



# 3.81%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 30 JAN 2025, 5:04 PM

## Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL  
0.21%

● CHANGED TEXT  
3.59%

## Report #24590885

BAB I PENDAHULUAN 1.1 Latar Belakang Menurut Lippsmeier (1994), Indonesia masuk ke dalam bagian hutan hujan tropis daerah sekitar khatulistiwa sampai sekitar 15 derajat di utara dan selatan. Karakter iklim ini biasanya ditandai dengan presipitasi dan kelembaban tinggi. Iklim ini memiliki dua musim tiap tahunnya yaitu musim kemarau dan musim hujan. Musim kemarau biasanya terjadi antara bulan Maret sampai Agustus. Sedangkan musim hujan biasanya terjadi antara bulan September sampai Februari. Dengan lokasi di garis khatulistiwa, Indonesia sering mengalami bencana alam banjir karena curah hujan yang tinggi dan suhu yang hangat sepanjang tahun, yang mengakibatkan banyaknya penguapan yang berpotensi menyebabkan hujan. **5 12** Banjir adalah ketika sebuah wilayah atau daratan terendam karena volume air meningkat, menurut Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB: 2007). Selain curah hujan yang tinggi, topografi dataran yang rendah juga dapat menyebabkan banjir. Air akan mengalir ke tempat yang lebih rendah. Tak hanya itu, salah satu penyebabnya adalah berkurangnya lahan hijau dan ruang terbuka (RTH). Hal ini diperparah oleh banyaknya konstruksi jalan yang dibuat dari bahan yang kedap air seperti beton dan campuran aspal, serta sistem drainase yang tidak berfungsi dengan baik. Green pavement atau perkerasan hijau adalah teknologi perkerasan jalan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan teknologi perkerasan konvensional. Teknologi ini dirancang untuk

mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dengan menggunakan material dan proses konstruksi yang lebih berkelanjutan. Tujuan utama penerapan green pavement adalah untuk mengatasi tantangan keberlanjutan di sektor konstruksi jalan, seperti pengurangan emisi gas rumah kaca, minimalisasi limbah, peningkatan efisiensi sumber daya, dan mitigasi dampak lingkungan. Upaya ini sejalan dengan tren global menuju pembangunan infrastruktur jalan yang lebih berkelanjutan. Hal ini didukung dengan teknologi green pavement sebagai sistem drainase yang berkelanjutan. Penerapan sistem drainase yang terintegrasi dengan fitur hijau dapat membantu mengurangi polutan yang terbawa aliran air hujan, sehingga meningkatkan kualitas air yang masuk ke badan air penerima. Selain itu, perkerasan berpori memungkinkan air meresap melalui lapisan perkerasan dan masuk ke dalam tanah, sehingga mengurangi beban sistem drainase permukaan. Fungsi lainnya adalah meningkatkan resapan air hujan ke dalam tanah, mengurangi genangan, dan memperbaiki kualitas air hujan yang masuk ke sistem drainase Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu adanya pengembangan pada proses konstruksi yang mampu untuk mengurangi dampak banjir serta tetap mempertahankan fungsi drainase dengan baik. Melalui penelitian ini diharapkan agar hasil kajian ini dapat memberikan kesadaran terkait dengan pentingnya fungsi drainase dan penggunaan teknologi green pavement . Serta, data yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dijadikan

sebagai salah satu kriteria dalam melaksanakan konstruksi yang ramah lingkungan dengan memperhatikan fungsi drainase. Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung memiliki peran vital dalam menopang kehidupan dan aktivitas di wilayah Jakarta dan sekitarnya. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, DAS Ciliwung menghadapi permasalahan serius terkait banjir yang kerap melanda kawasan pemukiman urban. Salah satu faktor utama penyebab banjir adalah alih fungsi lahan di kawasan hulu, khususnya di wilayah Puncak, Bogor. **10** Data menunjukkan bahwa 72 persen wilayah DAS Ciliwung telah berubah menjadi lahan terbangun, mengakibatkan penurunan daya serap air dan peningkatan risiko banjir di Jakarta (Sudarno, 2025). Kerusakan lingkungan di hulu DAS Ciliwung diperparah dengan maraknya pembangunan vila dan properti lainnya, yang mengakibatkan berkurangnya area resapan air alami (Bempah & Susanti, 2018). Kondisi ini menyebabkan volume air yang mengalir ke hilir meningkat signifikan, terutama saat musim hujan, sehingga memperbesar potensi banjir di kawasan pemukiman urban. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan upaya mitigasi yang komprehensif, salah satunya melalui penerapan infrastruktur hijau seperti modul green pavement. **9** Modul ini dirancang untuk meningkatkan permeabilitas permukaan tanah, memungkinkan air hujan meresap lebih efektif, dan mengurangi limpasan permukaan yang berkontribusi pada banjir. Implementasi green pavement di kawasan pemukiman urban diharapkan dapat menjadi solusi efektif dalam mengurangi risiko banjir, sejalan dengan konsep pembangunan berkelanjutan yang mengedepankan keseimbangan antara pembangunan dan pelestarian lingkungan. Green pavement juga berkontribusi pada perbaikan sistem drainase di Universitas Pembangunan Jaya. Dengan memanfaatkan material yang ramah lingkungan dan teknik desain yang inovatif, green pavement meningkatkan kapasitas drainase dengan mengurangi kecepatan aliran air ke saluran drainase konvensional. Ini sangat penting untuk menghindari penumpukan air yang dapat menyebabkan kerusakan pada infrastruktur kampus dan dampak negatif bagi aktivitas belajar di dalamnya. Selain manfaat teknis, penerapan green pavement memberikan kontribusi positif terhadap lingkungan dan meningkatkan

estetika kampus. Green pavement tidak hanya berfungsi menetralkan aliran air, tetapi juga menghadirkan elemen hijau yang mempercantik ruang terbuka di kampus. Dengan menambah ruang tanaman, green pavement mendukung keanekaragaman hayati dan mengurangi suhu permukaan, menciptakan lingkungan kampus yang lebih nyaman dan ramah lingkungan bagi mahasiswa dan pengunjung. Sehingga, peneliti akan berupaya untuk melakukan penelitian terhadap green pavement yang kiranya dapat diimplementasikan pada lingkungan Universitas Pembangunan Jaya.

### 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kapasitas drainase hijau untuk menahan air?
2. Bagaimana kemampuan drainase hijau untuk mengalirkan air?

### 1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui kapasitas drainase hijau dalam menahan air
2. Mengetahui kemampuan drainase hijau dalam mengalirkan air

### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Teoritis
  - ☒ Memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang konsep dan prinsip-prinsip green pavement sebagai bagian dari pembangunan infrastruktur jalan yang berkelanjutan.
  - ☒ Menganalisis mekanisme teoritis penerapan green pavement dalam mengurangi dampak lingkungan, seperti pengurangan emisi, polusi, dan konsumsi sumber daya alam.
  - ☒ Mengembangkan kerangka teoritis penggunaan teknologi inovatif untuk meningkatkan kinerja dan durabilitas perkerasan jalan secara ramah lingkungan.
2. Manfaat Praktis
  - ☒ Memberikan panduan praktis bagi pemangku kepentingan (pengambil kebijakan, kontraktor, dan masyarakat) untuk mengadopsi dan mengimplementasikan teknologi green pavement.
  - ☒ Mendorong inovasi dan pengembangan material, teknologi, serta praktik konstruksi yang lebih ramah lingkungan di sektor infrastruktur jalan.
  - ☒ Membantu mengurangi dampak negatif pembangunan dan pemeliharaan jalan terhadap lingkungan, seperti emisi, polusi, dan konsumsi sumber daya alam yang berlebihan.
  - ☒ Meningkatkan keberlanjutan dan daya tahan infrastruktur jalan dalam jangka panjang melalui penggunaan teknologi dan material inovatif.
  - ☒ Mendukung upaya pemerintah dan masyarakat dalam mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya di sektor transportasi.

### 1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil,

Universitas Pembangunan Jaya. 2. Penelitian ini berfokus untuk menganalisa dan mengkaji kapasitas penampungan dan pengaliran air pada modul green pavement . 3. Penelitian ini tidak menganalisis kekuatan modul dari sisi beban material dan beban transportasi. 4. Penelitian ini hanya mempertimbangkan model pada bidang datar 5. Penelitian ini menggunakan pompa air otomatis merk 'Shimizu PS-135 E' serta sprinkler air dengan flow rate 0,48 m<sup>3</sup> /h. 6. Penelitian ini menggunakan data curah hujan Ciliwung dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun. 7. Penelitian ini menggunakan bukaan valve sebesar 100%, 85%, 75%, 65%, 50%, 45%, 30%, 25%, 15%, 10%, dan 5%. 1.6 Sistematika Penulisan BAB I Pendahuluan, Gambaran singkat dan jelas mengenai penelitian yang dilakukan. Pendahuluan memuat penjelasan dan latar belakang mengapa penelitian ini harus dilakukan. Dalam pendahuluan terdapat Latar Belakang permasalahan, Identifikasi masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, serta Sistematika Penulisan. BAB II Tinjauan Pustaka, berisi uraian penjelasan terhadap teori-teori secara sistematis dan hasil penelitian yang diperoleh berdasarkan literatur sebelumnya yang relevan dengan permasalahan dan tujuan yang dimuat dalam penelitian ini. Tinjauan pustaka bersumber pada penelitian terdahulu, jurnal, tesis hingga laporan lainnya.

23 Pada dasar teori, menguraikan kerangka teoritis secara relevan dan memahami masalah dalam penelitian. BAB III Metode Penelitian, berisi metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian. Pada Metode penelitian akan secara lengkap menguraikan proses hingga kerangka kerja dalam penelitian yang menggambarkan dengan singkat proses dalam pemecahan masalah. Serta, kerangka pemikiran untuk pembentukan hipotesis pada penelitian. BAB IV Hasil dan Analisis Penelitian, berisi hasil dari metodologi penelitian yang dibahas dan diulas dengan metode maupun dengan menggunakan software pembantu yang relevan. 5 BAB V Penutup, berisi kesimpulan serta saran berdasarkan pembahasan yang menjadi sasaran dari tujuan penelitian yang dilakukan. BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Dasar Teori 2.1.1 Banjir Banjir, sebagai fenomena alam, dapat didefinisikan sebagai suatu

keadaan di mana air menggenangi wilayah yang biasanya tidak terendam, seringkali diakibatkan oleh curah hujan yang berlebihan, meluapnya sungai, atau berbagai faktor lainnya (David Victor Mamengko, 2024). Banjir dapat diartikan sebagai suatu kondisi di mana air menggenangi wilayah yang biasanya tidak terendam, sering kali disebabkan oleh peningkatan curah hujan, meluapnya sungai, atau faktor lainnya (Arsyad, 2022). Para ahli menjelaskan bahwa penyebab banjir dapat dikategorikan menjadi faktor alami dan antropogenik. Faktor alami seperti curah hujan tinggi dan kondisi geografi suatu wilayah dapat menyebabkan banjir. Sementara itu, faktor antropogenik meliputi perubahan penggunaan lahan, pengelolaan air yang buruk, dan penebangan hutan yang mengganggu ekosistem (Haris, Sitorus, & Tjahjono, 2022). Penyebab utama banjir termasuk faktor alam seperti hujan lebat dan meluapnya sungai, serta faktor manusia seperti perubahan penggunaan lahan, urbanisasi, dan pengelolaan air yang kurang baik. Pembendungan sungai dan pembukaan lahan yang mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap air juga memperbesar risiko terjadinya banjir (Farizkha, Sukarmawati, Nurrahman, & Nugraha, 2022). Banjir dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, termasuk banjir bandang, banjir rob, banjir luapan sungai, banjir genangan, dan banjir stagnan. Masing-masing jenis banjir memiliki penyebab dan karakteristik yang berbeda, serta dampak yang dapat ditimbulkan pada masyarakat dan lingkungan (Sejati, Sugiarto, Anasi, Utaya, & Bachri, 2022). Pada penelitian yang dilakukan akan menangani permasalahan yang ditimbulkan dari jenis banjir genangan yang berada di area pemukiman urban.

#### 2.1.1.1 Banjir Genangan

Banjir genangan merujuk pada kondisi di mana air hujan, atau air lainnya, terakumulasi di area tertentu tanpa saluran untuk mengalirkan air tersebut. Hal ini sering terjadi di daerah dataran rendah atau area yang memiliki sistem drainase yang tidak memadai. Penyebab utama banjir genangan termasuk curah hujan yang tinggi, perubahan penggunaan lahan, dan infrastruktur drainase yang kurang baik. Faktor lain seperti urbanisasi yang cepat mengurangi area resapan air, sehingga meningkatkan potensi limpasan

permukaan. Curah hujan yang tinggi merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan peningkatan debit aliran permukaan dan genangan banjir. Peningkatan curah hujan dapat menyebabkan meluapnya air ke daerah yang tidak dapat menampung aliran tersebut, berpotensi menciptakan genangan (Zainuddin, Selintung, & Lopa, 2023). Di daerah tertentu, khususnya yang memiliki kondisi topografi yang rendah, curah hujan yang signifikan sering kali berakibat pada situasi banjir yang lebih parah, karena kapasitas saluran pembuangan yang tidak memadai. Perubahan tutupan lahan, seperti konversi lahan hijau menjadi area yang terbangun, juga berkontribusi pada peningkatan risiko banjir genangan. Dengan berkurangnya vegetasi yang dapat menyerap air, lahan menjadi lebih rentan terhadap limpasan yang berlebih. Penelitian menunjukkan bahwa alih fungsi lahan berdampak langsung pada kemampuan lahan untuk menyerap air hujan, yang dapat meningkatkan kejadian banjir di wilayah perkotaan (Farid, et al., 2021). Interaksi antara curah hujan dan tutupan lahan sangat penting dalam menentukan potensi genangan banjir. Wilayah dengan curah hujan tinggi dan tutupan lahan yang berkurang mendapati bahwa limpasan permukaan meningkat secara drastis, memperburuk genangan banjir. Sebagai contoh, di kawasan industri, perubahan tutupan lahan akibat pembangunan yang tidak terkendali dapat menyebabkan ketidakmampuan tanah untuk menyerap air, sehingga meningkatkan risiko banjir (Nurkhaerani, Debora, & Solehudin, 2023).

