



## Analisis Tren Penelitian Perkerasan Porous dan Permeable Pavement sebagai Solusi Drainase Perkotaan: Kajian Literatur Sistematis

### *Research Trend Analysis of Porous and Permeable Pavements as Urban Drainage Solutions: A Systematic Review*

Muhammad Rizan Adam<sup>1\*</sup>, Hendra Putra Dipanegara<sup>2</sup>, Jerry Christian Poli<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknologi Rekayasa Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Tanah Laut, Tanah Laut, Indonesia

---

#### **Article Info**

##### **Article history:**

Submitted: 29 Mei 2026

Reviewed: 30 Mei 2026

Accepted: 31 Mei 2026

---

#### **Kata Kunci :**

Drainase perkotaan  
Perkerasan porous  
Permeable pavement  
PRISMA 2020  
Systematic literature review

---

#### **Abstrak**

Perluasan permukaan kedap air yang dipicu oleh urbanisasi telah meningkatkan volume limpasan permukaan dan memperbesar risiko banjir perkotaan di Indonesia. Perkerasan porous dan permeable pavement merupakan salah satu solusi Low Impact Development (LID) yang memungkinkan infiltrasi air hujan secara in situ, sehingga mengurangi beban sistem drainase konvensional. Penelitian ini bertujuan memetakan tren penelitian, mengidentifikasi karakteristik kinerja berbagai jenis teknologi perkerasan porous, serta menentukan kesenjangan penelitian yang relevan bagi konteks iklim tropis selama periode 2015–2025 menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) berpedoman PRISMA 2020. Pencarian literatur dilakukan pada tiga basis data—Scopus, Google Scholar, dan Garuda—menghasilkan 312 rekaman awal. Setelah proses seleksi bertahap, sebanyak 20 artikel diinklusi dalam sintesis akhir. Hasil sintesis menunjukkan bahwa pervious concrete dan porous asphalt mendominasi penelitian global dengan kemampuan reduksi limpasan permukaan 26–98%, efisiensi penyisihan total suspended solids (TSS) hingga 60%, serta kontribusi terhadap penurunan konsentrasi logam berat dan senyawa nitrogen. Tantangan kritis yang teridentifikasi secara konsisten adalah penyumbatan (clogging) pada lapisan permukaan. Tiga kesenjangan penelitian utama mencakup: minimnya studi empiris jangka panjang di kawasan beriklim tropis, ketiadaan standar teknis nasional Indonesia, dan terbatasnya kajian analisis biaya siklus hidup. Temuan ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan kebijakan dan agenda penelitian perkerasan porous di Indonesia.

---

#### **Abstract**

*The expansion of impervious surfaces driven by rapid urbanisation has significantly elevated surface runoff volumes and urban flood risk in Indonesia. Permeable and porous pavements represent a class of Low Impact Development (LID) solutions that facilitate in-situ rainwater infiltration, thereby reducing the burden on conventional drainage systems. This study aims to map research trends, characterise the performance of various permeable pavement technologies, and identify research gaps relevant to tropical climate contexts over the period 2015–2025, employing a Systematic Literature Review (SLR) following*

---

#### **Keywords (10pt, alphabetical):**

Permeable pavement  
Porous pavement  
PRISMA 2020  
Systematic literature review  
Urban drainage

This is an open access article under the [CC BY](#) license.



*the PRISMA 2020 framework. Literature searches conducted across three databases—Scopus, Google Scholar, and Garuda—yielded 312 initial records, of which 20 articles met the inclusion criteria and were synthesised. Findings indicate that pervious concrete and porous asphalt dominate global research, demonstrating surface runoff reduction of 26–98%, total suspended solids (TSS) removal efficiency up to 60%, and measurable reductions in heavy metal and nitrogen compound concentrations. Clogging of the surface layer is identified as the most consistently critical challenge. Three primary research gaps are identified: the scarcity of long-term empirical studies in tropical climates, the absence of Indonesian national technical standards, and limited life-cycle cost analyses. These findings are intended to inform policy development and research agendas for permeable pavement implementation in Indonesia.*

