

# PERENCANAAN INFRASTRUKTUR HIJAU BERBASIS DRAINASE BERKELANJUTAN (SUDS) UNTUK KETAHANAN KAWASAN WISATA AIR DI DANAU SIPIN KOTA JAMBI

Anna Emiliawati<sup>1</sup>, Nita Astasya<sup>2</sup>, Nurza Purwa Abiyoga<sup>3</sup>, M. Nuklirullah<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Civil Engineering, Universitas Jambi, Jambi

e-mail: anna.emiliawati@unja.ac.id

## ABSTRAK

Kawasan wisata air perkotaan memiliki fungsi ekologis dan sosial yang penting, namun rentan terhadap degradasi hidrologis akibat peningkatan aktivitas ekonomi dan alih fungsi lahan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem infrastruktur hijau berbasis *Sustainable Drainage Systems* (SuDS) guna meningkatkan ketahanan hidrologi kawasan wisata air Danau Sipin, Kota Jambi. Pendekatan analisis meliputi perhitungan hidrologi menggunakan metode SCS–Curve Number (SCS–CN), analisis spasial dengan QGIS, serta simulasi hidrologi-hidraulik menggunakan EPA SWMM 5.2. Tiga skenario tata guna lahan dianalisis, yaitu kondisi eksisting, penerapan SuDS moderat, dan penerapan SuDS maksimal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan SuDS mampu menurunkan debit puncak antara 25–40% dan volume limpasan hingga 20–25% dibandingkan kondisi eksisting, serta memperpanjang waktu menuju puncak limpasan sebesar 1–1,3 jam. Kombinasi teknologi *rain garden*, *bioretention cell*, dan *permeable pavement* terbukti efektif dalam meningkatkan infiltrasi, memperbesar kapasitas retensi, dan menurunkan tekanan pada sistem drainase eksisting. Secara spasial, area timur dan selatan Danau Sipin merupakan zona prioritas penerapan SuDS karena memiliki nilai limpasan tertinggi. Hasil penelitian ini menegaskan bahwa penerapan konsep drainase berkelanjutan mampu meningkatkan ketahanan kawasan wisata air terhadap banjir lokal, mendukung konservasi air, serta mewujudkan tata kelola sumber daya air yang berkelanjutan di perkotaan tropis.

**Kata kunci:** infrastruktur hijau, SuDS, limpasan permukaan, Danau Sipin, drainase berkelanjutan

## 1. PENDAHULUAN

Kawasan wisata air perkotaan memiliki fungsi ganda sebagai sarana rekreasi publik dan komponen penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem hidrologi kota. Di Kota Jambi, Danau Sipin telah berkembang pesat sejak ditetapkan sebagai kawasan wisata resmi pada tahun 2017. Aktivitas ekonomi dan pariwisata yang meningkat memberikan dampak positif terhadap kesejahteraan masyarakat, namun juga menimbulkan tekanan terhadap kualitas lingkungan dan stabilitas sistem hidrologi danau. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa pencemaran limbah domestik, peningkatan sedimentasi, serta penurunan kualitas air merupakan permasalahan utama yang berpotensi menurunkan daya dukung ekologis Danau Sipin (Saputra dkk., 2022).

Selain itu, perubahan iklim yang ditandai dengan peningkatan curah hujan ekstrem dan ekspansi kawasan terbangun turut memperbesar risiko limpasan permukaan dan banjir lokal (Republika, 2023). Sistem drainase konvensional yang diterapkan di kawasan perkotaan Jambi terbukti kurang adaptif terhadap kondisi hidrometeorologis tersebut. Bertambahnya luas area kedap air mengurangi kapasitas tanah dalam menyerap air hujan, sehingga aliran permukaan meningkat secara signifikan dan membebani jaringan drainase (Mardika, dkk. 2025).

Permasalahan ini menuntut perubahan paradigma dari pendekatan drainase tradisional menuju konsep pengelolaan air hujan yang lebih alami dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang telah diakui secara internasional adalah *Sustainable Drainage Systems* (SuDS), yakni sistem pengelolaan air hujan yang meniru proses alami siklus hidrologi. SuDS mengintegrasikan berbagai elemen seperti permukaan permeabel, *rain garden*, *bioretention cell*, serta kolam retensi untuk memperlambat aliran dan meningkatkan infiltrasi. Pendekatan ini tidak hanya menekan risiko banjir, tetapi juga memperbaiki kualitas air, memperkaya biodiversitas, dan memperindah lanskap kota (Ballard et al., 2015; DEFRA, 2025).