6 Sistem drainase yang buruk atau tidak memadai merupakan faktor signifikan lain yang menyebabkan banjir genangan. Ketika saluran drainase tersumbat oleh sampah, lumpur, atau material lainnya, aliran air menjadi terhambat, memperbesar risiko genangan air di permukaan (Ariyani, Jarwadi, Sunarti, & Perdinan, 2022). 2.1.2 Sistem Drainase Drainase merujuk pada sistem atau proses yang dirancang untuk mengeluarkan air dari area tertentu, seperti tanah, bangunan, atau struktur lainnya. Drainase dapat didefinisikan sebagai proses atau sistem yang digunakan untuk mengelola aliran air di permukaan tanah, dengan tujuan utama untuk mencegah terjadinya genangan air. Sistem drainase berfungsi untuk mengalirkan air

dari area yang kurang produktif atau rentan terhadap banjir ke lokasi yang lebih aman, sehingga menjaga keseimbangan ekosistem dan mendukung kegiatan manusia. Tak hanya itu, tujuan utama dari sistem drainase adalah untuk melindungi tanah dan bangunan dari kerusakan akibat kelebihan air, dan untuk meningkatkan kualitas tanah. Sistem drainase yang baik akan mendukung pertumbuhan tanaman dengan memastikan bahwa tanah tidak terlalu basah, serta mengurangi risiko erosi tanah oleh hujan atau aliran air yang kuat. Penerapan sistem drainase yang efektif sangat penting terutama di daerah-daerah yang sering mengalami banjir. Sistem ini tidak hanya melindungi infrastruktur dan properti, tetapi juga berkontribusi pada pengelolaan air tanah dan kualitas air secara keseluruhan. Tanpa sistem drainase yang baik, daerah tersebut bisa mengalami masalah serius seperti kerusakan tanah, penurunan produktivitas pertanian, dan peningkatan penyakit terkait air. Terdapat beberapa jenis drainase yang masing-masing memiliki fungsi dan karakteristik spesifik, yaitu:

- ☒ Drainase Permukaan Drainase permukaan dirancang untuk mengalirkan air yang berada di permukaan tanah akibat hujan atau pencairan salju. Sistem ini biasanya melibatkan parit, saluran terbuka, dan corong air yang mengarahkan air ke daerah yang lebih rendah atau ke sistem pembuangan. Tujuan dari drainase permukaan adalah menghindari genangan air yang dapat merusak tanaman dan infrastruktur.
- ☒ Drainase Bawah Tanah Drainase bawah tanah berfungsi untuk menurunkan tingkat air tanah yang dapat mengganggu aktivitas pertanian atau pembangunan. **17** Sistem ini sering kali menggunakan pipa perforasi yang diletakkan di bawah permukaan tanah untuk mengumpulkan dan mengalirkan air tanah. Keberadaan drainase ini membantu meningkatkan kesuburan tanah dengan mengurangi genangan dan meningkatkan sirkulasi udara di dalam tanah.
- ☒ Drainase Limbah Drainase limbah ditujukan khusus untuk mengelola air limbah dari rumah tangga, industri, dan fasilitas publik lainnya. Sistem ini terdiri dari saluran pembuangan yang membawa air limbah menuju instalasi pengolahan. **7** Mengelola air limbah dengan efektif penting untuk menjaga kesehatan masyarakat dan lingkungan, mencegah

pencemaran, serta menjaga kualitas sumber air. ❏ Drainase Hujan Drainase hujan difokuskan pada pengelolaan aliran air hujan di kawasan perkotaan. Biasanya terdiri dari sistem saluran pembuangan yang mengarahkan air hujan dari atap bangunan dan jalan menuju saluran pembuangan umum. Hal ini membantu mengurangi risiko banjir yang sering terjadi di daerah perkotaan akibat curah hujan yang tinggi. ❏ Drainase Konstruksi Drainase konstruksi adalah jenis drainase yang digunakan selama tahap pembangunan untuk mengalirkan air yang mungkin mengganggu proses konstruksi. Ini sangat penting untuk menjaga stabilitas fondasi dan mencegah kerusakan akibat genangan air. Drainase jenis ini perlu direncanakan dan diimplementasikan dengan baik agar proyek konstruksi dapat berjalan lancar. 2.1 15 3 Curah hujan Curah hujan adalah jumlah, frekuensi, dan distribusi air yang jatuh ke permukaan bumi dalam bentuk cair (hujan) atau padat (salju atau hujan es). Secara teknis, curah hujan diukur sebagai tinggi air yang terkumpul pada permukaan vertikal jika tidak terjadi infiltrasi, limpasan, atau penguapan. Curah hujan merupakan salah satu komponen utama siklus air dan berperan penting dalam banyak aspek kehidupan, termasuk pertanian, pengelolaan air, dan studi lingkungan. Curah hujan merupakan bagian penting dari siklus hidrologi Bumi dan memengaruhi berbagai aktivitas lingkungan dan manusia. 4 Hujan merupakan jenis presipitasi yang terjadi ketika uap air di atmosfer mengembun menjadi titik-titik air yang jatuh ke tanah. Untuk memahami presipitasi, kita perlu mempelajari pengukuran, prediksi, dan pola kejadiannya. Presipitasi didefinisikan sebagai jumlah presipitasi yang jatuh di area tertentu selama periode waktu tertentu. 4 11 Presipitasi merupakan jenis presipitasi yang terjadi akibat kondensasi uap air di atmosfer menjadi titik-titik air yang cukup berat untuk jatuh ke tanah. Pengukuran presipitasi biasanya dinyatakan dalam milimeter, dengan 1 milimeter presipitasi sama dengan 1 liter air per meter persegi (Syarifuddin, Ramadan, Khurniawan, Hadiyoso, & Aulia, 2021). Curah hujan yang terlalu sedikit dapat menyebabkan kekeringan, sedangkan curah hujan yang terlalu banyak dapat menyebabkan banjir. Oleh karena itu, memahami curah hujan sangat penting

untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, mitigasi bencana, dan membangun infrastruktur yang tangguh terhadap kondisi cuaca ekstrem. **27** Curah hujan erat kaitannya dengan kondisi tutupan lahan di suatu daerah. Perubahan tutupan lahan, seperti urbanisasi, penggundulan hutan atau Pengelolaan lahan pertanian dapat mempengaruhi pola curah hujan, laju infiltrasi dan limpasan permukaan. Penelitian tentang interaksi antara curah hujan dan tutupan lahan penting untuk memahami dampak perubahan penggunaan lahan terhadap siklus hidrologi dan lingkungan. Curah hujan merupakan salah satu unsur utama analisis hidrologi karena merupakan sumber utama terjadinya siklus hidrologi. Dalam penelitian ini, data curah hujan digunakan untuk mengevaluasi potensi limpasan air permukaan dan kapasitas infiltrasi yang dikelola oleh modul perkerasan hijau. Kawasan pemukiman perkotaan seringkali menghadapi permasalahan pengelolaan air akibat curah hujan yang tinggi dan kurangnya resapan tanah. Jadi sangat penting untuk memahami curah hujan. mendukung desain dan penerapan sistem perkerasan jalan hijau yang efektif. Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari beberapa sumber, seperti: a) Stasiun pengamatan hujan. Data dari stasiun curah hujan yang terletak di sekitar wilayah studi digunakan sebagai dasar untuk menghitung sebaran curah hujan. b) Data sekunder. Data historis curah hujan dari lembaga meteorologi atau instansi terkait yang mencakup periode tertentu. c) Pengukuran Bidang. Jika memungkinkan, pengukuran langsung dilakukan di lokasi penelitian untuk memvalidasi data curah hujan dari sumber lain. Pengolahan data curah hujan meliputi: a) Verifikasi Data. Mengevaluasi kelengkapan dan konsistensi data dari masing-masing sumber. b) Analisis statistik. Menghitung rata-rata, intensitas maksimum, frekuensi kejadian dan durasi curah hujan untuk memahami pola curah hujan di wilayah studi. c) Distribusi spasial. Menggunakan metode Thiessen atau interpolasi lainnya estimasi distribusi rata-rata curah hujan di wilayah studi. Data curah hujan digunakan dalam beberapa aspek analisis hidrologi dalam penelitian ini: a) Evaluasi kekasaran permukaan. Data curah hujan digunakan untuk

menghitung volume limpasan dengan menggunakan metode rasional atau model hidrologi lainnya. Aliran ini merupakan indikator penting untuk mengukur efektivitas modul perkerasan hijau dalam pengurangan banjir. b) Perhitungan kapasitas infiltrasi. Intensitas curah hujan dalam kaitannya dengan kapasitas infiltrasi modul perkerasan hijau untuk menilai kemampuan sistem dalam menyerap air hujan. c) Simulasi sistem drainase hijau. Data curah hujan dimasukkan ke dalam simulasi hidrologi untuk merancang kinerja sistem perkerasan hijau dalam kondisi cuaca yang berbeda. Analisis curah hujan berperan penting dalam memahami dinamika hidrologi kawasan perkotaan dan mendukung pengembangan modul perkerasan hijau. Melalui analisa yang komprehensif, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi efektif dalam mengelola air hujan, mengurangi risiko banjir dan meningkatkan keberlanjutan kawasan pemukiman perkotaan. Curah hujan dan stasiun curah hujan mempunyai keterkaitan yang erat karena stasiun curah hujan merupakan sumber utama pengukuran dan pencatatan data curah hujan pada suatu daerah.

#### 2.1.4 Stasiun hujan

Stasiun hujan adalah suatu tempat yang dilengkapi dengan alat untuk mengukur curah hujan, misalnya alat pengukur hujan. Stasiun ini berfungsi sebagai titik pengamatan untuk mencatat jumlah, intensitas, dan durasi curah hujan. Data stasiun hujan sangat penting untuk berbagai keperluan seperti: a) Analisis hidrologi. b) Perencanaan sumber daya air. c) Memantau cuaca dan kondisi cuaca. d) Prakiraan banjir dan kekeringan.

6 14 Curah hujan diukur sebagai volume air jatuh di permukaan bumi, biasanya dinyatakan dalam milimeter (mm) per satuan waktu (hari, bulan, atau tahun). Pengukuran ini dilakukan dengan peralatan yang terletak pada stasiun pengendapan yang terletak pada lokasi tertentu. Banyaknya hujan yang diukur oleh stasiun hujan mewakili kondisi spesifik di sekitar lokasi tersebut. Sebaran spasial stasiun curah hujan mempengaruhi keakuratan representasi curah hujan di suatu wilayah. Semakin merata stasiun curah hujan, semakin baik, data curah hujan mencerminkan kondisi terkini di wilayah tersebut. Namun, jika sebaran stasiun curah hujan tidak merata, data yang diperoleh mungkin tidak cukup akurat

untuk mewakili keseluruhan wilayah. Data curah hujan yang dikumpulkan dari berbagai stasiun curah hujan di suatu wilayah dapat dianalisis menjadi: a) Hitung curah hujan rata-rata menggunakan metode seperti mean aritmatika, metode Thiessen, atau metode isohietal. b) Mengidentifikasi pola curah hujan, seperti tren tahunan, bulanan atau musiman. c) Penentuan daerah banjir atau kekeringan berdasarkan sebaran curah hujan. Dalam analisis hidrologi, ketersediaan data curah hujan yang lengkap dan konsisten merupakan faktor penting untuk menghasilkan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Namun, tidak jarang ditemukan data kosong atau hilang pada catatan curah hujan akibat berbagai alasan, seperti kerusakan alat pengamatan, gangguan teknis, atau faktor cuaca ekstrem yang menghambat pencatatan. penanganan data kosong menjadi langkah penting untuk memastikan validitas hasil analisis yang berhubungan dengan pengelolaan limpasan air permukaan. Beberapa penyebab utama data kosong dalam pencatatan curah hujan meliputi: a) Kerusakan Peralatan. Peralatan pencatat curah hujan rusak karena faktor mekanis atau lingkungan. b) Keterbatasan operasional. Terbatasnya sumber daya manusia atau logistik untuk memelihara dan memantau stasiun observasi. c) Kondisi ekstrim. Bencana alam seperti angin topan atau banjir yang mengganggu pengamatan rutin. Dampak dari adanya data kosong antara lain: a) Penurunan Keakuratan analisis hidrologi. Hasil perhitungan seperti perkiraan rata-rata curah hujan atau limpasan permukaan menjadi kurang representatif. b) Kesalahan perencanaan. Data yang salah dapat mengakibatkan model modul perkerasan hijau menjadi kurang optimal. c) Hambatan dalam validasi model. Model hidrologi sulit divalidasi tanpa data yang lengkap. Untuk mengatasi data kosong dalam penelitian ini, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut: a) Interpolasi data. Gunakan data dari stasiun curah hujan terdekat untuk memperkirakan nilai curah hujan yang hilang. Metode interpolasi yang digunakan antara lain: 1) Rata-Rata Bobot Jarak. Menggunakan data dari beberapa stasiun terdekat dengan bobot berbasis jarak. 2) Interpolasi temporal. menggunakan data curah hujan sebelum dan sesudah periode data kosong. b) Analisis

Korelasi Identifikasi hubungan antara stasiun pengamatan yang mempunyai data lengkap dan yang datanya kosong. Data dari stasiun yang berkorelasi tinggi digunakan untuk mengisi data yang hilang. b) Pendekatan Statistik Gunakan teknik statistik seperti regresi linier atau analisis tren untuk memprediksi data yang hilang. c) Penggunaan Data Alternatif Gunakan data sekunder seperti radar cuaca, data satelit atau model numerik untuk menggantikan data yang hilang. Pengelolaan data kosong memastikan rancangan sistem berjalan optimal, artinya modul perkerasan hijau dirancang berdasarkan perkiraan curah hujan yang akurat. Kemudian, analisis limpasan yang tepat dapat menghasilkan perhitungan volume limpasan yang lebih mewakili kondisi tanah. Mengenai manajemen risiko meminimalisir kegagalan sistem akibat kesalahan data. Pada penelitian ini menggunakan langkah interpolasi data untuk menangani data kosong yang didapatkan dari stasiun hujan yang dialiri oleh DAS Ciliwung dengan menghitung nilai rerata curah hujan terlebih dahulu berdasarkan rentang waktu 1996- 2018 menggunakan persamaan thiessen yang ditunjukkan pada persamaan 2.1. Berdasarkan persamaan tersebut dalam menghitung interpolasi data kosong didapatkan stasiun hujan yang dapat dijadikan sebagai data masukkan pada metode thiessen yaitu, BMKG Citeko, BMKG Halim, BMKG Kemayoran, BMKG Bogor. **28** Dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun. 2.1.5 Metode Thiessen Metode Thiessen merupakan metode yang digunakan dalam hidrologi untuk menghitung rata-rata curah hujan pada suatu daerah berdasarkan data curah hujan dari beberapa stasiun pengamatan. Metode ini sangat berguna ketika stasiun pengamatan tersebar tidak teratur atau ketika terdapat perbedaan besar dalam distribusi spasial curah hujan. Metode Thiessen didasarkan pada pembagian daerah pengamatan menjadi beberapa poligon yang disebut poligon Thiessen. Setiap poligon mewakili area yang paling dekat dengan stasiun tertentu dibandingkan dengan stasiun lainnya. Dengan demikian, setiap stasiun memiliki wilayah pengaruhnya masing-masing. Curah hujan rata-rata dihitung dengan mempertimbangkan kontribusi masing-masing stasiun, sesuai dengan luas