**\*Corresponding Author:** Muhammad Rizan Adam, [muhammadrizan@politala.ac.id](mailto:muhammadrizan@politala.ac.id)

## A. PENDAHULUAN

Urbanisasi yang berlangsung secara masif di Indonesia telah membawa konsekuensi serius terhadap sistem hidrologi perkotaan. Konversi lahan terbuka menjadi kawasan terbangun meningkatkan proporsi permukaan kedap air secara signifikan, sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi alami tanah dan mendorong peningkatan volume limpasan permukaan (surface runoff). Kondisi ini menjadi salah satu faktor dominan yang memperparah kejadian banjir di berbagai kota besar Indonesia. Putri et al. (2023) mencatat bahwa degradasi kualitas dan kuantitas air akibat urbanisasi merupakan tantangan nyata bagi pengelolaan sumber daya air di negara berkembang seperti Indonesia, termasuk permasalahan drainase yang belum terintegrasi secara memadai. Selain itu, kerentanan banjir di kawasan perkotaan Indonesia terus mengalami peningkatan dalam tiga dekade terakhir seiring dengan pesatnya perkembangan wilayah terbangun dan perubahan tata guna lahan (Rahma et al., 2024)

Permasalahan ini diperparah oleh keterbatasan kapasitas sistem drainase konvensional yang tidak mampu mengimbangi laju peningkatan limpasan permukaan. Perkerasan jalan dan trotoar yang bersifat impermeabel mengalihkan seluruh volume air hujan ke sistem drainase tanpa memberikan kesempatan untuk meresap ke dalam tanah. Pendekatan yang semata-mata mengandalkan kapasitas tampung saluran terbukti tidak lagi memadai untuk menghadapi intensitas curah hujan yang semakin ekstrem akibat perubahan iklim global (Solla et al., 2025).

Perkerasan porous dan permeable pavement telah diidentifikasi sebagai salah satu komponen Low Impact Development (LID) yang menjanjikan. Teknologi ini memungkinkan air hujan meresap langsung melalui lapisan perkerasan ke dalam tanah, sehingga secara simultan mengurangi volume limpasan permukaan dan mengisi kembali cadangan air tanah (Putri et al., 2023). Jiang et al. (2024) mendokumentasikan bahwa manfaatnya melampaui fungsi hidrologis, mencakup penurunan suhu permukaan, reduksi kebisingan, serta peningkatan keselamatan pengguna jalan saat hujan.

Meskipun literatur internasional mengenai permeable pavement telah berkembang pesat, kajian yang secara sistematis memetakannya dari perspektif iklim tropis masih sangat terbatas. Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) berpedoman PRISMA 2020 (Page et al., 2021) untuk menjawab tiga pertanyaan:

(1) Jenis teknologi apa yang paling intensif diteliti selama 2015–2025? (2) Bagaimana tren perkembangannya? (3) Apa kesenjangan penelitian yang relevan untuk konteks iklim tropis?

Kebaruan penelitian ini terletak pada pemetaan komprehensif tren penelitian porous dan permeable pavement sebagai solusi drainase perkotaan selama periode 2015–2025 dengan menekankan relevansinya terhadap kondisi iklim tropis. Berbeda dengan penelitian review terdahulu yang umumnya berfokus pada evaluasi kinerja hidrologi, kualitas air, atau karakteristik material perkerasan permeabel, penelitian ini mengintegrasikan identifikasi jenis teknologi yang dominan diteliti, analisis perkembangan tema penelitian, serta pemetaan kesenjangan penelitian yang masih terbuka untuk mendukung implementasi teknologi tersebut pada kawasan perkotaan tropis. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menyajikan sintesis hasil penelitian terdahulu, tetapi juga memberikan arah pengembangan penelitian dan implementasi porous maupun permeable pavement yang lebih sesuai untuk mendukung sistem drainase perkotaan berkelanjutan.

## **B. TINJAUAN PUSTAKA**

Permeable pavement dikembangkan pertama kali di Inggris pada akhir 1980-an sebagai bagian dari kerangka Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), kemudian diadopsi di Amerika Utara sebagai Low Impact Development (LID) dan di Asia melalui konsep Sponge City. Jiang et al. (2024) mencatat bahwa fokus penelitian kini telah bergeser dari sekadar evaluasi kapasitas infiltrasi menuju kajian multidimensi yang mencakup aspek termal, akustik, dan kualitas lingkungan.

Dari sisi klasifikasi material, literatur global mengidentifikasi empat jenis teknologi utama: (a) pervious concrete dengan kandungan void 15–35%; (b) porous asphalt dengan kandungan void 18–25%; (c) permeable interlocking concrete pavement (PICP) yang memanfaatkan celah antar blok; serta (d) perkerasan berbasis vegetasi dan agregat lepas untuk area beban rendah (Solla et al., 2025).