Namun demikian, implementasi SuDS di Kota Jambi, khususnya di kawasan wisata air Danau Sipin, masih sangat terbatas. Kajian yang ada cenderung berfokus pada analisis hidrologi konvensional menggunakan model aliran satu dimensi (misalnya HEC–RAS), tanpa mempertimbangkan integrasi konsep SuDS secara menyeluruh (Hidayath dkk., 2023). Padahal, penerapan SuDS yang dirancang sesuai karakteristik tropis dan dinamika sosial-ekonomi kawasan berpotensi besar untuk meningkatkan ketahanan hidrologi dan keberlanjutan wisata air. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi konseptual dan praktis antara pendekatan *green infrastructure* dengan pengelolaan kawasan wisata air perkotaan. Kajian ini tidak hanya berorientasi pada perbaikan teknis sistem drainase, tetapi juga menekankan dimensi ekologis dan sosial-ekonomi dalam satu kerangka perencanaan yang adaptif. Secara akademik, penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu teknik sipil, khususnya dalam penerapan konsep infrastruktur hijau untuk mitigasi limpasan di wilayah tropis. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan menjadi acuan strategis bagi Pemerintah Kota Jambi dalam mengembangkan kebijakan pengelolaan kawasan wisata air yang tangguh terhadap banjir, ramah lingkungan, dan berkelanjutan secara ekonomi.

## 2. METODE PENELITIAN

### *Pengelolaan Drainase dan Permasalahan Hidrologi*

Sistem drainase perkotaan di Indonesia umumnya masih menerapkan pendekatan konvensional yang berorientasi pada percepatan pembuangan air hujan menuju saluran atau badan air terdekat. Pendekatan tersebut sering kali mengabaikan fungsi alami siklus hidrologi, seperti infiltrasi dan retensi air, sehingga meningkatkan risiko genangan dan banjir lokal (Triatmodjo, 2008).

Menurut Syahrizal, Sari, dan Dinanti (2024), keterbatasan kapasitas saluran drainase serta minimnya area resapan air menyebabkan peningkatan debit puncak dan memperbesar potensi genangan pada kawasan padat penduduk di daerah tropis. Kondisi ini diperburuk oleh pesatnya pembangunan infrastruktur dan alih fungsi lahan yang meningkatkan persentase area kedap air (*impervious area*).

Kajian lain oleh Soekma dan Mahendra (2025) juga menegaskan bahwa sebagian besar jaringan drainase di kota-kota besar Indonesia belum dirancang dengan mempertimbangkan fenomena hujan ekstrem jangka pendek (*design storm*), sehingga sistem tidak mampu beradaptasi terhadap perubahan iklim dan variabilitas intensitas hujan. Permasalahan serupa terjadi di kawasan Danau Sipin, di mana aktivitas wisata dan pertumbuhan permukiman menyebabkan peningkatan limpasan, sedimentasi, serta penurunan kualitas air dan fungsi ekologis danau. Oleh karena itu, diperlukan pergeseran paradigma pengelolaan air hujan dari sistem “buang secepatnya” menuju sistem “kelola dan serap di sumbernya”. Pendekatan tersebut diwujudkan melalui penerapan konsep infrastruktur hijau dan sistem drainase berkelanjutan (*Sustainable Drainage Systems – SuDS*) yang meniru mekanisme alami infiltrasi dan retensi air hujan di lahan.

### *Infrastruktur Hijau dan Sustainable Drainage System (SuDS)*

Konsep *green infrastructure* menekankan pentingnya pemanfaatan elemen alami seperti vegetasi, tanah, dan air dalam sistem perkotaan untuk mendukung keberlanjutan lingkungan (García-Haba et al., 2023). Pendekatan ini dikembangkan menjadi *Sustainable Drainage Systems* (SuDS) di Eropa dan *Low Impact Development* (LID) di Amerika Serikat, yang bertujuan menjaga keseimbangan antara fungsi teknis, ekologis, dan sosial sistem drainase (Monachese et al., 2025). *Sustainable Drainage Systems* (SuDS) ini meniru siklus hidrologi alami dengan mengelola air hujan di sumbernya melalui fitur seperti permukaan permeabel, ruang terbuka hijau, sistem retensi, dan detensi air. SuDS tidak hanya mengurangi risiko banjir lokal tetapi juga meningkatkan kualitas air, mendukung biodiversitas, dan memperindah fungsi ekologis kota. (Ballard, et al. 2015).