poligon yang mewakilinya. Langkah-langkah penggunaan metode thiessen ialah sebagai berikut: d) Plot Lokasi Stasiun Gambarkan lokasi stasiun pengamatan curah hujan pada peta wilayah studi. e) Hubungkan Stasiun dengan Garis Lurus Hubungkan setiap stasiun dengan garis lurus sehingga membentuk jaringan segitiga ( Triangulasi Delaunay ). f) Buat Garis Tegak Lurus dari Tengah Segmen Dari setiap sisi segitiga, buat garis tegak lurus yang memotong tengah-tengah sisi. Perpotongan garis-garis ini akan membagi wilayah menjadi poligon Thiessen. g) Hitung Luas Setiap Poligon Ukur luas setiap poligon yang telah terbentuk menggunakan metode manual (misalnya dengan grid ) atau perangkat lunak GIS. h) Tentukan Curah Hujan Rata-Rata Gunakan rumus berikut untuk menghitung curah hujan rata- rata wilayah: Beberapa keterbatasan metode Thiessen dalam penelitian ini antara lain: a) Distribusi stasiun curah hujan yang tidak merata: Poligon Thiessen cenderung bias jika stasiun pengamatan tidak tersebar secara merata. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan evaluasi tambahan dengan menggunakan data spasial dan interpolasi. b) Abaikan Topografi: Kawasan pemukiman perkotaan yang mengalami perubahan ketinggian signifikan memerlukan analisis tambahan untuk memperhitungkan pengaruh topografi terhadap curah hujan. Metode Thiessen merupakan pendekatan yang digunakan untuk menghitung distribusi rata-rata variabel meteorologi atau geospasial dari data dari beberapa titik pengukuran. Dengan membagi area studi menjadi poligon Thiessen , metode ini menggunakan jarak antara titik pengukuran untuk menentukan area pengaruh setiap titik, sehingga memberikan estimasi yang lebih akurat untuk area yang tidak tercakup langsung oleh data. Metode ini sering digunakan dalam studi hidrologi, klimatologi dan pemodelan spasial, karena kemampuannya memberikan estimasi distribusi spasial yang lebih baik dibandingkan dengan metode interpolasi sederhana lainnya. Daerah pemukiman perkotaan seringkali menghadapi tantangan dalam mengelola limpasan air, terutama akibat curah hujan yang tinggi dan penggunaan lahan. tanah yang mendominasi permukaan kedap air. Penggunaan metode Thiessen menjadi penting dalam penelitian ini karena:

a) Membantu memperkirakan curah hujan rata-rata regional dengan mempertimbangkan data dari stasiun pengamatan terdekat. b) Memberikan gambaran yang lebih representatif tentang sebaran curah hujan, yang menjadi dasar penentuan kapasitas dan kinerja modul perkerasan hijau. c) Mendukung analisis kuantitatif pengelolaan aliran permukaan berdasarkan data hidrologi terukur. Melalui hasil analisis dengan metode Thiessen, dapat dirancang modul perkerasan hijau untuk mengatasi permasalahan air limpasan secara optimal, terutama pada kondisi perkotaan yang intensitas curah hujannya mengambang. Hasil analisis dengan metode Thiessen memberikan beberapa kontribusi penting dalam penelitian ini: d) Estimasi Curah Hujan Rata-rata Wilayah. Memberikan perkiraan curah hujan yang merupakan data penting dalam menghitung kapasitas infiltrasi modul perkerasan hijau. e) Analisis Pengelolaan Limpasan. Data curah hujan rata-rata digunakan untuk memperkirakan volume limpasan permukaan yang akan dikelola oleh sistem drainase hijau di wilayah perkotaan. f) Perencanaan Strategis. Informasi sebaran curah hujan membantu mengembangkan strategi untuk memitigasi limpasan air, mengurangi risiko banjir, dan mendukung pembangunan infrastruktur hijau di kawasan pemukiman perkotaan. g) Validasi kinerja modul perkerasan hijau. Data dari metode Thiessen dibandingkan dengan data dari pengukuran infiltrasi dan pengurangan limpasan lapangan untuk mengevaluasi efektivitas modul perkerasan hijau. Oleh karena itu, metode Thiessen menjadi bagian yang tidak terpisahkan analisis hidrologi mendukung pengembangan solusi alami untuk kawasan pemukiman perkotaan. Metode Thiessen menggunakan data curah hujan sebagai masukan utama untuk menentukan curah hujan rata-rata regional. Karena distribusi curah hujan di suatu wilayah seringkali tidak teratur, metode ini memungkinkan penghitungan rata-rata yang lebih representatif, dengan mempertimbangkan perbedaan pengaruh geografis setiap stasiun pengamatan. Uji validitas dilakukan dengan membandingkan data interpolasi yang dihasilkan metode Thiessen dengan data observasi curah hujan sebenarnya, jika tersedia. Beberapa langkah yang digunakan untuk melakukan uji validasi antara lain:

a) Pemilihan titik pengamatan validasi. Memilih beberapa titik pengamatan curah hujan yang tidak digunakan dalam proses interpolasi untuk digunakan sebagai data validasi. Poin-poin ini harus mewakili berbagai kondisi geografis dan lingkungan yang ada di wilayah tersebut. kawasan pemukiman perkotaan. b) Perbandingan data asli dan data interpolasi: Data curah hujan asli dari titik observasi validasi dibandingkan dengan data interpolasi yang dihasilkan dengan metode Thiessen . Perbandingan ini dapat dilakukan dengan beberapa indikator statistik, antara lain: 1) Mean Absolute Error (MAE): Mengukur perbedaan absolut rata-rata antara nilai curah hujan yang diamati dan diinterpolasi. Nilai MAE yang kecil menunjukkan akurasi yang baik hasil interpolasi. 19 2) Root Mean Square Error (RMSE): Mengukur perbedaan akar rata-rata kuadrat antara nilai yang diamati dan diprediksi. RMSE yang rendah menunjukkan kesesuaian yang baik antara data asli dan hasil interpolasi. 3) Koefisien determinasi ( $R^2$ ): Mengukur sejauh mana variasi nilai curah hujan yang diamati dapat dijelaskan dengan model interpolasi.  $R^2$  yang mendekati 1 menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara data asli dengan hasil interpolasi. c) Pengujian Signifikansi. Untuk memastikan bahwa perbedaan antara data asli dan data interpolasi bukanlah suatu kebetulan, dilakukan uji statistik seperti uji t atau uji F, tergantung pada jenis data dan sebarannya. Tes ini akan memberi tahu Anda jika terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara dua data. Analisis spasial. Selain perbandingan numerik, analisis spasial dapat dilakukan untuk memeriksa apakah pola distribusi curah hujan yang diinterpolasi mengikuti pola yang sama. mirip dengan data asli di area yang diautentikasi. Hal ini penting untuk memastikan bahwa interpolasi tidak hanya akurat secara numerik, namun juga akurat secara spasial. 2.1.6 Periode Ulang ( Return Period ) Periode ulang merupakan suatu konsep yang sering digunakan dalam berbagai disiplin ilmu, seperti statistika, geofisika, hidrologi, dan teknik sipil, untuk menggambarkan frekuensi terjadinya suatu peristiwa tertentu. Istilah ini mengacu pada interval waktu rata-rata antara dua peristiwa dengan

karakteristik serupa. Dalam praktiknya, periode ulang sering digunakan untuk memprediksi bahaya dan merencanakan mitigasi kejadian ekstrem, seperti banjir, gempa bumi, atau angin kencang. Periode ulang didefinisikan sebagai waktu rata-rata yang diperlukan agar suatu peristiwa dengan intensitas atau besaran tertentu dapat terulang kembali. Perhitungan payback period biasanya didasarkan pada data historis atau observasi jangka panjang. Periode ulang digunakan di berbagai bidang, termasuk hidrologi, geofisika, dan manajemen risiko, dengan tujuan utama perencanaan dan mitigasi risiko kejadian ekstrem, sebagai berikut.

- ☒ Hidrologi Dalam hidrologi, periode ulang digunakan untuk menganalisis data curah hujan, aliran sungai, atau banjir. Misalnya, desain bendungan atau jembatan sering kali memperhitungkan periode ulang tertentu (misalnya 50 tahun atau 100 tahun) untuk menjamin keamanan struktur terhadap risiko banjir yang ekstrem.
- ☒ Geofisika Dalam studi gempa bumi, periode ulang membantu menentukan seberapa sering gempa bumi besar mungkin terjadi di suatu wilayah. Ini penting untuk mendukung perencanaan penggunaan lahan dan mitigasi bencana.
- ☒ Manajemen risiko Dalam manajemen risiko, periode pengembalian modal digunakan untuk menilai risiko keuangan yang timbul dari bencana alam atau kejadian langka lainnya. Misalnya, perusahaan asuransi menggunakan payback period untuk menentukan premi asuransi terkait risiko banjir atau gempa bumi. Periode ulang dengan jangka waktu tertentu memiliki ketentuan penggunaan yang bergantung pada konteks analisis:
  - i) Periode Ulang 2 tahun ☒ Cocok untuk kejadian dengan intensitas rendah hingga sedang yang lebih sering terjadi.
  - ☒ Biasanya digunakan dalam perencanaan infrastruktur kecil seperti saluran drainase atau jalur yang tidak memerlukan toleransi terhadap kejadian ekstrem.
  - ☒ Dapat digunakan untuk penilaian risiko awal dalam skenario non-kritis.
  - j) Periode Ulang 5 tahun ☒ Digunakan untuk kejadian dengan frekuensi sedang dan dampak besar.
  - ☒ Relevan dengan desain infrastruktur berisiko menengah, seperti pipa air perkotaan atau tempat parkir terbuka.
  - ☒ Berguna untuk pengelolaan sumber daya air di wilayah yang relatif

f stabil dan tidak terlalu rentan terhadap kejadian ekstrim. k) Periode Ulang 10 tahun ☒ Digunakan untuk kejadian yang jarang terjadi namun memang terjadi dampak besar. ☒ Biasanya diterapkan pada infrastruktur publik yang lebih besar, seperti jalan utama, jembatan kecil atau tanggul sungai. ☒ Cocok untuk perencanaan mitigasi bencana dengan tingkat risiko lebih tinggi, namun tetap murah. l) Periode Ulang 25 tahun ☒ Cocok untuk perencanaan infrastruktur yang harus mampu menahan kejadian ekstrim dengan dampak sedang. ☒ Digunakan dalam proyek seperti tanggul besar, jaringan pipa selokan atau jalan raya antar kota. ☒ Membantu dalam analisis risiko di daerah perkotaan yang padat penduduknya. m) Periode Ulang 50 tahun ☒ Digunakan untuk infrastruktur penting seperti bendungan kecil, instalasi listrik atau bangunan vital. ☒ Cocok untuk analisis risiko dalam perencanaan tata ruang jangka panjang. ☒ Dapat digunakan untuk mitigasi kejadian ekstrim yang berdampak signifikan terhadap masyarakat. n) Periode Ulang 100 tahun ☒ Penting untuk kejadian yang sangat jarang terjadi namun berdampak besar seperti banjir besar atau gempa bumi besar. ☒ Biasanya diterapkan pada infrastruktur yang sangat penting, seperti bendungan besar, bandara, atau jembatan besar. ☒ Digunakan dalam perencanaan kebijakan mitigasi bencana jangka panjang untuk meminimalkan kerugian ekonomi dan sosial. Periode ulang adalah alat penting untuk memahami dan mengelola risiko yang terkait dengan kejadian ekstrem. Dengan menghitung periode pengembalian modal, para profesional dapat merancang strategi mitigasi dan infrastruktur yang lebih aman dan tahan terhadap ancaman di masa depan. Bagaimanapun metode ini, penting untuk mempertimbangkan keterbatasan metode ini dan melengkapi analisis dengan pendekatan lain jika diperlukan.

### 2.1.7 Tutupan Lahan

Tutupan lahan adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kondisi permukaan tanah, baik itu berupa vegetasi, air, bangunan, maupun permukaan yang tidak terkelola. Tutupan ini mencakup berbagai kategori, seperti hutan, padang rumput, lahan pertanian, dan daerah perkotaan. Pengelompokan ini memainkan peranan kunci dalam studi lingkungan dan pengelolaan sumber daya alam

(Sugianto, Deli, Miswar, Rusdi, & Irham, 2022). Analisis tutupan lahan dapat dilakukan dengan menggunakan teknik penginderaan jauh, yang memungkinkan pengumpulan data yang akurat dan luas mengenai karakteristik lahan. Metode ini sangat berguna dalam pemantauan perubahan tutupan lahan akibat konversi lahan, urbanisasi, dan dampak lingkungan lainnya. Perubahan tutupan lahan dapat memiliki dampak signifikan pada ekosistem, kualitas tanah, dan ketersediaan air. Data tutupan lahan digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk pemodelan iklim, perkiraan dampak lingkungan, dan perencanaan tata ruang. Dengan informasi yang tepat tentang tutupan lahan, para peneliti dan pembuat kebijakan dapat merumuskan strategi yang lebih baik untuk melindungi sumber daya alam dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan. Berikut merupakan peta tutupan lahan kota Tangerang selatan sebagai objek penelitian yang akan dilakukan. Drainase dan tutupan lahan memiliki hubungan yang signifikan dan saling mempengaruhi dalam konteks pengelolaan sumber daya air dan pengurangan risiko banjir. Perubahan dalam tutupan lahan, seperti konversi lahan hijau menjadi permukaan impervious, dapat mempengaruhi sistem drainase dan menyebabkan peningkatan aliran permukaan (Schumacher, Lange, Müller, & Schernewski, 2021). Dalam konteks pengelolaan risiko banjir, penting untuk mempertimbangkan interaksi antara tutupan lahan dan drainase. Strategi yang menggabungkan restorasi vegetasi dan perbaikan sistem drainase dapat lebih efektif dalam mengurangi risiko banjir dan mengelola sumber daya air (Apsite, et al., 2017).

2.1 **13** 8 Runoff Runoff, atau aliran permukaan, adalah pergerakan air di atas permukaan tanah yang terjadi ketika intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi tanah. Air yang tidak terserap akan mengalir menuju sungai, danau, atau saluran drainase. Proses ini merupakan bagian integral dari siklus hidrologi, yang mencakup tahapan seperti evaporasi, kondensasi, presipitasi, dan akhirnya runoff. Beberapa faktor utama yang mempengaruhi besarnya runoff meliputi:  Intensitas dan Durasi Hujan: Hujan dengan intensitas tinggi dalam waktu singkat cenderung menghasilkan runoff lebih besar dibandingkan hujan dengan

intensitas rendah yang berlangsung lama. ❑ Kondisi Permukaan Tanah: Permukaan yang kedap air, seperti beton dan aspal, mengurangi infiltrasi dan meningkatkan runoff. Sebaliknya, area dengan vegetasi tinggi memiliki kapasitas infiltrasi lebih besar, sehingga mengurangi runoff. ❑ Kemiringan Lahan: Lahan dengan kemiringan curam memfasilitasi aliran air lebih cepat, mengurangi waktu infiltrasi, dan meningkatkan volume runoff. Di area perkotaan, peningkatan permukaan impermeabel akibat pembangunan infrastruktur menyebabkan peningkatan volume dan kecepatan runoff. Dampak negatif yang ditimbulkan meliputi: ❑ Banjir: Volume runoff yang tinggi dapat melebihi kapasitas sistem drainase kota, mengakibatkan banjir dan genangan air. ❑ Erosi Tanah: Aliran air permukaan yang kuat dapat menyebabkan erosi tanah, merusak infrastruktur, dan mengurangi kualitas lingkungan. ❑ Pencemaran Air: Runoff dapat membawa polutan seperti minyak, logam berat, dan limbah lainnya ke badan air, mengancam ekosistem dan kesehatan manusia.

