara lebih mendalam, dilakukan analisis Peta Tematik (*Thematic Map*) yang didasarkan pada parameter Keterpusatan Callon (*Callon Centrality*), mengukur tingkat keterhubungan dan pengaruh suatu kluster terhadap kluster lainnya dalam jaringan) dan Kepadatan Callon

(*Callon Density*, mengukur tingkat pengembangan internal dari subtopik di dalam kluster itu sendiri). Hasil pengolahan visualisasi kluster kata kunci terpilih dirangkum dalam Parameter Kluster Peta Tematik pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Parameter Kluster Kata Kunci pada Peta Tematik (*Thematic Map*)

Nama Tema Kluster Kata Kunci (Cluster Name)	Keterpusatan Callon (Centrality)	Kepadatan Callon (Density)	Peringkat Keterpusatan (Rank C)	Peringkat Kepadatan (Rank D)	Frekuensi Kemunculan (Freq)
Computer Science	3,628	59,623	7	5	304
Sustainability	2,279	43,660	5	1	225
Engineering	3,248	46,407	6	2	243
Materials Science	1,854	56,237	3	4	207
Structural Engineering	1,891	62,320	4	6	164
Vulnerability	1,103	62,640	2	7	78
Economics	0,000	50,000	1	3	2

Berdasarkan data kuantitatif pada **Tabel 2**, Peta Tematik membagi struktur keilmuan ke dalam empat kuadran analisis konseptual. Kluster *computer science* menempati posisi yang sangat strategis dengan nilai Keterpusatan Callon tertinggi (3,628) dan Kepadatan Callon yang sangat tinggi (59,623) serta mencatatkan frekuensi kemunculan tertinggi sebanyak 304 kali. Hal ini memposisikan domain ilmu komputer sebagai *Driving Theme* atau tema penggerak utama yang berada di kuadran kanan atas, yang berarti subtopik teknologi digital ini telah sangat matang dikembangkan secara internal sekaligus bertindak sebagai poros inti penghubung interdisipliner yang menggerakkan kluster-kluster lainnya. Kluster *structural engineering* (*Centrality* 1,891; *Density* 62,320) dan kluster *vulnerability* (*Centrality* 1,103; *Density* 62,640) memiliki nilai kepadatan internal yang sangat tinggi, namun nilai keterpusatannya lebih rendah, mengindikasikan bahwa kedua tema rekayasa fisik ini diklasifikasikan sebagai *Specialized or Isolated Themes* (tema yang sudah sangat matang dan *established* secara teknis konvensional di dalam lingkaran ahlinya, namun memiliki keterhubungan eksternal yang terbatas dengan disiplin ilmu di luar teknik sipil).