Penerapan SuDS dalam konteks tropis menghadapi tantangan seperti curah hujan ekstrem, tipe tanah kurang infiltratif, dan keterbatasan lahan. Oleh karena itu, adaptasi desain lokal sangat penting agar performa tetap optimal. Literatur internasional menunjukkan bahwa kombinasi elemen permukaan permeabel dan sarana retensi/detensi, dipadu dengan vegetasi, memberikan manfaat ganda baik dalam mitigasi banjir maupun dalam meningkatkan aspek lingkungan dan sosial. (Sagala, et al. 2022). Menurut Putri, Hidayah, dan Ma'ruf (2023), penerapan konsep SuDS di lingkungan perkotaan Indonesia dapat menurunkan debit puncak hingga 40% dan meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah lebih dari 30%. Berbagai bentuk teknologi SuDS seperti *rain garden*, *bioretention cell*, *swale*, *permeable pavement*, dan *retention pond* terbukti efektif dalam menahan limpasan sekaligus memperbaiki kualitas air. Selain manfaat hidrologis, sistem ini juga memperkuat nilai estetika dan meningkatkan kenyamanan wisatawan di kawasan wisata air (Ramadhan, 2023).

### *Teori Hubungan Hujan–Limpasan (Metode SCS–CN)*

Metode SCS (*Soil Conservation Service*) atau dikenal juga sebagai SCS Curve Number (CN) Method, dikembangkan oleh U.S. Department of Agriculture (USDA) – *Soil Conservation Service* (1972), dan merupakan salah satu metode empiris yang banyak digunakan untuk mengestimasi limpasan permukaan (*runoff*) dari suatu peristiwa hujan. Menurut Bambang Triatmodjo (2008) metode SCS sangat sesuai digunakan di daerah tropis dengan data hidrologi terbatas karena tidak memerlukan pengukuran infiltrasi secara detail, cukup dengan parameter CN (*Curve Number*) yang merepresentasikan kondisi fisik daerah tangkapan air. Metode ini digunakan untuk menganalisis hubungan antara curah hujan (P), karakteristik lahan (tata guna lahan dan kondisi tanah), serta kemampuan infiltrasi tanah dalam menghasilkan volume limpasan (Q) dalam bentuk persamaan berikut :

$$P_e = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad (1)$$

dengan :  $P_e$  = kedalaman hujan efektif (mm),  $P$  = kedalaman hujan (mm),  $S$  = retensi potensial maksimum air oleh tanah, yang sebagian besar adalah karena infiltrasi (mm). Retensi potensi maksimum mempunyai bentuk sebagai berikut :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

dengan : CN = Curve Number yang merupakan fungsi dari karakteristik DAS.

Nilai *Curve Number* (CN) berkisar antara 30 (infiltrasi tinggi) hingga 100 (kedap air), tergantung pada jenis tanah, tata guna lahan, dan kelembapan awal tanah. Menurut Mishra dan Singh (2021), metode ini sangat sesuai untuk wilayah tropis dengan keterbatasan data debit, karena hanya membutuhkan data curah hujan dan peta penggunaan

lahan. Metode SCS–CN menjadi dasar penting dalam perhitungan hidrologi penelitian ini untuk menentukan volume limpasan dan mengevaluasi efektivitas penerapan SuDS pada kawasan wisata air Danau Sipin

#### ***Pemodelan Hidrologi dan Hidraulika untuk Analisis Sistem Drainase***

Untuk merancang dan mengevaluasi sistem drainase, pemodelan hidrologi merupakan metode yang sangat penting. Program HEC-RAS, khususnya versi terbaru dengan kemampuan 1D dan 2D, banyak digunakan untuk simulasi aliran dan genangan banjir di kawasan perkotaan. Model ini dapat menghasilkan visualisasi distribusi debit dan elevasi muka air yang memberikan gambaran akurat terkait titik kritis banjir dan kapasitas jaringan drainase. Studi di Danau Sipin menggunakan HEC-RAS untuk mengidentifikasi keterbatasan sistem ekisting serta mendukung perancangan solusi infrastruktur hijau. Studi “Kajian *Flood Modelling* Menggunakan HEC-RAS 1D dan Validasi Data Tinggi Banjir pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Putri dan Danau Sipin, Kota Jambi” menunjukkan debit banjir pada beberapa kala ulang (2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 tahun), yang membantu mengungkap potensi genangan di sekitar Danau Sipin (Mardika, dkk. 2025).