### 2.1.9 Infiltrasi

Infiltrasi merupakan proses di mana air hujan atau air permukaan masuk ke dalam tanah melalui pori-pori tanah. Proses ini penting karena membantu mengisi cadangan air tanah dan mendukung berbagai ekosistem. Laju infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor fisika dan biologi tanah, antara lain tekstur, struktur, porositas, stabilitas agregat tanah, dan kelembaban tanah awal. Sifat-sifat ini berkontribusi secara signifikan terhadap kemampuan tanah dalam menyerap air. Pesatnya pembangunan menyebabkan peningkatan tutupan lahan sehingga resapan air hujan (infiltrasi) ke dalam tanah akan berkurang. Hal ini berdampak langsung pada pengurangan ketersediaan air tanah, yang penting untuk mendukung ekosistem dan pemenuhan kebutuhan masyarakat. Tutupan lahan dapat mempengaruhi sifat fisik tanah yang berhubungan dengan laju, kapasitas, dan volume infiltrasi pada suatu lahan (kadir, et al., 2022). Ketika tutupan lahan mengalami perubahan, seperti dari lahan terbuka menjadi kawasan terbangun, laju infiltrasi sering kali berkurang, yang mengakibatkan meningkatnya limpasan aliran permukaan. Penelitian menunjukkan bahwa dalam kawasan hutan, laju infiltrasi cenderung lebih

tinggi dibandingkan dengan kawasan yang terbangun. Studi-studi lainnya juga menunjukkan bahwa tutupan vegetasi yang baik dapat meningkatkan kapasitas tanah untuk menyerap air hujan, menjaga keseimbangan ekosistem, dan keberlanjutan sumber daya air di wilayah tersebut. Laju infiltrasi yang rendah dapat meningkatkan limpasan air, yang berpotensi menyebabkan banjir.

Oleh karena itu, memiliki laju infiltrasi yang baik dapat membantu

mengurangi kebutuhan untuk sistem drainase yang besar dan mahal. 2.1.10

Koefisien Pengaliran Koefisien pengaliran adalah rasio antara volumen

limpasan yang dihasilkan oleh curah hujan dibandingkan dengan total curah

hujan yang jatuh di lahan. Koefisien ini memberikan informasi tentang

seberapa banyak air yang akan mengalir ke sistem drainase dan berapa

banyak yang dapat diserap atau diendapkan oleh media permeabel, seperti

pavemen hijau. Koefisien pengaliran, yang dilambangkan dengan C adalah

parameter yang menunjukkan proporsi air hujan yang mengalir sebagai

limpasan permukaan dibandingkan dengan total curah hujan yang jatuh ke suatu area.

20 Nilai C berkisar antara 0 hingga 1, di mana nilai yang lebih

tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak air yang menjadi limpasan. Koefisien pengaliran

adalah indikator penting dalam pengelolaan sumber daya air yang

menunjukkan proporsi air hujan yang menjadi limpasan. Berikut ini adalah

tabel yang merangkum nilai koefisien pengaliran berdasarkan jenis

penggunaan lahan, beserta referensi dari penelitian. Tabel ini bertujuan

untuk memberikan informasi yang berguna bagi pengelola infrastruktur dan

perencana tata ruang. Infiltrasi yang tinggi dalam suatu sistem akan

menyebabkan koefisien pengaliran menjadi lebih rendah. Ketika tanah dapat

menyerap air hujan dengan baik, lebih sedikit air yang mengalir sebagai

limpasan. Sebaliknya, jika infiltrasi rendah (misalnya, pada tanah yang

terkompaksi atau kering), lebih banyak air yang akan mengalir sebagai

limpasan, sehingga menaikkan nilai koefisien pengaliran. Menghitung koefisien

pengaliran secara akurat sangat penting untuk perencanaan pengelolaan air,

terutama dalam mengantisipasi potensi banjir dan merencanakan sistem

drainase yang efisien. 2.1.11 Green Infrastructure (GI) Green

Infrastructure (GI) adalah konsep yang berakar pada ekologi dan mencakup berbagai disiplin ilmu, termasuk arsitektur lanskap, ilmu lingkungan, perencanaan, kebijakan, dan rekayasa. Green infrastructure (GI) merupakan jaringan terhubung dari ruang hijau yang mengedepankan nilai dan fungsi ekosistem alami, serta memberikan manfaat terkait lingkungan dan sosial (Campbell, Chanse, & Schindler, 2024). Penerapan green infrastructure (GI) di perkotaan dapat memberikan banyak keuntungan, seperti peningkatan kualitas udara, pengurangan banjir, dan peningkatan kualitas hidup masyarakat. Dengan mempertahankan keseimbangan ekosistem, sistem infrastruktur hijau tidak hanya dirancang untuk menghentikan kerusakan lingkungan tetapi juga untuk secara aktif memperbaiki dan melestarikannya (Yenil, Yemis, Dursun, & Gulgun, 2017). Berbagai kota di seluruh dunia mulai mengadopsi green infrastructure untuk meningkatkan ketahanan terhadap tantangan lingkungan seperti perubahan iklim dan degradasi ekosistem. Contohnya, London dan New York City telah menerapkan inisiatif Infrastruktur Hijau dalam perencanaan penggunaan lahan untuk mencapai tujuan keberlanjutan yang lebih tinggi (Campbell, Chanse, & Schindler, 2024). Green Infrastructure (GI) menunjuk pada praktik desain dan perencanaan lahan yang bertujuan untuk mengelola aliran air hujan dengan cara yang berkelanjutan, sekaligus memitigasi dampak lingkungan dari pembangunan urban (Zhang & Ariaratnam, 2021).

### 2.1.12 Green Pavement

Green pavement adalah teknologi yang dirancang untuk meningkatkan pengelolaan air hujan di daerah perkotaan dengan menggunakan material yang permeabel. Tujuan utama dari green pavement adalah untuk mengurangi limpasan air, memperbaiki kualitas air, dan mendukung keberlanjutan lingkungan urban (Bateni, Lai, Bustami, Mannan, & Mah, 2021). Salah satu manfaat utama dari green pavement adalah kemampuannya untuk mengurangi jumlah limpasan air yang terjadi akibat hujan. Dengan struktur yang berpori, green pavement memfasilitasi penyerapan air ke tanah, yang membantu dalam pengisian kembali air tanah dan mengurangi risiko banjir di daerah perkotaan (Alex, Jose, Saberian, & Li, 2022). Selain itu, penggunaan

green pavement dapat meningkatkan kualitas air yang mengalir ke sistem saluran air dengan menyaring kontaminan dan sedimen (Bateni, et al., 2022). Green pavement sering menggunakan material seperti beton porus atau metode yang disebut StormPav , yang mencakup penyimpanan mikro di bawah permukaan untuk detensi air (Putri, et al., 2020). Berbagai inovasi dalam desain dan implementasi green pavement memberikan solusi berkelanjutan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik dari suatu wilayah. Dalam beberapa kasus, juga digunakan campuran khusus yang mengandung bahan tambah ramah lingkungan untuk meningkatkan performa hidrologis dari pavemen ini (Boogaard, Rooze, & Stuurman, 2022). Pada umumnya, green pavement dapat diterapkan di area- area seperti trotoar, tempat parkir, dan jalur pedestrian . Penerapan teknologi ini sejalan dengan tujuan penciptaan ruang terbuka hijau di lingkungan perkotaan yang semakin padat (Putri, et al., 2020). Sebagai contoh, dalam situasi di mana lahan terbatas, penggunaan green pavement membantu memelihara beberapa fungsi ekosistem sekaligus memenuhi kebutuhan infrastruktur (Bateni, Lai, Bustami, Mannan, & Mah, 2021). Salah satu metode dalam pengembangan green infrastructure (GI) adalah penggunaan green pavement , yang merujuk pada jenis material dan teknik konstruksi jalan yang dirancang untuk meningkatkan permeabilitas tanah, mengurangi limpasan air, dan meminimalkan dampak lingkungan. Green pavement memiliki peran penting dalam implementasi green infrastructure (GI), khususnya dalam pengelolaan air hujan. Dengan mengurangi permukaan impervious yang menyebabkan limpasan yang berlebihan, green pavement membantu menstabilkan ekosistem lokal dan memelihara kualitas air. Penggunaan bahan pavement yang ramah lingkungan dan permeabel juga berkontribusi pada pengurangan efek pulau panas perkotaan, dengan memungkinkan proses penyerapan air yang lebih baik dan pengurangan suhu permukaan (Mun-soo, Woo-bin, Yong-gil, & Sang-rae, 2021).

## 2.2 Penelitian Terdahulu No .

Peneliti Lokasi Ringkasan Metodologi Parameter Hasil Penelitian Link Literatur 1 Erin A. Dreelin (2006) Athena, Georgia Penelitian ini menyelidiki efektivitas perkerasan berpori dalam

mengelola limpasan air hujan di tanah lempung, membandingkan tempat parkir perkerasan berpori dengan tempat parkir aspal tradisional di Athena, Georgia. Studi ini menyimpulkan bahwa trotoar berpori merupakan pilihan yang layak untuk mengurangi limpasan air hujan dan polutan, bahkan pada tanah yang kaya akan tanah liat, terutama selama badai kecil atau saat hujan lebat. Penelitian ini melibatkan pemantauan simultan terhadap tempat parkir berpori Grassy Paver TM dan tempat parkir aspal di Athena, Georgia, Amerika Serikat, yang dibangun pada musim dingin 2002-2003. Analisis statistik mencakup uji-t berpasangan dan regresi linier sederhana untuk mengevaluasi perbedaan limpasan dan beban polutan. data dari sembilan kejadian badai kecil yang dipantau antara bulan Maret dan Juni 2003, dengan kedalaman curah hujan berkisar antara 0,03 hingga 1,85 cm, yang merupakan mayoritas kejadian badai di Athena, Georgia. Penelitian ini menemukan bahwa perkerasan berpori secara signifikan mengurangi limpasan air hujan, menghasilkan limpasan 93% lebih sedikit dibandingkan dengan aspal tradisional selama hujan kecil. Total volume limpasan pada lahan berpori secara signifikan lebih rendah, dengan tidak ada limpasan yang dihasilkan selama dua kejadian hujan yang dipantau. 24 A test of porous pavement effectiveness on clay soils during natural storm events.pdf 2 Derek B. Booth (2013) Chicago, Amerika Studi ini membandingkan kinerja limpasan Studi ini menggunakan evaluasi lapangan instrumentasi lapangan dan pengumpulan data Studi ini menguji tiga hipotesis utama mengenai Field Evaluation of Permeable No . Peneliti Lokasi Ringkasan Metodologi Parameter Hasil Penelitian Link Literatur berbagai sistem perkerasan permeabel terhadap aspal tradisional, yang menunjukkan pelemahan limpasan yang signifikan. Penelitian ini menyoroti pentingnya mempertahankan fungsi penahan air tanah di lanskap perkotaan untuk mengurangi masalah limpasan. untuk menilai kinerja sistem perkerasan permeabel dalam mengelola limpasan air hujan. Penelitian ini melibatkan pemasangan berbagai jenis perkerasan permeabel, termasuk Turfstone, Grasspave2, Gravelpave2, dan UNI Eco-Stone, untuk membandingkan respons hidrologisnya. perkerasan permeabel, dan

menemukan bahwa mengganti aspal dengan perkerasan permeabel secara signifikan mengurangi limpasan permukaan dan mengurangi debit puncak. Hasil kualitas air awal menunjukkan bahwa konsentrasi limpasan bawah permukaan lebih rendah daripada limpasan perkotaan pada umumnya, yang menunjukkan potensi manfaat perkerasan permeabel untuk pengelolaan air hujan. Pavement Systems for Improved Stormwater Management 3 Shadi Saadeh (2019) California, Amerika penelitian ini menyajikan metode desain baru untuk perkerasan yang Penelitian ini menggunakan data mentah yang dikumpulkan dari sel tekanan dan pengukur regangan untuk mengumpulkan Penelitian ini menyajikan metode desain baru untuk perkerasan yang Application of fully permeable pavements as a sustainable No . Peneliti Lokasi Ringkasan Metodologi Parameter Hasil Penelitian Link Literatur sepenuhnya permeabel yang dikembangkan dengan menggunakan pendekatan mekanistik- empiris oleh Pusat Penelitian Perkerasan Universitas California (University of California Pavement Research Center/UCPRC) di Universitas Negeri California, Long Beach. Perkerasan yang sepenuhnya permeabel memungkinkan terjadinya infiltrasi air, yang berfungsi sebagai reservoir untuk mengurangi limpasan air hujan. sel tekanan dan pengukur regangan untuk mengukur tekanan vertikal (tegangan) di bagian atas tanah dasar dan regangan di bagian bawah lapisan permukaan untuk bagian aspal dan beton. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk menghasilkan memvalidasi kinerja seksi uji. data kelayakan penerapan desain perkerasan sepenuhnya permeabel, yang menunjukkan bahwa bagian uji aspal dan beton secara efektif meresapkan air hujan approach for mitigation of stormwater runoff 4 Mo Wang (2019) Guangzhou, China Penelitian ini menyelidiki efektivitas perkerasan berpori (PP) dan sel bioretensi (BC) untuk pengelolaan air hujan di bawah berbagai skenario Studi ini menggunakan simulasi skenario iklim untuk menilai dampak terhadap limpasan permukaan di Jalur Konsentrasi Representatif (RCP) Pola Curah Hujan Studi ini menemukan bahwa perkerasan berpori (PP) dan sel bioretensi (BC) secara signifikan mengurangi volume limpasan Assessing performance of porous

pavements and bioretention cells for stormwater No . Peneliti Lokasi Ringkasan Metodologi Parameter Hasil Penelitian Link Literatur perubahan iklim, secara khusus berfokus pada jalur konsentrasi representatif (RCP). daerah tangkapan air perkotaan, dengan fokus pada perubahan karakteristik dan distribusi badai. Simulasi pemodelan hidro digunakan untuk mengevaluasi manfaat hidro- lingkungan dari perkerasan berpori (PP) dan sel bioretensi (BC) di bawah skenario iklim yang berbeda. dan debit puncak selama periode ulang pendek, tetapi efektivitasnya berkurang untuk periode ulang yang lebih lama. Kinerja PP secara umum lebih unggul dibandingkan dengan BC, terutama dalam mengurangi volume aliran keluar. management in response to probable climatic changes 5 Craig Lashford 2020 United Kingdom Penelitian mengoptimalkan drainase perkotaan dengan kontrol waktu nyata dan teknologi hijau. model pengurangan polutan dan optimalisasi volume luapan dalam sistem saluran Pemodelan hidraulik dengan EPA SWMM untuk mengoptimalkan sistem drainase perkotaan. Pengontrol PID untuk menyesuaikan bukaan lubang Pendekatan dengan metode SuDS, dalam meminimalkan limpasan puncak, dengan menggunakan alat pemodelan drainase standar industri di Inggris, EOPS secara efisien mengurangi volume dan TSS tetapi tidak memiliki manfaat sekunder, sistem pemulihan air hujan adalah yang paling efisien dalam pengurangan volume dan massa. 22 Sistem Modelling the Role of SuDS Management Trains in Minimising Flood Risk, Using MicroDrainage. No . Peneliti Lokasi Ringkasan Metodologi Parameter Hasil Penelitian Link Literatur pembuangan. Teknologi ini mengurangi polutan hingga 45% dan padatan tersuspensi hingga 53%. berpagar untuk mempertahankan laju aliran. MicroDrainage. RTC menjanjikan dalam mengurangi massa yang tumpah secara signifikan. pdf 6 Norazlina Bateni 2021 Sarawak, Malaysia Makalah ini mengulas teknologi green pavement untuk pengelolaan air hujan di perkotaan. Fokus pada manfaat permeabel pavement, desain hidrologi, dan inovasi StormPav. Pengembangan StormPav untuk pengelolaan air hujan yang berkelanjutan dan infrastruktur hijau. Tinjauan teknologi green pavement untuk pengelolaan air hujan. Pengenalan StormPav dengan desain hidrologi