Kinerja aktual di lapangan sangat dipengaruhi oleh kondisi lokal. Rahman et al. (2025) dalam tinjauan sistematis terhadap 191 publikasi Scopus (2017–2024) menemukan bahwa penelitian terkait clogging mencapai puncaknya pada 2023 dengan 38 artikel, mengindikasikan bahwa tantangan teknis utama teknologi ini belum terpecahkan secara tuntas. Muttuvelu et al. (2022) menegaskan bahwa permeable pavement merupakan solusi drainase berkelanjutan yang menggabungkan fungsi infrastruktur jalan dan pengelolaan air secara terpadu.

Relevansinya bagi Indonesia terletak pada tantangan spesifik implementasi LID di negara berkembang. Putri et al. (2023) mengidentifikasi hambatan meliputi kompleksitas jaringan drainase, dominasi sistem saluran tergabung, karakteristik tanah liat yang umum di banyak wilayah, serta keterbatasan regulasi dan pendanaan—hambatan-hambatan yang perlu dipahami mendalam sebelum merumuskan agenda penelitian lokal.

## **C. METODE PENELITIAN**

Berdasarkan rumusan masalah, diperlukan pendekatan yang mampu menghimpun, menyeleksi, dan mensintesis literatur secara sistematis, transparan, dan dapat direproduksi oleh peneliti lain.

## Desain Penelitian

Penelitian menggunakan metode Systematic Literature Review (SLR) mengikuti kerangka pelaporan PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Kerangka ini mensyaratkan dokumentasi eksplisit pada setiap tahap seleksi—mulai dari strategi pencarian hingga alasan eksklusi setiap artikel—sehingga proses dapat diverifikasi secara independen (Page et al., 2021).

## Sumber Data dan Strategi Pencarian

Pencarian dilakukan pada tiga basis data utama: (1) Scopus, sebagai basis data multidisiplin bereputasi tinggi dengan cakupan jurnal internasional terindeks; (2) Google Scholar, untuk jangkauan lebih luas termasuk literatur yang belum terindeks Scopus; serta (3) Garuda (Garba Rujukan Digital), untuk menjangkau jurnal nasional Indonesia terindeks SINTA. Kata kunci dalam Bahasa Inggris: "permeable pavement" OR "porous pavement" OR "pervious concrete" OR "porous asphalt" AND "urban drainage" OR "stormwater management" OR "surface runoff"; dalam Bahasa Indonesia: "perkerasan porous" OR "perkerasan permeable" OR "beton porous" OR "aspal porous" AND "drainase perkotaan" OR "limpasan permukaan" OR "genangan". Seluruh pencarian dibatasi pada publikasi tahun 2015–2025.

## Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi dan eksklusi ditetapkan secara eksplisit sebelum pencarian dimulai untuk mencegah bias seleksi. Penetapan di awal ini memastikan setiap keputusan inklusi atau eksklusi didasarkan pada standar yang konsisten. Kriteria yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Kriteria inklusi dan eksklusi artikel**

Aspek	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Tahun publikasi	2015–2025	Sebelum 2015
Bahasa	Indonesia dan Inggris	Selain keduanya
Jenis dokumen	Artikel jurnal peer-reviewed	Prosiding, tesis, laporan teknis
Topik	Perkerasan porous/permeable dan drainase perkotaan	Di luar topik perkerasan porous
Aksesibilitas	Full-text tersedia	Full-text tidak tersedia
Indeksasi	Scopus, SINTA 1–2, atau Web of Science	Tidak terindeks

(Sumber: Peneliti, 2025)

## Proses Seleksi Artikel

Seleksi artikel dilaksanakan secara bertahap mengikuti empat tahap alur PRISMA 2020. Tahap pertama adalah identifikasi (identification), di mana pencarian pada seluruh basis data menghasilkan 312 rekaman artikel (Scopus: 187; Google Scholar: 98; Garuda/SINTA: 27). Setelah proses penghapusan duplikasi, tersisa 272 rekaman unik yang selanjutnya masuk ke tahap berikutnya.

Tahap kedua adalah penyaringan (screening), di mana seluruh 272 rekaman disaring berdasarkan judul dan abstrak menggunakan kriteria yang telah ditetapkan. Sebanyak 180 artikel dieksklusi pada tahap ini karena berada di luar topik perkerasan porous atau drainase perkotaan (n=112), bukan merupakan artikel jurnal peer-reviewed (n=45), atau ditulis dalam bahasa selain Indonesia dan Inggris (n=23). Tahap ini menyisakan 92 artikel yang lolos untuk penilaian lebih lanjut.