Sedangkan EPA SWMM (*Storm Water Management Model*) digunakan untuk rancangan sistem drainase perkotaan termasuk jaringan drainase, retensi/detensi, infiltrasi, dan simulasi limpasan permukaan dalam waktu singkat dan rodasi tinggi. Sangat cocok untuk mengevaluasi performa SuDS skala perkotaan atau kawasan wisata. Misalnya studi “*Performance Evaluation of the Urban Drainage Network Structure Using the SWMM Model*” di Sumatra Barat menggunakan model ini. (Nurhamidah, et al. 2023). Selain itu, penelitian-penelitian lokal lain di Kota Jambi seperti “Analisis Daya Dukung Air dan Dampak Penggunaan Lahan terhadap Indeks Proteksi di Kawasan Danau Sipin” menekankan bagaimana alih guna lahan dan berkurangnya ruang terbuka hijau (RTH) memengaruhi kapasitas resapan dan daya dukung hidrologis (Adifa, 2024).

#### ***Integrasi SuDS dalam Perencanaan Kawasan Wisata Air Perkotaan***

Penerapan SuDS berperan penting dalam membangun ketahanan hidrologi (*hydrological resilience*) dan pariwisata berkelanjutan. Menurut Monachese et al. (2025), integrasi SuDS dalam perencanaan kota mampu meningkatkan adaptivitas infrastruktur terhadap intensitas hujan ekstrem serta memperkuat fungsi ekologis ruang terbuka. Kawasan wisata air seperti Danau Sipin memerlukan pendekatan pengelolaan drainase yang tidak hanya fokus pada aspek teknis tapi juga mempertimbangkan keberlanjutan ekologi dan sosial-ekonomi..

Implementasi konsep ini di Indonesia telah dimulai di beberapa kota, termasuk Danau Sipin, Kota Jambi, melalui program *Integrated Water and Wastewater Management* yang diinisiasi oleh *Resilient Cities Network* (2023). Program ini menekankan penerapan teknologi *rain garden*, *permeable pavement*, dan *retention pond* untuk mengurangi limpasan, memperbaiki kualitas air, serta memperindah lanskap kawasan wisata air. Pendekatan tersebut juga mendukung pengembangan *eco-tourism* yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan.

Integrasi SuDS dalam perencanaan infrastruktur hijau di kawasan ini menjadi sebuah solusi holistik yang mampu meningkatkan ketahanan kawasan terhadap banjir sekaligus menjaga kualitas lingkungan dan mendukung pengembangan pariwisata berkelanjutan. Pendekatan ini menggabungkan desain drainase, konservasi lingkungan, dan pengembangan ekonomi lokal dalam satu kerangka adaptif dan berdaya guna, sebagai respons atas tantangan regional tropis dengan curah hujan tinggi. (Saputra dkk., 2022). Teori pengelolaan air yang berkelanjutan sekaligus pendukung ketahanan bencana dan pariwisata menyarankan integrasi antara Pemodelan hidrologi, desain SuDS yang sesuai dengan karakteristik lokal, dan pertimbangan tata ruang wisata dan sosial-ekonomi. Penelitian di Danau Sipin sudah memiliki bagian pemodelan banjir (HEC-RAS) dan penggunaan lahan, serta analisis dampak ekonomi-sosial; tetapi belum ada yang merancang model SuDS yang menggabungkan ketiga aspek tersebut secara holistic.