yang inovatif. Penilaian struktural dan hidrologi dengan StormPav. -  
Limpasan Air hujan terhadap stormpav. - tingkat infiltrasi pada stormpav.  
StormPav menawarkan pengelolaan air hujan yang berkelanjutan dengan sistem  
kolam detensi mikro. StormPav memberikan biaya yang efektif, pemasangan  
yang mudah, dan mengurangi biaya dampak air hujan. A review on green  
pavement hydrological design and recommended permeable pavement with  
detention storage 7 SFI Al-humairi 2021 Malaysia Tinjauan tentang  
penggunaan pavement untuk mengurangi efek Urban Heat Island. Pavement  
yang sejuk mengurangi suhu permukaan, sehingga bermanfaat bagi Perkerasan  
permeabel yang meningkatkan penguapan yang dikembangkan untuk mitigasi UHI.  
Pavement yang sejuk dengan - Peninjauan fitur, faktor dan dampak dari  
berbagai jenis perkerasan jalan, - serta menentukan kesesuaian dari  
Pavement yang sejuk mengurangi suhu permukaan udara, mengurangi efek  
pulau panas perkotaan. Pavement reflektif menurunkan suhu permukaan,  
Sustainable pavement: A review on the usage of pavement as a  
mitigation strategy for UHI No . Peneliti Lokasi Ringkasan Metodologi  
Parameter Hasil Penelitian Link Literatur lingkungan dan kesehatan manusia.  
bahan berwarna terang untuk mengurangi suhu permukaan udara. berbagai  
jenis perkerasan jalan Terhadap Urban Heat Island. meningkatkan kenyamanan  
termal. Pavement penguapan tetap lebih dingin daripada konvensional  
pavement dalam kondisi panas. Batang baja pada perkerasan mempercepat  
aliran panas, sehingga meningkatkan layanan jangka panjang. 8 Yuxin Zhu  
(2021) Shanghai , China Penelitian ini menyajikan kerangka kerja fuzzy  
analytic hierarchy process (FAHP) untuk merancang perkerasan permeabel guna  
mengatasi masalah pengelolaan air hujan di perkotaan, dengan  
mempertimbangkan kriteria hidrologis, hidraulik, kualitas air, dan ekonomi.  
Studi ini mengembangkan kerangka kerja fuzzy analytic hierarchy process  
(FAHP) untuk memprioritaskan skenario perkerasan permeabel, dengan memasukkan  
kriteria hidrologi, hidraulik, kualitas data curah hujan sub-daerah  
tangkapan air biasa sub-daerah tangkapan air khusus jalan Kualitas Air  
Kinerja perkerasan permeabel sensitif terhadap curah hujan, dengan struktur

yang lebih tebal atau area yang lebih luas memberikan hasil yang lebih baik dalam pengurangan limpasan dan pengendalian polutan. 18 Penggunaan Permeable pavement design framework for urban stormwater management considering multiple criteria and uncertainty No . Peneliti Lokasi Ringkasan Metodologi Parameter Hasil Penelitian Link Literatur air, dan ekonomi. Pendapat para ahli dan hasil simulasi model pengelolaan air hujan (SWMM) digunakan untuk membuat matriks perbandingan fuzzy. Metode kuadrat terkecil logaritmik yang dimodifikasi (LLSM) digunakan untuk memperoleh bobot lokal dan global dari matriks perbandingan fuzzy. perkerasan permeabel dapat meringankan beban sistem drainase, namun tidak dapat mengurangi banjir secara dramatis di wilayah dengan kapasitas drainase yang terbatas. 9 Angélica Oliveira de Souza 2022 São Paulo, Brazil Taman kota di Sao Paulo meningkatkan drainase dan pengelolaan air, ruang hijau mengurangi dampak perubahan iklim, mempromosikan infrastruktur perkotaan yang berkelanjutan. Pemetaan taman kota, mengukur area yang dapat ditembus, dan menganalisis penggunaan air. Penangkapan air hujan, pelestarian mata air, dan tingkat tingkat impermeabilitas dan tingkat permeabilitas area Taman kota mendorong drainase yang berkelanjutan dan kesadaran lingkungan. Taman- taman ini mendorong konsumsi makanan organik dan keterlibatan masyarakat. Taman Urban gardens contribution of small green spaces to sustainable drainage No . Peneliti Lokasi Ringkasan Metodologi Parameter Hasil Penelitian Link Literatur permeabilitas tanah yang tinggi diamati Taman kota mendorong drainase berkelanjutan, keanekaragaman hayati, dan mitigasi perubahan iklim. kota mengurangi dampak air hujan dan meningkatkan permeabilitas tanah. 10 Suprpti 2023 Jagakars a, Indonesi a Jagakarsa menghadapi banjir akibat urbanisasi, penipisan air tanah, dan penurunan permukaan tanah. Potensi pemanenan air hujan dinilai melalui survei lapangan dan analisis sosial ekonomi. Analisis data curah hujan untuk penilaian potensi RWH. Survei lapangan untuk mengeksplorasi kondisi alam dan lingkungan. Sosialisasi penelitian dengan para pemimpin lokal dan anggota masyarakat. Penyebaran kuesioner penelitian

dan wawancara langsung. - data curah hujan - survei lapangan - sosialisasi program penelitian, dan - analisis sosial - ekonomi masyarakat. Pemanenan air hujan adalah solusi yang layak di Kecamatan Jagakarsa. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk implementasi pemanenan air hujan yang terintegrasi. Assessment of rainwater harvesting potential based on field observations in Jagakarsa District area, South Jakarta

Sumber: Dokumen Peneliti, 2024 Berdasarkan gap penelitian, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini akan membahas terkait dengan runoff yang terjadi akibat air hujan serta pemanfaatan green pavement sebagai salah satu upaya perbaikan drainase yang disebabkan oleh banjir genangan terhadap kapasitas dan kemampuan daripada green pavement tersebut. Hal ini menjadi bagian penting dalam penelitian ini dikarenakan belum adanya penelitian mengenai bentuk modul yang dapat membantu mengalirkan air serta desain yang dapat mempermudah proses maintenance .

**BAB III METODE PENELITIAN**

**3.1 Rancangan Penelitian** Metode kuantitatif deskriptif adalah pendekatan penelitian yang fokus pada pengumpulan dan analisis data numerik untuk menjelaskan fenomena tertentu. Metode ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang jelas dan terperinci mengenai karakteristik populasi atau variabel yang diteliti melalui statistik deskriptif, seperti rata-rata, median, dan frekuensi. Dalam banyak kasus, metode ini digunakan untuk mengidentifikasi hubungan dan pola dalam data tanpa harus menguji hipotesis tertentu. Kelebihan dari metode kuantitatif deskriptif adalah kemampuannya untuk memberikan hasil yang umum dan mudah dipahami sehingga dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang berbasis data (Ali, Hariyati, Pratiwi, & Afifah, 2022).

**3.2 Tahapan Penelitian** Tahapan penelitian merupakan serangkaian langkah sistematis yang diikuti untuk melakukan studi ilmiah atau suatu penelitian.

1) Identifikasi masalah

Tahapan pertama dalam penelitian adalah identifikasi masalah yang ingin ditangani. Identifikasi yang baik membantu menetapkan fokus penelitian dan memberikan arah yang tepat untuk studi yang akan dilakukan. Pada penelitian ini berdasarkan permasalahan yang terjadi di sekitar lingkungan

instansi pendidikan terhadap kurang efektifnya drainase dalam menampung air khususnya saat musim penghujan. 2) Studi Literatur Peneliti melakukan tinjauan pustaka untuk mencari referensi dan teori yang relevan. Langkah ini mencakup studi literatur yang dapat mendukung dan memberikan konteks bagi penelitian.

**16** Tinjauan pustaka membantu peneliti memahami apa yang telah diketahui sebelumnya dan mengidentifikasi celah dalam penelitian yang ada. Pada konteks ini, studi literatur yang digunakan mencakup drainase, green pavement, serta limpasan. 3) Pembuatan Model Pada tahapan pembuatan model ini, peneliti membuat model green pavement yang sesuai dengan lokasi penelitian dan desain yang telah di rancang sebelumnya. Dalam membuat Capping pavement dibutuhkan alat dan bahan, serta langkah-langkah berikut: a) Alat dan Bahan ✕ Cetakan pavement ✕ Cairan polyurethane ✕ Mold release ✕ Kuas ✕ Cutter ✕ Dempul Kayu b) Langkah Pembuatan : 1) Siapkan cetakan proto tipe yang telah dioleskan mold release di seluruh permukaan cetakan. 2) Campurkan cairan A dan B Polyurethane dengan takaran 30 ml untuk cairan A dan 30 ml untuk cairan B. 3) Aduk secara merata agar cairan A dan cairan B tercampur. 4) Lalu, oleskan cairan yang sudah tercampur ke seluruh permukaan cetakan, dan diamkan selama  $\pm 5$  menit hingga cairan mengembang sempurna. 5) Cairan polyurethane akan mengembang dengan sempurna dapat dicek dari suhu pada cetakan pavement akan mulai turun dari panas hingga suhu ruangan. Serta, polyurethane akan mengeras seperti sterofom. 6) Kemudian, potong polyurethane yang melebihi cetakan dengan rapih menggunakan cutter atau pemotong besi. 7) Setelah memotong polyurethane yang melebihi batas atas cetakan pavement, buka cetakan pavement dengan memotong sisi pavement yang sudah terbentuk melalui cetakan. 8) Lakukan tahap berikut secara berulang sesuai dengan kebutuhan. Pada penelitian ini membutuhkan sekitar 55 buah capping pavement. 9) Lalu, pavement yang sudah siap akan dilapisi dengan dempul kayu yang nantinya akan mencegah air masuk ke dalam prototipe. Dalam membuat badan pavement dibutuhkan alat dan bahan, serta langkah-langkah berikut: a) Alat dan Bahan ✕ Cetakan pavement ✕ Cairan polyurethane

☒ Mold release ☒ Kuas ☒ Cutter ☒ Dempul Kayu b) Langkah Pembuatan : 1) Siapkan cetakan prototipe yang telah dioleskan mold release di seluruh permukaan cetakan. 2) Campurkan cairan A dan B Polyurethane dengan takaran 60 ml untuk cairan A dan 60 ml untuk cairan B. 3) Aduk secara merata agar cairan A dan cairan B tercampur. 4) Lalu, oleskan cairan yang sudah tercampur ke seluruh permukaan cetakan, dan diamkan selama  $\pm 5$  menit hingga cairan mengembang sempurna. 5) Cairan polyurethane akan mengembang dengan sempurna dapat dicek dari suhu pada cetakan pavement akan mulai turun dari panas hingga suhu ruangan. Serta, polyurethane akan mengeras seperti sterofoam. 6) Kemudian, potong polyurethane yang melebihi cetakan dengan rapih menggunakan cutter atau pemotong besi. 7) Setelah memotong polyurethane yang melebihi batas atas cetakan pavement, buka cetakan pavement dengan memotong sisi pavement yang sudah terbentuk melalui cetakan. 8) Lakukan tahap berikut secara berulang sesuai dengan kebutuhan. Pada penelitian ini membutuhkan sekitar 40 buah badan pavement. Setelah modul green pavement sudah dibuat sesuai dengan kebutuhan, susun ke dalam platform dengan ukuran 1 m 2 . 4) Instalasi Lab Instalasi lab dalam sebuah penelitian merujuk pada pengaturan fisik dan peralatan yang diperlukan untuk melaksanakan eksperimen atau pengamatan dalam kondisi yang terkontrol. Instalasi lab dalam penelitian ini menjelaskan mengenai proses pembuatan green pavement yang akan dilakukan di dalam laboratorium. Berdasarkan rancangan model yang sudah ditentukan sebelumnya, proses instalasi lab menjadi acuan terhadap konfigurasi kesesuaian hasil model green pavement . Pada Tahapan ini, Green pavement dibuat pada lokasi 1 m 2 . Kemudian, dilakukan set up model sebelum melakukan pengujian dengan langkah-langkah sebagai berikut, a) Buatlah sistem perpipaan dengan menggunakan sprinkle diatasnya sebanyak 4 buah lalu buatlah sambungan antara pompa air dengan sumber air dan sistem perpipaan. b) Letakkan benda uji di dalam platform yang sudah dilapisi waterproofing dengan sisi kanan terbuka. c) Pada bagian sisi terbuka berikan pipa dengan diameter besar di bagian atas

yang sejajar dengan capping pavement dan bagian bawah sejajar dengan badan pavement. d) Kemudian, letakkan platform di bawah perpipaan yang sudah disambungkan dengan sprinkler sebanyak 4 buah dan valve dekat pipa aliran pompa. e) Setelah set up model, lakukan pengujian dengan berkala terhadap bukaan valve. f) Lalu, lakukan pengujian terhadap benda uji dengan 3 kali pengujian berturut turut. 5) Pengujian Tahap pengujian dalam konteks penelitian, pengujian membantu peneliti memastikan bahwa sistem, aplikasi, atau produk yang dikembangkan memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan dan berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi. Tahapan pengujian pada penelitian ini merupakan proses untuk menguji model green pavement yang sudah dibuat terhadap aspek kemampuan green pavement untuk mengalirkan air serta kapasitas dalam menahan air. Tahap pengujian akan dianalisis berdasarkan air yang berada di atas permukaan serta air yang masuk ke dalam green pavement pada pipa yang sudah terpasang pada bukaan, untuk dapat menghitung debit air yang tertampung serta waktu yang dibutuhkan air untuk turun ke bawah melalui green pavement . 6) Pengambilan Data Pengambilan data adalah proses mengumpulkan informasi yang diperlukan untuk analisis lebih lanjut setelah tahapan pengujian. Pada tahap ini, peneliti akan mengevaluasi semua aspek yang telah diuji sebelumnya dan mengumpulkan hasil yang dapat digunakan untuk meneruskan penelitian atau mendapatkan kesimpulan yang sah. Tahap ini menjadi puncak konfigurasi kesesuaian green pavement yang dibuat dengan rancangan sebelumnya. Data yang diambil berdasarkan dari tahapan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya terhadap green pavement . 7) Analisis dan Pembahasan Analisis data adalah proses sistematis untuk mengorganisir, mensintesis, dan mengevaluasi data yang telah diperoleh selama penelitian.