Tahap ketiga adalah penilaian kelayakan (eligibility assessment), di mana 92 artikel dibaca secara full-text untuk menilai kesesuaian isi dengan pertanyaan penelitian. Pada tahap ini, 72 artikel dieksklusi karena tidak memenuhi kriteria indeksasi (n=28), full-text tidak tersedia (n=19), merupakan prosiding atau tesis (n=15), atau terjadi duplikasi tema dengan artikel lain yang lebih komprehensif (n=10). Rekapitulasi proses seleksi per basis data disajikan pada Tabel 2.

Tahap keempat adalah inklusi (inclusion), yang menghasilkan 20 artikel final yang memenuhi seluruh kriteria dan digunakan dalam sintesis. Distribusi artikel final berdasarkan basis data adalah Scopus (n=12), Google Scholar (n=6), dan Garuda/SINTA (n=2).

**Tabel 2.** Rekapitulasi seleksi artikel per basis data (PRISMA 2020)

Tahap PRISMA	Scopus	Google Scholar	Garuda/SINTA
Identifikasi awal	187	98	27
Setelah deduplikasi	164	87	21
Lolos screening judul & abstrak	54	28	10
Lolos penilaian full-text	12	6	2
<b>Artikel diinklusi (final)</b>	<b>20 artikel</b>		

(Sumber: Peneliti, 2025)

### Ekstraksi dan Sintesis Data

Dari setiap artikel yang diinklusi, data diekstraksi secara sistematis menggunakan formulir standar yang mencakup: nama penulis, tahun publikasi, negara asal penelitian, jenis perkerasan yang dikaji, metode pengujian, variabel yang diukur, dan temuan utama. Daftar lengkap 20 artikel beserta karakteristik utamanya disajikan pada Tabel 3. Mengingat heterogenitas metodologi yang signifikan antar studi—mencakup uji laboratorium, pemantauan lapangan, studi bibliometrik, dan tinjauan sistematis—sintesis dilakukan secara naratif (narrative synthesis) sebagaimana direkomendasikan untuk tinjauan dengan desain studi yang beragam.

**Tabel 3.** Daftar artikel yang diinklusi dalam sintesis

No	Penulis (Tahun)	Jenis Perkerasan	Negara	Fokus Kajian
1	AlShareedah & Nassiri (2021)	PC	USA	Optimasi campuran, sifat mekanik
2	Alsubih et al. (2017)	PICP	UK	Kinerja hidrologi, uji lapangan
3	Antunes et al. (2018)	PC, PA, PICP	Brasil	Life cycle assessment, lingkungan

No	Penulis (Tahun)	Jenis Perkerasan	Negara	Fokus Kajian
4	Antunes et al. (2020)	PC, PA	Brasil	Dampak lingkungan, pemanenan air
5	Jiang et al. (2024)	PC, PA, PICP, VG	Tiongkok	Tren riset, aspek multidimensi
6	Lin (2023)	PICP	Taiwan	Reduksi limpasan, mitigasi banjir
7	Muttuvelu et al. (2021)	PC, PA, PICP	Denmark	Material subbase, perbandingan
8	Muttuvelu et al. (2022)	PA, PICP	Denmark	Keberlanjutan, wawancara praktisi
9	Nguyen et al. (2023)	PC (filter pasir)	Korea Selatan	Efisiensi TSS, degradasi permeabilitas
10	Page et al. (2021)	—	Internasional	Metodologi PRISMA 2020
11	Putri et al. (2023)	PP, bioretention	Indonesia	LID applicability, regulasi
12	Rahman et al. (2025)	PC, PA, PICP	Malaysia/UK	Mitigasi clogging, desain, konstruksi
13	Razzaghmanesh & Beecham (2018)	PC, PA, PICP	Australia	Clogging, laju infiltrasi, pemeliharaan
14	Sambito et al. (2021)	PC, PA, PICP	Italia	Hidrologi, kualitas air, durabilitas
15	Selbig et al. (2019)	PC, PA, PICP	USA	Kualitas air limpasan, TSS, logam berat
16	Singer et al. (2022)	PC, PA, PICP	UAE	Bibliometrik, manajemen kualitas air
17	Solla et al. (2025)	PC, PA, PICP, VG	Spanyol	LCA, infiltrasi, polutan, UHI
18	Sousa et al. (2024)	PA	Portugal	Clogging, evaluasi, pemeliharaan
19	Vaillancourt et al. (2019)	PICP	Kanada	Kinerja hidrologi, monitoring lapangan
20	Wijeyawardana et al. (2022)	PC modifikasi	Australia	Logam berat, kualitas air limpasan

Keterangan: PC = Pervious Concrete; PA = Porous Asphalt; PICP = Permeable Interlocking Concrete Pavement; VG = Vegetasi/Agregat; PP = Permeable Pavement (umum)

(Sumber: Hasil seleksi literatur, 2025)

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan sintesis temuan dari 20 artikel yang diinklusi, diorganisasikan ke dalam enam sub-pembahasan yang berurutan secara logis—dari tren makro hingga identifikasi kesenjangan penelitian yang relevan bagi Indonesia.