Gambar 8. Peta Tematik Co-Occurrences Network

Kluster *sustainability* (*Centrality* 2,279; *Freq* 225) dan kluster *engineering* (*Centrality* 3,248; *Freq* 243) bertindak sebagai tema fundamental atau *Basic Themes* yang menjadi fondasi dasar bagi seluruh literatur yang ditinjau. Sementara itu, kluster *economics* berada di posisi paling bawah dengan nilai keterpusatan nol (0,000) dan frekuensi kemunculan yang sangat kecil (hanya 2 kali), menempatkannya dalam kategori tema yang belum berkembang atau *Emerging/Declining Themes*. Hal ini menyingkapkan sebuah kesenjangan riset (*research gap*) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 8**, meskipun pembengkakan biaya (*cost overrun*) diakui sebagai dampak fatal dari kegagalan manajemen risiko beton pracetak, pemodelan kuantitatif yang mengintegrasikan faktor risiko teknis pracetak dengan analisis ekonomi bisnis makro masih sangat jarang dilakukan secara mendalam, sehingga membuka peluang riset orisinal yang sangat besar bagi penelitian selanjutnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis scientometrik dan bibliometrik literatur global periode 2022–2026, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai hubungan manajemen risiko dan beton pracetak merupakan bidang yang sangat spesifik (*niche area*) yang telah memasuki fase kematangan, ditunjukkan oleh tingkat kejenuhan logistik sebesar 86,6% pada tahun 2025 dan kapasitas saturasi yang relatif kecil ($K = 447$ dokumen). Publikasi ilmiah didominasi oleh dua jurnal inti, *Buildings* dan *Sustainability*, sementara tingginya nilai eksponen Hukum Lotka ($\beta = 4,37$) menunjukkan bahwa sebagian besar penulis hanya berkontribusi pada satu studi kasus. Selain itu, arah penelitian global telah bergeser dari pendekatan manajemen risiko konvensional menuju integrasi teknologi cerdas berbasis *Artificial Intelligence* (AI), *machine learning*, *deep learning*, *artificial neural networks* (ANN), dan *computer vision* untuk mendukung pemantauan *real-time*, deteksi kerusakan, optimasi sambungan, serta pengurangan *human error* pada rantai proses beton pracetak. Penurunan jumlah publikasi dalam dua tahun terakhir tidak mencerminkan menurunnya minat penelitian, melainkan mengindikasikan meningkatnya tingkat keamanan operasional akibat penerapan otomatisasi dan digitalisasi Konstruksi 4.0, sehingga fokus penelitian kini bergeser dari analisis risiko menuju optimasi sistem konstruksi yang lebih modern.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. M. T. Ahmed and A. M. Gramescu, "Contribution of prefabricated constructions to reduce the risk of project management," *World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*, 2019, doi: 10.11159/icsect19.144.
- [2] M. Waty and H. Sulistio, "Identification of Advance Risks to Sources and Causes of Material Waste in Road Construction Projects," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 26, no. 1, pp. 104–117, 2020, doi: 10.14710/mkts.v26i1.21817.
- [3] R. D. Shima, E. Desimaliana, and E. Moreno, "The cost estimation and time scheduling comparison study of bottom-up and top-down method in cafe building construction project," *AIP Conf. Proc.*, vol. 3351, no. 1, p. 090006, Nov. 2025, doi: 10.1063/5.0299753.
- [4] P. Pelaksanaan, P. Struktur, B. Proyek, X. Azka Nurhafizha, R. Natawidjana, and R. D. Shima, "Analisis Biaya Akibat Terjadi Contract Change Order," *FTSP Series*, pp. 512–516, 2023, [Online]. Available: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=yDduVKcAAAAJ&pagesize=100&citation_for_view=yDduVKcAAAAJ:9yKSN-GCB0IC
- [5] R. M. H. RAZAQA and R. D. SHIMA, "Penerapan Building Information Modeling (BIM) pada Pile cap dan Retaining wall (Studi Kasus Kampus AKMET Kabupaten Sumedang)," *Prosiding FTSP Series*, pp. 143–148, 2024, [Online]. Available: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=yDduVKcAAAAJ&pagesize=100&citation_for_view=yDduVKcAAAAJ:hqOjcs7Dif8C
- [6] D. R. Arthaningtyas, N. K. Anggraeni, and S. Suharyo, "Analisa Risiko pada Rantai Pasok Industri Beton Pracetak Sistem Make-to-Order," *Jurnal Talenta Sipil*, vol. 6, no. 1, p. 118, 2023, doi: 10.33087/talentasipil.v6i1.210.
- [7] M. A. Riana and L. Milana, "Pengukuran Waktu Siklus Pemenuhan Pesanan Pada Proses Transform Menggunakan Metode Scor Ds 14.0," *Seminar Teknologi Majalengka (Stima)*, vol. 7, pp. 376–384, 2023, doi: 10.31949/stima.v7i0.951.
- [8] F. B. Saputri and B. Anondho, "Identifikasi Faktor Pengaruh Dominan Keterlambatan Proyek Akibat Rantai Pasok Pada Pengadaan Pelat Beton Pracetak," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 3, no. 4, p. 1295, 2020, doi: 10.24912/jmts.v3i4.8417.
- [9] Moh. N. R. Pou, R. Bumulo, and N. Fitriana, "Evaluasi Sistem Manajemen Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (Smk3) Pekerjaan Drainase Pada Proyek Rekonstruksi Jalan Prof. Jhon Aryo Katili Kota Gorontalo Dengan Menggunakan Metode Ibprp," *Jurnal Vokasi Sains dan Teknologi*, vol. 3, no. 1, pp. 17–22, 2023, doi: 10.56190/jvst.v3i1.41.
- [10] M. I. F. Affandi, R. Natawidjana, and ..., "Analisis Risiko Keterlambatan Waktu Pelaksanaan Pada Proyek TPST Bali," *Prosiding FTSP ...*, pp. 731–736, 2023, [Online]. Available: <https://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/view/2684%0Ahttps://eproceeding.itenas.ac.id/index.php/ftsp/article/download/2684/2082>
- [11] R. Dewi Shima and S. Puspawati, "Kajian Variabel Risiko Kecelakaan Kerja dan Upaya Mitigasi Risiko Berdasarkan pada Proyek Pembangunan SUTT 150 kV di Kota X Berdasarkan Standar AS/NZS 4360:2004," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 09,