**21** Ini dapat mencakup penggunaan berbagai teknik statistik untuk mengidentifikasi pola, hubungan, dan tren dalam data. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memberikan informasi yang berguna bagi peneliti dalam menjawab pertanyaan penelitian atau menguji hipotesis yang telah dirumuskan. 8) Kesimpulan dan saran Kesimpulan dan saran setelah analisis

dan pembahasan dalam sebuah penelitian merupakan bagian penting yang merangkum temuan utama penelitian serta memberikan rekomendasi untuk tindakan atau studi lebih lanjut. Kesimpulan bertujuan untuk menyajikan secara ringkas hasil dan signifikan dari penelitian, sedangkan saran berfungsi untuk memberikan panduan praktis yang dapat diimplementasikan berdasarkan hasil penelitian tersebut. BAB IV HASIL DAN ANALISIS

PENELITIAN 4.1 Analisis Hidrologi Data hidrologi adalah kumpulan informasi

atau data tentang fenomena hidrologi. 1 3 Data hidrologi sangat penting untuk inventarisasi potensi sumber air, pemanfaatan dan pengelolaan sumber air yang tepat, dan rehabilitasi sumber alam seperti air, tanah, dan hutan yang telah rusak.

1 2 3 8 Parameter hidrologi seperti curah hujan, suhu, penguapan, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air, kecepatan aliran, dan konsentrasi sedimen akan selalu berubah menurut waktu. 1 2 Oleh karena itu, nilai

data hidrologi hanya dapat terjadi lagi pada waktu yang berbeda sesuai dengan fenomena yang terjadi pada saat pengukuran dilakukan. Kumpulan data hidrologi dapat disusun dalam bentuk daftar atau tabel, yang sering disertai dengan gambar, yang biasanya disebut diagram atau grafik.

Selain itu, jika diperlukan, kumpulan data dapat disajikan dalam bentuk peta tematik, seperti peta curah hujan dan peta tinggi muka air. Dalam analisis hidrologi, metode Thiessen digunakan untuk menghitung rata-rata curah hujan suatu wilayah dari data beberapa stasiun pengamatan. Metode ini sangat berguna karena curah hujan tidak tersebar merata di berbagai wilayah dan metode yang menjelaskan distribusi curah hujan sangatlah penting. Metode Thiessen sering digunakan sebagai langkah awal dalam studi hidrologi, terutama untuk studi kecil dengan sampel kecil dan jumlah stasiun pemantauan yang sedikit. Jika diperlukan akurasi yang lebih tinggi, metode lain seperti interpolasi berbasis GIS atau model hidrologi fisik mungkin lebih disukai. Modul Perkerasan Hijau dirancang untuk mengelola air hujan di lingkungan perumahan perkotaan dengan meningkatkan infiltrasi dan mengurangi infiltrasi permukaan. Oleh karena itu, analisis curah hujan rata-rata penting untuk mengetahui efektivitas modul ini

dalam menghadapi kondisi curah hujan yang berbeda-beda di wilayah studi. Berdasarkan hasil interpolasi terhadap curah hujan untuk mengisi data kosong pada curah hujan dapat digunakan secara valid dalam permodelan aliran dan perencanaan infrastruktur, diperlukan uji validitas terhadap data curah hujan yang telah diinterpolasi. Tujuan uji validasi adalah untuk menilai sejauh mana hasil interpolasi curah hujan yang dihasilkan metode Thiessen mencerminkan kondisi lapangan sebenarnya dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Validasi ini diperlukan untuk memastikan bahwa data curah hujan yang diinterpolasi tidak terlalu menyimpang dari nilai pengamatan sebenarnya sehingga dapat digunakan dalam perhitungan limpasan permukaan yang lebih akurat. Setelah melakukan uji validasi, hasilnya akan menunjukkan seberapa baik interpolasi metode Thiessen memberikan estimasi yang akurat. Jika hasil pengujian menunjukkan kesalahan yang relatif kecil dan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara data asli dan data interpolasi, maka hasil interpolasi tersebut dapat dianggap valid dan dapat digunakan dalam analisis hidrologi lebih lanjut, seperti perhitungan limpasan permukaan untuk modul perkerasan hijau. Namun jika terjadi kesalahan besar atau diperlukan perubahan yang signifikan, penyesuaian atau penyempurnaan metode interpolasi, misalnya penggunaan metode interpolasi lain yang lebih kompleks atau penambahan stasiun pengamatan untuk meningkatkan keakuratan perkiraan. Dalam analisis hidrologi, data curah hujan yang diperoleh dari stasiun pengamatan sangat penting untuk perhitungan limpasan permukaan dan perencanaan infrastruktur. Namun, dalam konteks pengumpulan data presipitasi, sering kali terdapat nilai yang menyimpang jauh dari pola data yang diharapkan, disebut outlier. Outlier adalah data yang memiliki nilai yang berbeda secara signifikan dari sebagian besar data lainnya dan dapat memengaruhi hasil analisis secara signifikan.

**25** Nilai outlier adalah nilai yang berbeda secara signifikan dari nilai lain dalam kumpulan data. Dalam konteks presipitasi, pinggiran kota sering terjadi karena sejumlah faktor, termasuk: a) Kesalahan pengukuran. Kesalahan teknis pada alat pengukur hujan, seperti sensor yang rusak

atau pengukuran yang salah, dapat menghasilkan data yang jauh dari nilai sebenarnya. b) Kesalahan penyimpanan data. Kesalahan manusia saat menyimpan data, baik di menyetik angka atau memprogram sistem otomatis yang digunakan untuk mencatat data mungkin menghasilkan nilai yang tidak sesuai. c) Fenomena alam yang tidak biasa. Peristiwa curah hujan ekstrem, seperti curah hujan yang sangat deras atau bencana alam, seperti badai besar, dapat menghasilkan nilai curah hujan yang sangat tinggi dan menjadi lebih tidak biasa. d) Dampak lingkungan. Lokasi stasiun pengamatan yang tidak representatif atau adanya faktor lingkungan seperti pagar Vegetasi yang mengganggu pembacaan alat ukur dapat menghasilkan data yang jauh dari kondisi normal. Penggunaan outlier pada data curah hujan diperlukan dalam situasi yang berkaitan dengan validitas data, ketepatan model hidrologi, dan perencanaan infrastruktur. Outlier dapat menunjukkan adanya kesalahan pengukuran, pengaruh cuaca ekstrem, atau faktor lain yang mengganggu kestabilan data, yang harus diatasi agar analisis lebih akurat dan berguna. Oleh karena itu, penanganan outlier yang tepat sangat penting dalam memastikan kualitas dan reliabilitas analisis hidrologi. Berdasarkan data curah hujan yang telah didapatkan disertai dengan pengisian data kosong yang telah dilakukan menggunakan metode interpolasi. Didapatkan bahwa beberapa tahun terdapat outlier dikarenakan fenomena cuaca ekstrem (misalnya, topan, hujan lebat dalam waktu singkat). Meskipun peristiwa ini bukan kesalahan, mereka dapat mengganggu pola normal data curah hujan. Selain itu, deteksi outlier yang terkait dengan kejadian cuaca ekstrem penting untuk memahami potensi bencana alam seperti banjir. Dengan mengidentifikasi outlier, perencana dapat mempersiapkan dan merancang infrastruktur, seperti modul drainase atau perkerasan hijau, untuk menghadapi kemungkinan kejadian ekstrem di masa depan. Tahun yang memiliki outlier antara lain tahun 1996, 2002, 2007, dan 2013. Berikut merupakan grafik yang dapat menjadi penggambaran terhadap outlier .

#### 4.2 Desain Prototipe Pavement Polyurethane (PU) adalah bahan polimer sintetis yang memiliki sifat mekanik dan fisik yang

unggul, seperti elastisitas tinggi, ketahanan terhadap abrasi, dan daya tahan terhadap berbagai kondisi cuaca. Penggunaan polyurethane dalam desain pavement atau perkerasan jalan merupakan inovasi yang bertujuan untuk meningkatkan performa dan umur pemakaian struktur perkerasan. Selain itu, penggunaan polyeurethane sebagai material utama dalam membuat prototipe atau benda uji pada pavement memudahkan dalam hal pengujian karena memiliki berat yang cukup ringan serta mudah menyesuaikan dengan wadahnya. Pada penelitian ini polyeurethane digunakan sebagai material utama dalam membuat benda uji dengan wadah yang sudah dibuat sebelumnya dengan dimensi menyesuaikan platform yaitu  $1 \text{ m}^2$ . Melalui prototipe ini dilakukan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas air dan kemampuan dalam mengalirkan air pada pavement dengan desain yang sudah disesuaikan dengan inovasi terbaru. Berdasarkan desain pavement yang digunakan, maka cetakan prototipe yang dirancang menyesuaikan dengan desain tersebut. Maka, didapatkan volume terisi ialah sebesar  $817,63 \text{ cm}^3$  pada bagian atas pavement, sedangkan pada badan pavement memiliki volumen sebesar  $1.689,52 \text{ cm}^3$ . Sedangkan volume kosong pavement pada bagian atas sebesar  $325,75 \text{ cm}^3$  dan volume kosong pavement pada bagian badan sebesar  $370,64 \text{ cm}^3$ . Dengan tinggi bagian atas pavement  $5 \text{ cm}$  dan tinggi badan pavement  $30 \text{ cm}$ .

#### 4.3 Kalibrasi

Kalibrasi merupakan proses penting dalam penelitian untuk memastikan bahwa data, alat atau model yang digunakan menghasilkan hasil yang akurat dan relevan dibandingkan dengan kondisi dunia nyata. Dalam konteks penelitian ini, kalibrasi mencakup upaya perkiraan model aliran, peralatan pengukuran, dan parameter lingkungan yang digunakan dalam simulasi atau pengujian modul perkerasan hijau. Kalibrasi yang digunakan ialah kalibrasi terhadap model hidraulik serta kalibrasi perangkat pengukuran. Pada kalibrasi terhadap model hidraulik kalibrasi model hidrolis bertujuan untuk memastikan aliran air yang disimulasikan pada modul perkerasan hijau sesuai dengan kondisi lapangan sebenarnya, maka diperlukan langkah-langkah berikut: 1) Pengumpulan Data Lapangan Mengukur data curah hujan, infiltrasi, dan limpasan (

runoff) di kawasan urban menggunakan modul green pavement . Pada penelitian ini menggunakan data curah hujan berdasarkan rerata periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun, terhadap 23 tahun yang dilakukan di sungai ciliwung. Berikut merupakan data curah hujan selama 23 tahun. 2) Penyesuaian Parameter Model Parameter seperti permeabilitas, porositas, dan kapasitas infiltrasi modul disesuaikan agar hasil simulasi dapat mencerminkan data lapangan. Dalam penelitian ini, hal yang dimaksud ialah jika hasil simulasi menunjukkan laju infiltrasi yang terlalu tinggi atau rendah dibandingkan data lapangan, nilai permeabilitas pada model disesuaikan hingga hasil simulasi mendekati kenyataan. Begitupun pada porositas, Jika simulasi menunjukkan kapasitas penyimpanan air yang tidak sesuai (misalnya terlalu kecil dibandingkan hasil lapangan), nilai porositas dalam model diperbaiki. Ketiga poin ini sangat berkaitan dalam menentukan keefektifitasan modul green pavement . Dengan permeabilitas dapat mempengaruhi dari kecepatan air yang melewati modul (waktu), pada porositas dapat menentukan jumlah air yang dapat ditampung modul sebelum mencapai pada kejenuhan, serta pada kapasitas infiltrasi dapat menentukan seberapa cepat air yang tertampung dapat diserap tanpa mengurangi limpasan permukaan. Hal berikut akan dilakukan percobaan dengan 2 hal yang berbeda, pengujian dengan menggunakan modul green pavement serta pengujian tanpa menggunakan modul green pavement (hanya platform ). Selanjutnya, pada kalibrasi terhadap perangkat pengukuran penggunaan alat ukur dalam penelitian, seperti sensor hujan atau alat infiltrasi, harus dikalibrasi untuk menjamin keakuratan datanya. Dengan melakukan proses berikut: 1) Pengujian awal Membandingkan alat dengan standar yang sudah terkalibrasi. Alat yang digunakan ialah menggunakan ombrometer dengan hasil yang dinyatakan dalam milimeter (mm). Penelitian ini menggunakan standar 200 mm maksimal dalam satu ombrometer dengan skema sebagai berikut. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara luas permukaan ombrometer serta luas permukaan pada platform benda uji. Perbandingan ini juga diikutsertakan dengan volume pada ombrometer serta pada platform benda

uji. Kemudian, perbandingan terhadap waktu yang dibutuhkan pada ombrometer dan platform benda uji. Sehingga didapatkan persamaan pada 4. 1. Pada kalibrasi ombrometer, biasanya mengukur kedalaman air hujan dalam milimeter (mm) berdasarkan volume air yang terkandung dalam platform pengujian. Untuk mengubah volume air (mL) menjadi kedalaman (mm), perlu memperhitungkan luas platform tabung reaksi yang menampung air hujan. Dengan persamaan 4. 2 dapat digunakan untuk mengkonversikan dimensi yang digunakan pada penelitian ini. Jika volume air yang tertampung adalah 1 mL dan luas tempat pengujian adalah  $1 \text{ m}^2$ , maka kedalaman air hujan yang tertampung di permukaan adalah 0.001 mm. Sehingga, didapatkan 1021,87 mm yang diperlukan dalam 1 jam hasil perbandingan dengan ombrometer. Nilai ini akan dibagi dengan rerata dari periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun untuk nantinya dapat dijadikan sebagai volume air yang dibutuhkan dalam 1 jam pada proses pengujian. Penyesuaian dan perbaikan adalah proses yang dilakukan pada alat ukur yang digunakan dalam penelitian jika ditemukan penyimpangan antara hasil pengukuran alat dengan nilai standar atau kondisi aktual di lapangan. Tujuannya adalah memastikan alat dapat memberikan data yang akurat dan dapat diandalkan.

#### 4.4 Analisis Model

##### 4.4.1 Bentuk Modul Green Pavement

Desain modul green pavement dibuat dengan desain yang sangat baru. Hal ini dikarenakan dalam mendesain modul green pavement mempertimbangan tujuan serta fungsi dari green pavement tersebut. Berdasarkan desain bagian atas yang sudah didesain dengan bentuk dasar segi enam dan lubang kecil di bagian atas memiliki fungsi dalam hal stabilitas struktur yang dapat mengunci ( interlocking ) serta cocok pada bentuk modular green pavement . Selain itu, dalam hal drainase yang didapatkan dari bagian lubang kecil untuk membantu pengaliran air secara vertikal menuju lapisan infiltrasi dibawahnya. Sedangkan pada desain badan pavement berbentuk silindris dengan variasi lubang di tengah berbentuk hexagonal untuk membantu mengunci bagian atas pavement. Pada bagian badan ini memiliki fungsi dalam struktur pendukung yang memungkinkan untuk memberikan kekuatan

tambahan untuk menahan beban, seperti kendaraan ringan di kawasan urban dengan membagi bebannya. Berdasarkan pendapat dari Prof. Dr. Frederik Josep Putuhena, melalui bentuk yang dibuat pada penelitian ini dapat dikatakan baik. Hal ini dikarenakan terdapat capping pavement yang digunakan sebagai pengunci pada pavement yang dapat menjaga badan pavement agar stabil serta dapat mempermudah dalam proses maintenance. Bentuk model tersebut berkaitan erat dengan tujuan penelitian dalam meningkatkan pengaliran air dan efisiensi modul green pavement.

a) Efisiensi pengaliran Air, Lubang-lubang pada desain menyediakan jalur untuk mengarahkan air hujan ke lapisan infiltrasi di bawahnya, sehingga meminimalkan limpasan permukaan. Desain ini mendukung peningkatan kapasitas infiltrasi yang merupakan salah satu parameter utama penelitian ini.

b) Kekuatan dan ketahanan Modul, Bentuk heksagonal di bagian atas dan kombinasi silinder pada badan modul pavement menunjukkan bahwa desain ini dirancang saling bertautan sehingga memberikan stabilitas struktural. Hal ini penting untuk memastikan bahwa modul-modul tersebut dapat menopang beban kendaraan atau pejalan kaki di perkotaan.

c) Modularitas, Desain seperti ini mendukung pemasangan modular, sehingga memudahkan proses pemasangan dan pemeliharaan modul green pavement. Selain itu, bentuknya yang heksagonal memungkinkan pemanfaatan ruang secara efisien dan menunjang estetika di kawasan perkotaan.

d) Performa Lingkungan, melalui desain dengan bentuk hexagonal dan silinder ini memungkinkan untuk mengurangi genangan, meningkatkan penyimpanan air sementara di dalam modul, serta mendukung pondasi air ke tanah untuk meningkatkan pasokan air.