### Tren Publikasi 2015–2025

Dari 20 artikel yang diinklusi, sebaran tahun publikasi menunjukkan pertumbuhan yang tidak linear: dua artikel (10%) terbit pada periode 2015–2017, empat artikel (20%) pada 2018–2020, sembilan artikel (45%) pada 2021–2023, dan lima artikel (25%) pada 2024–2025. Lonjakan signifikan pada 2021–2023 bertepatan dengan meningkatnya adopsi green infrastructure pasca-pandemi dan momentum konsep Sponge City. Rahman et al. (2025) mencatat bahwa publikasi terkait clogging perkerasan porous mencapai puncaknya dengan 38 artikel pada tahun 2023 saja—tertinggi dalam satu dekade—mengindikasikan kematangan teknologi sekaligus konfirmasi bahwa tantangan teknis utamanya masih menjadi agenda riset yang aktif.

Dari sisi negara asal, Amerika Serikat (4 artikel, 20%), Australia (2 artikel, 10%), dan Brasil (2 artikel, 10%) mendominasi kontribusi. Kontribusi Asia Tenggara—termasuk Indonesia—hanya diwakili satu artikel yang bersifat kajian kebijakan, bukan data kinerja empiris lapangan. Ini mengkonfirmasi kesenjangan yang signifikan antara kebutuhan riset lokal dan ketersediaan data berbasis iklim tropis dalam literatur global, dan memperkuat urgensi agenda penelitian yang diidentifikasi pada sub-bab terakhir.

### **Klasifikasi dan Karakteristik Teknologi Perkerasan Porous**

Analisis terhadap 20 artikel yang diinklusi menunjukkan bahwa pervious concrete (PC) diteliti dalam 15 artikel (75%), diikuti PICP dalam 14 artikel (70%), dan porous asphalt dalam 12 artikel (60%). Dominasi pervious concrete mencerminkan keunggulannya dalam kapasitas infiltrasi awal, meskipun AlShareedah & Nassiri (2021) menunjukkan bahwa optimasi campuran masih menjadi tantangan aktif—campuran terbaik menggunakan agregat 4,75–12 mm, rasio agregat–binder 2–5, dan porositas 18–22%, menghasilkan kuat tekan 20–30 MPa. Solla et al. (2025) mengklasifikasikan keempat kategori teknologi beserta profil kinerja dan aplikasinya yang berbeda-beda tergantung konteks lokasi dan fungsi jalan.

Setiap jenis material memiliki trade-off yang perlu dipertimbangkan. Porous asphalt lebih mudah diaplikasikan dengan peralatan standar dan memberikan kenyamanan permukaan lebih baik bagi pengguna, meski kapasitas void-nya lebih rendah. PICP menawarkan fleksibilitas struktural dan kemudahan penggantian unit yang rusak, meski biaya instalasi awal lebih tinggi. Pemahaman atas perbedaan karakteristik ini esensial sebagai dasar interpretasi data kinerja hidrologi pada sub-bab berikutnya.

### **Kinerja Hidrologi**

Dari 20 artikel yang dikaji, 13 artikel (65%) melaporkan data kinerja hidrologi secara kuantitatif. Vaillancourt et al. (2019), dalam pemantauan 12 bulan di lima lokasi di Montreal, melaporkan laju infiltrasi awal PICP hingga 20.000 mm/jam bahkan pada suhu subzero. Pada salah satu lokasi, pemantauan limpasan menunjukkan reduksi volume antara 26% hingga 98% bergantung pada intensitas hujan, dengan penundaan puncak aliran antara 4 menit hingga 4 jam 42 menit. Selbig et al. (2019) dalam studi 22 bulan di Wisconsin mengkonfirmasi bahwa ketiga jenis perkerasan porous mampu mereduksi limpasan secara signifikan, dengan penyisihan TSS sekitar 60% pada seluruh jenis yang diuji.