- no. 03, pp. 186–196, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.26760/rekaracana>
- [12] I. Perdana, Anis Saleh, and Taufik Nur, “Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja Menggunakan Metode Hazard Identification Risk Assessment Determining Control (HIRADC) di Pt Bumi Sarana Beton,” *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, vol. 2, no. 3, pp. 97–110, 2024, doi: 10.61132/manufaktur.v2i3.494.
- [13] S. Isnaeni and A. Herzanita, “Analisis Manajemen Risiko Pada Pekerjaan Box Girder Cast in – Situ,” *Jurnal ARTESIS*, vol. 2, no. 2, pp. 175–184, 2022, doi: 10.35814/artesis.v2i2.4300.
- [14] S. Arum Pratiwi and B. Priyanto, “Manajemen Risiko pada Pekerjaan Beton Proyek Pembangunan Bendungan Jlantah,” *Jurnal Sosial Teknologi*, vol. 3, no. 3, pp. 220–226, 2022, doi: 10.36418/jurnalsostech.v3i3.660.
- [15] S. Unitomo, M. O. Bustamin, W. A. Nugroho, and U. U. Kuroumang, “Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Apartemen Klaska Residence Surabaya,” *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, vol. 4, no. 2, pp. 82–89, 2022, doi: 10.26740/proteksi.v4n2.p82-89.
- [16] L. Pramuditta and T. D. Kunaefi, “Pengaruh Paparan Getaran Mesin Terhadap Kelelahan Dan Hand Arm Vibration Syndrome (Havs) Pada Pekerja Di Industri Beton Pracetak (Studi Kasus PT SCG Pipe And Precast Indonesia),” *Jurnal Tehnik Lingkungan*, vol. 22, no. 2, pp. 42–51, 2016, doi: 10.5614/j.tl.2016.22.2.5.
- [17] N. Senduk, D. Willar, D. Taju, and S. Amiman, “Perbandingan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan Beton Pracetak dan Konvensional pada Proyek Rumah Susun,” *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, vol. 4, no. 2, p. 58, 2022, doi: 10.47600/jtst.v4i2.421.
- [18] S. Y. Tusadiyah and S. Sukobar, “Analisis Biaya dan Waktu Pelaksanaan Metode Alternatif Hollow Core Slab pada Gedung Apartemen Surabaya,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 11, no. 3, 2022, doi: 10.12962/j23373539.v11i3.107938.
- [19] M. E. Silaban and A. H. Pamungkas, “Analisis Waste Material Menggunakan Fault Tree Analysis Pada Pekerjaan Concrete Barrier,” *Technologic*, vol. 14, no. 2, 2023, doi: 10.52453/t.v14i2.363.
- [20] M. D. Puspita and C. B. Nurcahyo, “Analisis Risiko Rantai Pasok Dinding Beton Pracetak Pada Proyek Pembangunan Apartemen Puncak Dharmahusada Surabaya,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, Sep. 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.25529.
- [21] B. C. Brookes, “‘Sources of information on specific subjects’ by S.C. Bradford,” *J. Inf. Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 173–175, 1985, doi: 10.1177/016555158501000406.
- [22] M. Aria, M. Misuraca, and M. Spano, “Mapping the evolution of social research and data science on 30 years of Social Indicators Research,” *Soc. Indic. Res.*, vol. 149, no. 3, pp. 803–831, 2020, doi: 10.1007/s11205-020-02281-3.
- [23] L. M. A. Bettencourt, D. I. Kaiser, and J. Kaur, “Scientific discovery and topological transitions in collaboration networks,” *J. Informetr.*, vol. 3, no. 3, pp. 210–221, 2009, doi: 10.1016/j.joi.2009.03.001.
- [24] Q. Wang, “A bibliometric model for identifying emerging research topics,” *J. Assoc. Inf. Sci. Technol.*, vol. 69, no. 2, pp. 290–304, 2018, doi: 10.1002/asi.23930.
- [25] A. J. Lotka, “The frequency distribution of scientific productivity,” *Journal of the Washington Academy of Sciences*, vol. 16, no. 12, pp. 317–323, 1926.
- [26] S. K. Baduge, S. Thilakarathna, P. Sharafi, B. Teodosio, and P. Mendis, “Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications,” *Autom. Constr.*, vol. 141, p. 104440, 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104440.