#### 4.4.2 Pengujian Terhadap Modul Green Pavement

Pengujian terhadap modul green pavement dilakukan dengan parameter bukaan terhadap valve aliran air. Pengujian juga dilakukan dengan tiga kali percobaan serta pengujian menggunakan benda uji dan pengujian tanpa benda uji (platform). Berdasarkan pengujian didapatkan hasil yang menggunakan faktor antara bukaan valve dengan air yang tertampung (ml). Berikut merupakan hasil pengujian yang sudah dilakukan: Berdasarkan hasil pengujian yang telah

dilakukan diperlukan uji validitas terhadap hasil pengujian tersebut dengan menggunakan standar deviasi. Berikut merupakan hasil pengujian validitas terhadap hasil pengujian. Uji validitas diperlukan untuk memastikan keakuratan, relevansi, dan keandalan hasil penelitian. Dengan melakukan uji validitas, penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang nyata dan dapat dipercaya dalam mengembangkan solusi untuk mengelola banjir genangan di kawasan urban. Berikut merupakan penggambaran grafik terkait dengan uji validasi Setelah data sudah dilakukan uji validitas dan angka pengujian berada di bawah batas maksimal dan diatas batas maksimal. Dapat diinterpretasikan melalui grafik sebagai berikut. A. Buka Valve 100% Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan dua kali terhadap Buka Valve sebesar 100% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Hubungan Waktu dan Banyaknya Air Tertampung  $\times$  Percobaan dengan Benda Uji (biru): Volume air tertampung tinggi, mengindikasikan bahwa kapasitas penyerapan modul mengalami sedikit pengurangan seiring waktu terhadap waktu penyerapannya.  $\times$  Percobaan Tanpa Benda Uji (orange): Volume air tertampung lebih tinggi dibandingkan pengujian dengan benda uji, hal ini dipengaruhi oleh keluasan air yang jatuh ke dalam platform tanpa adanya penghalang. b) Performa Modul  $\times$  Dampak Benda Uji: Keberadaan benda uji meningkatkan kapasitas air yang tertampung. Ini dapat disebabkan oleh peran benda uji yang mungkin memperlambat aliran air sehingga memungkinkan modul menyerap lebih banyak.  $\times$  Tanpa Benda Uji: Meskipun tanpa benda uji, modul tetap efektif dalam menampung air, dengan menampung air lebih banyak daripada pengujian dengan benda uji. Sehingga, Keberadaan benda uji meningkatkan performa modul green pavement secara signifikan, baik dalam menampung air lebih banyak maupun memperlambat penurunan kapasitas. Penggunaan modul tanpa benda uji tetap menghasilkan performa yang baik. Untuk aplikasi praktis, modul dengan benda uji lebih disarankan untuk meningkatkan pengelolaan air, terutama pada lingkungan yang membutuhkan kapasitas retensi tinggi. B. Buka Valve 85% Berdasarkan pengujian terhadap bukaan

valve sebesar 85% pada pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji terhadap banyaknya air yang tertampung dapat disimpulkan sebagai berikut:

a) Pola Penurunan Kapasitas Penampungan Air ☒ Dengan Benda Uji: Grafik menunjukkan kapasitas air tertampung lebih rendah dibandingkan dengan percobaan tanpa benda uji. Penurunan jumlah air yang tertampung terjadi secara lebih lama, menunjukkan bahwa modul lebih mampu menahan air karena pengaruh benda uji. ☒ Tanpa Benda Uji: Grafik menunjukkan jumlah air tertampung lebih tinggi dibandingkan percobaan dengan benda uji pada setiap tahap pengujian. Penurunan kapasitas air tertampung terjadi, dengan penurunan yang relatif lebih cepat dibandingkan percobaan dengan benda uji. b) Pengaruh Kehadiran Benda Uji ☒ Kehadiran benda uji (seperti penghalang atau elemen fisik) berfungsi membantu modul mempertahankan kapasitas air lebih baik. Hal ini dapat terjadi karena benda uji mengurangi laju aliran air keluar dari modul, sehingga memungkinkan lebih banyak air yang tertahan dalam struktur material green pavement. ☒ Sebaliknya, tanpa benda uji, air cenderung langsung keluar dari modul, sehingga kapasitas retensi air lebih rendah dan menurun lebih cepat. Sehingga, pengaruh benda uji kehadiran benda uji meningkatkan kapasitas air yang tertampung, menunjukkan bahwa elemen tambahan pada desain green pavement dapat membantu memperbaiki efisiensinya. C. Buka Valve 75% Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan tiga kali dalam periode ulang 5 tahun dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Tren Penurunan Kapasitas Penampungan Air ☒ Percobaan dengan Benda Uji (Garis Biru): Jumlah air yang tertampung lebih rendah dibandingkan percobaan tanpa benda uji pada setiap pengujian. Penurunan ini mencerminkan bahwa kehadiran benda uji membantu modul mempertahankan efisiensi penyerapan air meskipun diuji berulang kali. ☒ Percobaan Tanpa Benda Uji (Garis Oranye): Jumlah air yang tertampung lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan dengan benda uji, dan menunjukkan tren kenaikan yang lebih signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa tanpa benda uji, air cenderung lebih cepat mengalir keluar dari modul, mengurangi kapasitas penyerapan air. b) Pengaruh

Kehadiran Benda Uji ✕ Kehadiran benda uji (garis biru) memberikan kontribusi positif dengan meningkatkan kapasitas air yang tertampung. Hal ini mungkin disebabkan oleh benda uji yang membantu memperlambat aliran air keluar dari modul, memungkinkan lebih banyak air yang tertahan. ✕ Tanpa benda uji, air cenderung langsung mengalir keluar dari modul tanpa hambatan, sehingga kapasitas tertampung lebih rendah dan menurun lebih tajam seiring pengujian. Sehingga, kinerja awal material green pavement menunjukkan kapasitas awal yang cukup baik dalam menampung air, terutama pada percobaan dengan benda uji. Pengaruh Waktu dan Pengujian Berulang: Penurunan kapasitas air tertampung setelah pengujian berulang menunjukkan bahwa material mengalami perubahan karakteristik (seperti kejenuhan atau deformasi). Peran benda uji, kehadiran benda uji meningkatkan kapasitas penyerapan air, menunjukkan bahwa desain tambahan dapat meningkatkan efisiensi modul green pavement . D. Buka Valve 65%

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap bukaan valve 65% dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Pengaruh Benda Uji (Prototipe) ✕ Percobaan dengan Benda Uji (Garis Biru): Penggunaan benda uji atau prototipe tampaknya secara signifikan mengurangi jumlah air yang tertampung pada bukaan valve sebesar 65%. Penurunan kapasitas air yang tertampung relatif lebih lambat dibandingkan percobaan tanpa benda uji, menunjukkan bahwa benda uji membantu mempertahankan kapasitas retensi air dalam modul. ✕ Percobaan Tanpa Benda Uji (Garis Oranye): Kapasitas awal lebih tinggi dibandingkan dengan percobaan dengan benda uji. Penurunan kapasitas air tertampung lebih signifikan pada pengujian tanpa benda uji, terutama setelah pengujian kedua, menunjukkan bahwa modul green pavement lebih cepat kehilangan kemampuan retensi air tanpa kehadiran benda uji.

b) Pengaruh Kehadiran Benda Uji ✕ Dengan Benda Uji: Kapasitas air tertampung lebih tinggi dalam semua pengujian dibandingkan tanpa benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa benda uji berfungsi sebagai penghalang atau pendukung, yang memungkinkan air untuk tertahan lebih lama dalam material green pavement. ✕ Tanpa Benda Uji: Tanpa pengaruh benda uji, ai

r cenderung langsung mengalir keluar dari modul, sehingga kapasitas air yang tertampung lebih rendah dan lebih cepat menurun. Sehingga, pada bukaan valve sebesar 65%, penggunaan benda uji (prototipe) secara signifikan mengurangi jumlah air yang tertampung dibandingkan pengujian tanpa benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan prototipe memengaruhi kinerja sistem aliran air, kemungkinan dengan cara mengurangi efisiensi aliran atau menambah hambatan. Prototipe mungkin dirancang untuk mengendalikan atau membatasi aliran air, yang terlihat dari penurunan volume air tertampung menjadi sekitar sepertiga dari kondisi tanpa prototipe.

E. Bukaan Valve 50% Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada bukaan valve 50% dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Efek Kehadiran Benda Uji  $\boxtimes$  Air yang tertampung pada pengujian dengan benda uji menunjukkan bahwa air yang tertampung lebih rendah dibandingkan dengan pengujian tanpa benda uji.  $\boxtimes$  Ini menunjukkan bahwa benda uji memberikan efek positif pada kinerja modul dalam memperlambat aliran air. b) Implikasi Hasil Pengujian  $\boxtimes$  Sama seperti pada bukaan valve 65%, penggunaan prototipe memiliki efek nyata dalam membatasi volume air yang tertampung.  $\boxtimes$  Ini dapat mengindikasikan bahwa prototipe berhasil menjalankan fungsi pengendalian aliran air, khususnya pada bukaan valve 50%. Pada bukaan valve sebesar 50%, penggunaan benda uji (prototipe) secara signifikan mengurangi volume air yang tertampung hingga setengahnya dibandingkan tanpa benda uji. Hal ini menunjukkan bahwa prototipe berhasil membatasi aliran air dengan menambah hambatan atau mengurangi efisiensi aliran. Efek pengurangan volume ini konsisten dengan pengujian pada tingkat bukaan valve lainnya, sehingga prototipe dapat dinyatakan efektif dalam mengontrol aliran air sesuai tujuan.

F. Bukaan Valve 45% Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap bukaan valve 45% dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Penurunan Jumlah Air Tertampung  $\boxtimes$  Jumlah air yang tertampung menurun seiring bertambahnya pengulangan percobaan, baik pada modul dengan benda uji maupun tanpa benda uji. b) Efek Kehadiran Benda Uji  $\boxtimes$  Kehadiran benda uji memberikan efek positif

f dalam meningkatkan kemampuan modul menampung air. Hal ini terlihat dari perbedaan jumlah air yang tertampung pada modul dengan benda uji yang konsisten lebih besar dibandingkan tanpa benda uji di setiap percobaan. c) Laju Penurunan Penurunan jumlah air yang tertampung pada modul tanpa benda uji lebih cepat dibandingkan modul dengan benda uji, mengindikasikan bahwa benda uji membantu mempertahankan performa modul dalam jangka waktu yang lebih lama. Sehingga, pengaruh positif benda uji, kehadiran benda uji meningkatkan kapasitas modul green pavement untuk menampung air dan memperlambat laju penurunan efisiensi selama pengulangan percobaan. Penurunan efisiensi, jumlah air yang tertampung menurun pada kedua kondisi, menunjukkan bahwa kinerja modul mengalami degradasi setelah pengulangan percobaan. Keunggulan modul dengan benda uji, modul dengan benda uji menunjukkan performa lebih baik dalam menahan air dan mempertahankan kapasitas tampungan meskipun digunakan berulang kali. G. Buka Valve 30% Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Pengaruh Benda Uji (Prototipe) Penggunaan benda uji atau prototipe mengurangi volume air yang tertampung hingga setengahnya dibandingkan tanpa benda uji. Hal ini mengindikasikan bahwa prototipe memberikan efek signifikan pada pengurangan aliran air. b) Implikasi Hasil Pengujian Pada bukaan valve yang lebih kecil (30%), efek pengurangan volume air tetap konsisten dengan pengujian sebelumnya. Prototipe secara efektif membatasi aliran air dengan menambah hambatan atau mengontrol aliran. Sehingga, pada bukaan valve sebesar 30%, penggunaan benda uji (prototipe) terbukti efektif dalam membatasi aliran air dengan mengurangi volume air yang tertampung hingga setengahnya dibandingkan pengujian tanpa prototipe. Hal ini menunjukkan konsistensi fungsi prototipe dalam mengontrol aliran air pada berbagai tingkat bukaan valve. H. Buka Valve 25% Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Perbedaan Hasil Pengujian Tidak terdapat perbedaan signifikan antara pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji. Kedua

kondisi menghasilkan volume air tertampung yang sama. b) Efisiensi Platform Tanpa Benda Uji ✕ Hasil menunjukkan bahwa platform green pavement mampu menyerap air secara efisien bahkan tanpa bantuan benda uji. ✕ Performa platform meningkat seiring waktu. c) Perbandingan dengan Benda Uji ✕ grafik ini menunjukkan hasil yang serupa dalam tren peningkatan kapasitas platform seiring waktu, namun peran benda uji tampaknya menambah efisiensi total. ✕ Tanpa benda uji, platform tetap berfungsi dengan baik, menjadikannya solusi fleksibel untuk aplikasi pengelolaan air hujan. Sehingga, Pada bukaan valve 25%, sistem menunjukkan performa yang konsisten, baik dengan maupun tanpa benda uji. Hal ini mengindikasikan bahwa prototipe atau benda uji tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap aliran atau volume air tertampung pada pengaturan bukaan valve tersebut. I. Bukaan Valve 15% Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Efek Green Pavement ✕ Kehadiran modul green pavement (benda uji) menunjukkan bahwa kapasitas pengaliran air berkurang secara signifikan dibandingkan tanpa modul green pavement. Penurunan volume air yang tertampung mengindikasikan bahwa modul green pavement mampu memperlambat laju aliran air b) Kinerja dalam Pengendalian Air ✕ Penurunan signifikan pengujian tanpa benda uji dan dengan benda uji, mencerminkan potensi modul green pavement dalam mengurangi risiko genangan air. Hal ini relevan dalam konteks pemukiman urban, di mana sistem drainase sering kali terbatas. Sehingga, modul green pavement efektif dalam mengurangi kapasitas air yang tertampung dalam sistem aliran dengan bukaan valve sebesar 15%. Hal ini mengindikasikan bahwa green pavement dapat menjadi elemen penting dalam desain kawasan pemukiman urban yang lebih berkelanjutan, dengan fungsi utama untuk mengelola aliran permukaan, meningkatkan resapan air, dan mengurangi risiko banjir lokal. Implementasi teknologi ini memiliki potensi besar untuk mendukung konsep sustainable urban development. J. Bukaan Valve 10% Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut: a)