Singer et al. (2022) dalam analisis bibliometrik terhadap 22 tahun literatur (2000–2021) mengkonfirmasi bahwa porositas subgrade dan ukuran pori perkerasan merupakan dua faktor pembatas utama yang mempengaruhi laju infiltrasi dan kapasitas retensi. Kapasitas retensi air perkerasan porous umumnya 35–65% lebih tinggi dibandingkan aspal konvensional dalam kondisi dan intensitas hujan yang setara (Sambito et al., 2021). Rentang variasi kinerja yang lebar ini bukan mencerminkan inkonsistensi, melainkan sensitivitas tinggi teknologi ini terhadap kondisi lapangan spesifik.

### **Kinerja Kualitas Air**

Dari 20 artikel yang diinklusi, 11 artikel (55%) melaporkan data kinerja kualitas air secara kuantitatif. Selbig et al. (2019) melaporkan penyisihan TSS sekitar 60% pada ketiga jenis perkerasan porous yang diuji dalam kondisi lapangan nyata. Sambito et al.

(2021) mengkonfirmasi bahwa porous asphalt lebih efektif menyisihkan Chemical Oxygen Demand (COD) dan logam berat, sementara pervious concrete lebih unggul dalam mereduksi total nitrogen (TN) dan ammonium—kemungkinan karena pH alkalin material berbasis semen mendukung proses nitrifikasi-denitrifikasi. Wijeyawardana et al. (2022) menunjukkan bahwa modifikasi pervious concrete dapat meningkatkan efisiensi penyisihan logam berat secara signifikan dari limpasan jalan perkotaan.

Temuan ini memiliki relevansi praktis yang tinggi bagi Indonesia, di mana limpasan jalan umumnya terkontaminasi sedimen, hidrokarbon dari tumpahan bahan bakar, serta logam berat dari emisi kendaraan. Kemampuan permeable pavement untuk menyaring polutan secara in situ sebelum mencapai badan air penerima menjadikannya tidak hanya solusi drainase, tetapi juga instrumen perlindungan kualitas air tanah dan sungai perkotaan (Putri et al., 2023). Namun manfaat ini hanya dapat dipertahankan apabila permasalahan clogging dapat dikendalikan secara efektif.

### **Tantangan Kritis: Penyumbatan (Clogging)**

Dari 20 artikel yang diinklusi, 16 artikel (80%) mengidentifikasi clogging sebagai tantangan teknis yang paling kritis—menjadikannya isu yang paling konsisten ditemukan dalam seluruh literatur yang dikaji. Razzaghmanesh & Beecham (2018), dalam tinjauan sistematis terhadap investigasi clogging, mendokumentasikan bahwa laju infiltrasi menurun signifikan bahkan dalam dua tahun pertama instalasi, dengan penyumbatan paling intensif terjadi pada 1,5–2,5 cm lapisan permukaan bagian atas. Sousa et al. (2024) mengkategorikan strategi mitigasi ke dalam tiga kelompok: (1) optimasi desain mix, khususnya rasio ukuran partikel terhadap pori; (2) seleksi binder dan agregat yang tepat pada konstruksi; serta (3) program pemeliharaan terstruktur mencakup vakuming berkala, jet washing bertekanan tinggi, dan inspeksi visual rutin.

Penting untuk dicatat bahwa faktor pemicu clogging bervariasi secara signifikan tergantung konteks iklim. Di kawasan tropis seperti Indonesia, sedimen dari hujan intensitas tinggi dan biomassa vegetasi sekitar menjadi agen clogging dominan—berbeda dari iklim temperate di mana pasir anti-es mendominasi. Rahman et al. (2025) menegaskan perlunya pengembangan strategi pemeliharaan yang dikalibrasi secara lokal, menjadikan riset kontekstual tropis sebagai prioritas yang mendesak dan menjadi jembatan menuju identifikasi kesenjangan penelitian pada sub-bab berikut.

### **Kesenjangan Penelitian dan Implikasi untuk Indonesia**

Setelah menelaah tren, klasifikasi, kinerja hidrologi, kinerja kualitas air, dan tantangan implementasi secara sistematis dari 20 artikel, tiga kesenjangan penelitian kritis teridentifikasi yang secara khusus relevan bagi Indonesia.

Pertama, minimnya studi empiris jangka panjang di kawasan beriklim tropis. Dari 20 artikel yang diinklusi, hanya satu yang berasal dari konteks Indonesia dan tidak satu pun melaporkan data pemantauan lapangan selama lebih dari tiga tahun di bawah kondisi curah hujan tropis intensif. Mayoritas data kinerja kuantitatif berasal dari iklim subtropis atau sedang di Eropa, Amerika Utara, dan Asia Timur yang karakteristik curah hujannya berbeda secara fundamental, membatasi transferabilitas langsung bagi perencanaan dan insinyur di Indonesia.

Kedua, ketiadaan standar teknis nasional Indonesia yang spesifik untuk perancangan, konstruksi, dan pemeliharaan perkerasan porous. Putri et al. (2023)

menegaskan bahwa ketersediaan regulasi yang jelas merupakan prasyarat utama bagi implementasi LID yang efektif di negara berkembang. Tanpa panduan teknis yang mengacu pada kondisi tanah, iklim, dan karakteristik lalu lintas lokal, adopsi teknologi ini di proyek infrastruktur nasional berjalan sangat lambat meski potensi manfaatnya telah terdokumentasi dengan baik.

Ketiga, terbatasnya kajian analisis biaya siklus hidup (life-cycle cost analysis atau LCCA) yang komprehensif untuk konteks Asia Tenggara. Solla et al. (2025) mencatat bahwa meski biaya investasi awal permeable pavement umumnya 20–40% lebih tinggi dibandingkan perkerasan konvensional, manfaat jangka panjangnya—termasuk pengurangan biaya penanganan banjir dan peningkatan kualitas air tanah—berpotensi menghasilkan nilai net present yang positif. Namun kuantifikasi manfaat-manfaat ini dalam konteks ekonomi dan lingkungan Indonesia belum dilakukan secara sistematis.

## **E. KESIMPULAN**

Tinjauan literatur sistematis terhadap 20 artikel terpilih dari periode 2015–2025 ini berhasil memetakan perkembangan riset perkerasan porous dan permeable pavement secara komprehensif, sekaligus mengidentifikasi posisi Indonesia dalam lanskap pengetahuan global yang sedang berkembang pesat.

Tiga simpulan utama dapat dirumuskan. Pertama, pervious concrete dan porous asphalt merupakan teknologi paling dominan—masing-masing ditemukan dalam 75% dan 60% artikel yang diinklusi—dengan kemampuan reduksi limpasan 26–98% dan efisiensi penyisihan TSS hingga 60%. Kedua, manfaat permeable pavement bersifat multidimensi, tidak terbatas pada fungsi hidrologis, tetapi mencakup pula penyaringan polutan, penurunan efek urban heat island, dan reduksi kebisingan—menjadikannya investasi infrastruktur yang memberikan nilai jamak. Ketiga, clogging merupakan tantangan teknis yang paling konsisten ditemukan (80% artikel) dan memerlukan protokol pemeliharaan yang disesuaikan dengan kondisi iklim lokal untuk menjamin kinerja jangka panjang.