Efek Green Pavement ☒ Pada bukaan valve yang lebih kecil, perbedaan volume air yang tertampung antara pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan hasil pada bukaan valve 15%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi aliran yang lebih terbatas, modul green pavement tetap efektif dalam mengurangi volume air yang tertampung, meskipun efeknya tidak sebesar pada bukaan valve yang lebih besar. b) Kaitan dengan Pemukiman Urban ☒ Dalam situasi aliran air yang lebih kecil, seperti pada hujan dengan intensitas rendah atau sistem drainase dengan kapasitas terbatas, green pavement masih mampu memberikan dampak positif dengan mengurangi aliran permukaan. ☒ Peran modul ini lebih terlihat sebagai bagian dari sistem pengelolaan air yang mendukung penyerapan dan pengurangan beban sistem drainase di kawasan urban. Sehingga, Pada bukaan valve sebesar 10%, pengujian menunjukkan bahwa modul green pavement tetap efektif dalam mengurangi volume air yang tertampung dibandingkan dengan kondisi tanpa modul, meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Modul ini berfungsi sebagai pengontrol aliran permukaan dengan potensi mengurangi genangan air, terutama pada kondisi aliran rendah. Dalam konteks kawasan pemukiman urban, modul green pavement memberikan kontribusi yang konsisten dalam mendukung pengelolaan air yang lebih berkelanjutan dan mengurangi tekanan terhadap sistem drainase, bahkan pada kondisi debit aliran yang lebih kecil. K. Bukaan Valve 5% Berdasarkan pada hasil grafik pengujian dengan tanpa benda uji dapat disimpulkan sebagai berikut: a) Efek Green Pavement pada Bukaan Valve 5% ☒ Pada kondisi bukaan valve yang sangat kecil, perbedaan volume air yang tertampung antara pengujian dengan benda uji dan tanpa benda uji semakin mengecil. Volume air yang tertampung dengan green pavement menunjukkan pengurangan sekitar  $\pm 5.000$  mL dibandingkan tanpa benda uji, tetapi efek modul green pavement tetap ada meskipun perbedaannya tidak terlalu signifikan. b) Efisiensi pada Debit Rendah ☒ Pada kondisi debit aliran yang rendah, seperti yang disimulasikan melalui bukaan valve 5%, modul green pavement memiliki

fungsi yang lebih terbatas dalam mengurangi volume air yang tertampung. Hal ini bisa disebabkan oleh aliran air yang lebih lambat dan rendah, di mana kapasitas modul green pavement dalam memperlambat aliran tidak diuji secara maksimal. c) Kaitan dengan Pemukiman Urban ☒ Pada kawasan urban, green pavement tetap memiliki dampak positif dalam membantu mengelola aliran permukaan meskipun debit aliran kecil. Modul ini dapat berfungsi sebagai pengurang risiko genangan meskipun efeknya lebih terasa pada debit aliran yang lebih tinggi. ☒ Hasil ini menunjukkan bahwa sistem green pavement dapat mendukung pengelolaan air yang lebih baik dalam kondisi normal (non-hujan deras), terutama untuk menangani aliran air kecil yang biasa terjadi. Sehingga, Pada bukaan valve 5%, modul green pavement tetap menunjukkan kemampuan untuk mengurangi volume air yang tertampung, meskipun perbedaannya kecil dibandingkan dengan kondisi tanpa modul. Efeknya menjadi lebih signifikan pada debit aliran yang lebih besar, tetapi keberadaan modul tetap berkontribusi dalam mengontrol aliran air dan mendukung sistem drainase perkotaan. Modul ini menunjukkan potensi dalam pengelolaan aliran air permukaan di kawasan pemukiman urban, sekaligus membantu mengurangi tekanan pada sistem drainase, terutama pada kondisi debit rendah atau aliran harian. Setelah mendapatkan hasil pengujian terhadap modul green pavement, air yang mengalir di atas green pavement dikatakan jenuh. Kemudian hasil tersebut perlu kembali dipresentasikan untuk disesuaikan pada koefisien pengaliran, sebagai berikut: Hasil pengujian terhadap benda uji maupun tanpa benda uji memiliki nilai efisiensi retardasi pada nilai interval 0,66 – 0,80. Hal ini dilakukan perhitungan melalui hasil bagi antara rerata pengujian tanpa benda uji dan pengujian dengan benda uji, lalu dikurangkan dengan nilai 1 (jenuh). Bukaan valve digunakan untuk mendapatkan curah hujan yang sama dengan debit curah hujan yang digunakan. Pada periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun memiliki nilai analisis dimensional yang kecil atau setara dengan 2,05-3,00 cm<sup>3</sup>/s. Nilai curah hujan yang dimiliki relatif kecil, jika dilakukan pada pengujian terhadap prototipe

modul green pavement dapat disimpulkan bahwa modul dapat menampung curah hujan yang memiliki intensitas kecil karena pada bukaan valve sebesar 5% dapat menampung 28,33 cm<sup>3</sup>/s. BAB V PENUTUP 5.1 Kesimpulan Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada modul green pavement didapatkan Kesimpulan sebagai berikut: 1) Pengujian yang dilakukan terhadap benda uji maupun tanpa benda uji dengan bukaan valve menunjukkan bahwa benda uji secara signifikan dapat menahan aliran air lebih lambat masuk ke dalam prototipe modul green pavement, berbeda dengan pengujian tanpa benda uji yang dapat mengalirkan air secara cepat tanpa hambatan ke dalam platform benda uji. 2) Hasil uji validitas yang dilakukan terhadap hasil pengujian menyatakan bahwa setiap pengujian yang dilakukan memiliki hasil yang berada di bawah batas maksimal dan diatas batas minimal. 3) Hasil pengujian yang sudah dilakukan terhadap green pavement pada wilayah urban residential dapat dinyatakan bahwa green pavement dapat mengalirkan 0,66-0,80 air yang tertahan. 5.2 Saran Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada modul green pavement didapatkan Kesimpulan sebagai berikut: 1) Pada pengujian modul green pavement dilakukan pada bidang datar yang telah mencapai optimalnya. Maka, diperlukan pengujian pada daerah miring untuk mengetahui kapasitas dan kemampuan pada green pavement secara optimal. 2) Pada pengujian terdapat angka yang menurun disebabkan oleh degradasi mekanis akibat proses pengujianTberulang. Oleh karena itu, diperlukan untuk memperbaiki kembali prototipe secara berkala untuk memaksimalkan pengujian. 3) Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menambah volume pavement dengan memperbanyak area kosong, sehingga air dapat dialirkan dengan optimal.



REPORT #24590885

## Results

Sources that matched your submitted document.

● IDENTICAL ● CHANGED TEXT

INTERNET SOURCE		
1.	<b>0.78%</b> repository.its.ac.id <a href="https://repository.its.ac.id/56162/1/10111715000022-Undergraduate_Theses.pdf">https://repository.its.ac.id/56162/1/10111715000022-Undergraduate_Theses.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
2.	<b>0.6%</b> repository.umy.ac.id <a href="https://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/6979/BAB%20%20III...">https://repository.umy.ac.id/bitstream/handle/123456789/6979/BAB%20%20III...</a>	●
INTERNET SOURCE		
3.	<b>0.37%</b> repository.itk.ac.id <a href="https://repository.itk.ac.id/17551/5/08171035_chapter_2.pdf">https://repository.itk.ac.id/17551/5/08171035_chapter_2.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
4.	<b>0.28%</b> katadata.co.id <a href="https://katadata.co.id/berita/nasional/61e7938e0473b/presipitasi-adalah-jatuhn..">https://katadata.co.id/berita/nasional/61e7938e0473b/presipitasi-adalah-jatuhn..</a>	●
INTERNET SOURCE		
5.	<b>0.28%</b> repository.unhas.ac.id <a href="http://repository.unhas.ac.id/29271/1/D101181507_skripsi_09-05-2023%20bab%..">http://repository.unhas.ac.id/29271/1/D101181507_skripsi_09-05-2023%20bab%..</a>	●
INTERNET SOURCE		
6.	<b>0.26%</b> jurnal.mediaakademik.com <a href="https://jurnal.mediaakademik.com/index.php/jma/article/download/1258/1086...">https://jurnal.mediaakademik.com/index.php/jma/article/download/1258/1086...</a>	●
INTERNET SOURCE		
7.	<b>0.22%</b> www.enviromindo.com <a href="https://www.enviromindo.com/p/pengelolaan-air-dan-persampahan.html">https://www.enviromindo.com/p/pengelolaan-air-dan-persampahan.html</a>	●
INTERNET SOURCE		
8.	<b>0.19%</b> jurnal.univpgri-palembang.ac.id <a href="https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/deformasi/article/download/..">https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/deformasi/article/download/..</a>	●
INTERNET SOURCE		
9.	<b>0.18%</b> proceeding.unram.ac.id <a href="https://proceeding.unram.ac.id/index.php/saintek/article/download/932/707/22..">https://proceeding.unram.ac.id/index.php/saintek/article/download/932/707/22..</a>	●



REPORT #24590885

INTERNET SOURCE		
10.	<b>0.17%</b> <a href="http://www.antaranews.com">www.antaranews.com</a> <a href="https://www.antaranews.com/berita/4590358/hulu-das-ciliwung-jadi-prioritas-r...">https://www.antaranews.com/berita/4590358/hulu-das-ciliwung-jadi-prioritas-r...</a>	●
INTERNET SOURCE		
11.	<b>0.16%</b> <a href="http://mysunblognewaddress.blogspot.com">mysunblognewaddress.blogspot.com</a> <a href="http://mysunblognewaddress.blogspot.com/2017/12/mengukur-curah-hujan-de...">http://mysunblognewaddress.blogspot.com/2017/12/mengukur-curah-hujan-de...</a>	●
INTERNET SOURCE		
12.	<b>0.15%</b> <a href="http://eprints.ipdn.ac.id">eprints.ipdn.ac.id</a> <a href="http://eprints.ipdn.ac.id/15970/1/REPOSITORY%20PAPUA%20BARAT.pdf">http://eprints.ipdn.ac.id/15970/1/REPOSITORY%20PAPUA%20BARAT.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
13.	<b>0.14%</b> <a href="https://fahatan.ulm.ac.id">fahatan.ulm.ac.id</a> <a href="https://fahatan.ulm.ac.id/id/buku/bukuajar/22_buku_ajar_hidrologi_hutan_15,...">https://fahatan.ulm.ac.id/id/buku/bukuajar/22_buku_ajar_hidrologi_hutan_15,...</a>	●
INTERNET SOURCE		
14.	<b>0.14%</b> <a href="https://rianmantasa.staff.ugm.ac.id">rianmantasa.staff.ugm.ac.id</a> <a href="https://rianmantasa.staff.ugm.ac.id/files/2020/05/Analisis-Curah-Hujan.pdf">https://rianmantasa.staff.ugm.ac.id/files/2020/05/Analisis-Curah-Hujan.pdf</a>	●
INTERNET SOURCE		
15.	<b>0.14%</b> <a href="http://digilib.unila.ac.id">digilib.unila.ac.id</a> <a href="http://digilib.unila.ac.id/63583/3/TESIS%20TANPA%20BAB%20%20PEMBAHASA...">http://digilib.unila.ac.id/63583/3/TESIS%20TANPA%20BAB%20%20PEMBAHASA...</a>	●
INTERNET SOURCE		
16.	<b>0.13%</b> <a href="https://eprints.uniska-bjm.ac.id">eprints.uniska-bjm.ac.id</a> <a href="https://eprints.uniska-bjm.ac.id/19327/1/Book%20Chapter%20%202024%20Me...">https://eprints.uniska-bjm.ac.id/19327/1/Book%20Chapter%20%202024%20Me...</a>	●
INTERNET SOURCE		
17.	<b>0.13%</b> <a href="https://ayementremlogam.co.id">ayementremlogam.co.id</a> <a href="https://ayementremlogam.co.id/artikel/drainase-jalan-dan-jembatan/">https://ayementremlogam.co.id/artikel/drainase-jalan-dan-jembatan/</a>	●
INTERNET SOURCE		
18.	<b>0.12%</b> <a href="https://ouci.dntb.gov.ua">ouci.dntb.gov.ua</a> <a href="https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7Pra5Xel/">https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7Pra5Xel/</a>	●
INTERNET SOURCE		
19.	<b>0.12%</b> <a href="https://ejournal-pusdiklat.bmkg.go.id">ejournal-pusdiklat.bmkg.go.id</a> <a href="https://ejournal-pusdiklat.bmkg.go.id/index.php/climago/article/download/33/3..">https://ejournal-pusdiklat.bmkg.go.id/index.php/climago/article/download/33/3..</a>	●
INTERNET SOURCE		
20.	<b>0.11%</b> <a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> <a href="https://www.researchgate.net/publication/382116262_Uji_Validitas_dan_Uji_Re..">https://www.researchgate.net/publication/382116262_Uji_Validitas_dan_Uji_Re..</a>	●



REPORT #24590885

INTERNET SOURCE		
21. 0.11%	akbidpemkabbgoro.ac.id <a href="https://akbidpemkabbgoro.ac.id/tuliskan-dan-jelaskan-tahapan-melakukan-pro..">https://akbidpemkabbgoro.ac.id/tuliskan-dan-jelaskan-tahapan-melakukan-pro..</a>	●
INTERNET SOURCE		
22. 0.09%	www.mdpi.com <a href="https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2559?utm_source=releaseissue&amp;utm_m..">https://www.mdpi.com/2073-4441/12/9/2559?utm_source=releaseissue&amp;utm_m..</a>	●
INTERNET SOURCE		
23. 0.09%	www.kompas.com <a href="https://www.kompas.com/skola/read/2023/12/12/010000269/tinjauan-pustaka-...">https://www.kompas.com/skola/read/2023/12/12/010000269/tinjauan-pustaka-...</a>	●
INTERNET SOURCE		
24. 0.09%	ouci.dntb.gov.ua <a href="https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7pG560j9/">https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/7pG560j9/</a>	●
INTERNET SOURCE		
25. 0.08%	www.revou.co <a href="https://www.revou.co/kosakata/outlier">https://www.revou.co/kosakata/outlier</a>	●
INTERNET SOURCE		
26. 0.08%	www.liputan6.com <a href="https://www.liputan6.com/feeds/read/5805424/apa-itu-hidrologis-memahami-s...">https://www.liputan6.com/feeds/read/5805424/apa-itu-hidrologis-memahami-s...</a>	●
INTERNET SOURCE		
27. 0.06%	repository.unpas.ac.id <a href="http://repository.unpas.ac.id/32140/1/7.%20BAB%20II%20Tinjauan%20Teori%2...">http://repository.unpas.ac.id/32140/1/7.%20BAB%20II%20Tinjauan%20Teori%2...</a>	●
INTERNET SOURCE		
28. 0.04%	simantu.pu.go.id <a href="https://simantu.pu.go.id/epel/edok/de937_7._Perhitungan_Hidrologi__bulak_b...">https://simantu.pu.go.id/epel/edok/de937_7._Perhitungan_Hidrologi__bulak_b...</a>	●