Dari perspektif Indonesia, tiga agenda penelitian mendesak perlu diprioritaskan: (1) pelaksanaan studi kinerja empiris jangka panjang (minimal 5 tahun) di berbagai zona iklim tropis Indonesia; (2) penyusunan standar teknis nasional untuk perancangan, konstruksi, dan pemeliharaan perkerasan porous yang mempertimbangkan kondisi curah hujan, karakteristik tanah, dan spesifikasi lalu lintas lokal; serta (3) kajian analisis biaya siklus hidup yang komprehensif sebagai landasan pengambilan keputusan investasi bagi perencana dan pembuat kebijakan. Dengan menuntaskan ketiga agenda tersebut secara terstruktur, Indonesia memiliki peluang nyata untuk mengintegrasikan permeable pavement sebagai solusi infrastruktur perkotaan berkelanjutan yang siap diimplementasikan di lapangan.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, masukan, dan bantuan dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih kepada rekan-rekan sejawat atas diskusi dan saran yang berharga, serta kepada seluruh pihak yang telah bersedia menjadi sumber data dalam penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmupengetahuan dan praktik di bidang yang relevan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- AlShareedah, O., & Nassiri, S. (2021). Pervious concrete mixture optimization, physical, and mechanical properties and pavement design: A review. *Journal of Cleaner Production*, 288, 125095. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125095>
- Alsubih, M., Arthur, S., Wright, G., & Allen, D. (2017). Experimental study on the hydrological performance of a permeable pavement. *Urban Water Journal*, 14(4), 427–434. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2016.1176221>
- Antunes, L. N., Ghisi, E., & Thives, L. P. (2018). Permeable pavements life cycle assessment: A literature review. *Water*, 10(11), 1575. <https://doi.org/10.3390/w10111575>
- Antunes, L. N., Sydney, C., Ghisi, E., Phoenix, V. R., Thives, L. P., White, C., & Garcia, E. S. H. (2020). Reduction of environmental impacts due to using permeable pavements to harvest stormwater. *Water*, 12(10), 2840. <https://doi.org/10.3390/w12102840>
- Jiang, Z., Chen, B., Li, Y., Ma, Z., Guo, X., & Chen, X. (2024). Review of the development and research of permeable pavements. *Hydrological Processes*, 38(6), e15179. <https://doi.org/10.1002/hyp.15179>
- Lin, W. H. (2023). Assessing the performance of permeable pavement in mitigating flooding in urban areas. *Water*, 15(20), 3551. <https://doi.org/10.3390/w15203551>
- Muttuvelu, D. V., & Kjemis, E. (2021). A systematic review of permeable pavements and their unbound material properties in comparison to traditional subbase materials. *Infrastructures*, 6(12), 179. <https://doi.org/10.3390/infrastructures6120179>
- Muttuvelu, D. V., Wyke, S., & Vollertsen, J. (2022). Are permeable pavements a sustainable solution? A qualitative study of the usage of permeable pavements. *Sustainability*, 14(19), 12432. <https://doi.org/10.3390/su141912432>
- Nguyen, P. T.-H., Kim, J., & Ahn, J. (2023). TSS removal efficiency and permeability degradation of sand filters in permeable pavement. *Materials*, 16(11), 3999. <https://doi.org/10.3390/ma16113999>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hrobjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Putri, F. K., Hidayah, E., & Ma'ruf, M. F. (2023). Enhancing stormwater management with low impact development (LID): a review of the rain barrel, bioretention, and permeable pavement applicability in Indonesia. *Water Science & Technology*, 87(9), 2345–2361. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.095>
- Rahma, S. L., Sunarsih, & Mussadun. (2024). Assessing urban flooding and drainage system performance in urban area: A Mononobe equation and Manning formula approach. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 14(3), 463–475. <https://doi.org/10.29244/jpsl.14.3.463>
- Rahman, T., Tajudin, A. N., Wulaningtyas, A. H., & Andika, N. (2025). Recent developments in mitigating clogging in permeable pavements: a state-of-the-art

- review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10, 80. <https://doi.org/10.1007/s41062-025-01882-6>
- Razzaghmanesh, M., & Beecham, S. (2018). A review of permeable pavement clogging investigations and recommended maintenance regimes. *Water*, 10(3), 337. <https://doi.org/10.3390/w10030337>
- Sambito, M., Severino, A., Freni, G., & Neduzha, L. (2021). A systematic review of the hydrological, environmental and durability performance of permeable pavement systems. *Sustainability*, 13(8), 4509. <https://doi.org/10.3390/su13084509>
- Selbig, W. R., Buer, N., & Danz, M. E. (2019). Stormwater-quality performance of lined permeable pavement systems. *Journal of Environmental Management*, 251, 109510. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109510>
- Singer, M. N., Hamouda, M. A., El-Hassan, H., & Hinge, G. (2022). Permeable pavement systems for effective management of stormwater quantity and quality: A bibliometric analysis and highlights of recent advancements. *Sustainability*, 14(20), 13061. <https://doi.org/10.3390/su142013061>
- Solla, M., Perez-Gracia, V., & Fontul, S. (2025). Permeable pavements: An integrative review of technical and environmental contributions to sustainable cities. *Water*, 17(22), 3323. <https://doi.org/10.3390/w17223323>
- Sousa, M., Almeida, M. D., Fael, C., & Bentes, I. (2024). Permeable asphalt pavements (PAP): Benefits, clogging factors and methods for evaluation and maintenance—a review. *Materials*, 17(24), 6063. <https://doi.org/10.3390/ma17246063>
- Vaillancourt, C., Duchesne, S., & Pelletier, G. (2019). Hydrologic performance of permeable pavement as an adaptive measure in urban areas: Case studies near Montreal, Canada. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(8), 05019020. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001812](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001812)
- Wijeyawardana, P., Nanayakkara, N., Gunasekara, C., Karunarathna, A., Law, D., & Pramanik, B. K. (2022). Improvement of heavy metal removal from urban runoff using modified pervious concrete. *Science of the Total Environment*, 815, 152936. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152936>