### **3. METODOLOGI PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan hidrologi terapan dan perencanaan infrastruktur hijau dengan mengintegrasikan metode analisis hidrologi kuantitatif, pemodelan spasial berbasis QGIS, simulasi hidraulik, dan analisis multi-kriteria. Pendekatan ini dipilih untuk menilai efektivitas penerapan *Sustainable Drainage System* (SuDS) dalam mengurangi limpasan permukaan dan mendukung ketahanan kawasan wisata air di Danau Sipin, Kota Jambi. Secara umum, penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahap utama, yaitu :

- a. Pengumpulan dan pengolahan data,
- b. Analisis hidrologi menggunakan metode *Soil Conservation Service - Curve Number* (SCS–CN)
- c. Analisis spasial daerah tangkapan air menggunakan QGIS
- d. Simulasi efektivitas SuDS dengan model SWMM 5.2
- e. Analisis multi-kriteria menggunakan pendekatan *Analytic Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan prioritas penerapan infrastruktur hijau yang paling relevan dengan kondisi kawasan.

#### ***Lokasi Penelitian***

Penelitian ini dilaksanakan di kawasan wisata air Danau Sipin, yang terletak di Kecamatan Telanaipura, Kota Jambi, Provinsi Jambi, dengan koordinat geografis sekitar 1°35'–1°36' Lintang Selatan dan 103°35'–103°37' Bujur

Timur. Kawasan ini merupakan danau alami yang terhubung langsung dengan Sungai Batanghari, berfungsi sebagai tampungan air, area rekreasi, serta sumber mata pencaharian masyarakat pesisir danau.

Secara hidrologis, Danau Sipin berperan penting dalam sistem drainase perkotaan Kota Jambi bagian barat. Namun, meningkatnya aktivitas permukiman, pembangunan fasilitas wisata, dan berkurangnya ruang terbuka hijau di sekitar danau menyebabkan peningkatan luas area kedap air (*impervious area*). Dampaknya terlihat dari frekuensi genangan yang meningkat, khususnya di bagian tenggara dan barat danau, terutama saat puncak musim hujan (Desember–Maret). Gambar 1 menunjukkan peta lokasi penelitian berdasarkan citra satelit *Google Earth* (2024) yang memperlihatkan batas danau, sebaran permukiman padat, serta konektivitasnya terhadap Sungai Batanghari di sisi utara.



**Gambar 1.** Lokasi Penelitian

### ***Pengumpulan Data***

Pengumpulan data dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu data primer dan data sekunder, untuk menunjang analisis hidrologi, spasial, dan simulasi penerapan SuDS.

#### **1. Data Primer**

Data primer diperoleh melalui survei lapangan di kawasan Danau Sipin yang mencakup :

- Inventarisasi kondisi fisik drainase eksisting, meliputi dimensi saluran, arah aliran, kondisi outlet, dan titik-genangan.
- Observasi penggunaan lahan dan area resapan menggunakan pengamatan langsung dan drone mapping sederhana.
- Pengukuran topografi lokal dan elevasi referensi dengan GPS RTK untuk validasi terhadap peta DEM.
- Wawancara semi-terstruktur dengan masyarakat, pengelola wisata, dan instansi terkait (Dinas PUPR, Dinas Pariwisata, dan BPBD Kota Jambi) untuk memperoleh data empiris mengenai frekuensi banjir, debit saluran, serta persepsi terhadap infrastruktur hijau.

#### **2. Data Sekunder**

Data sekunder diperoleh dari lembaga teknis dan instansi pemerintah, yang meliputi:

- Data curah hujan harian dan bulanan (periode 2010 – 2024) dari *BMKG Stasiun Sultan Thaha Jambi*.
- Peta penggunaan lahan (LULC) dari *RTRW Kota Jambi 2024* dan *citra Sentinel-2* (resolusi 10 m).
- Peta jenis tanah dan kelompok hidrologi tanah (HSG) dari *Dinas PUPR Provinsi Jambi* serta *FAO Soil Database*.
- Model Elevasi Digital (DEM) dari *SRTM 30 m* dan *ALOS PALSAR 12.5 m* untuk analisis kontur dan arah aliran.
- Data genangan dan riwayat banjir dari *BPBD Kota Jambi (2020–2024)*.
- Data wisata dan rencana pengembangan kawasan dari *Dinas Pariwisata Kota Jambi*.

### ***Analisis Data***

#### **1. Analisis Hidrologi**

Pemilihan metode SCS–CN didasarkan pada pertimbangan keterbatasan data lapangan yang umum terjadi di wilayah tropis, di mana data debit sungai dan curah hujan intensitas waktu-jam sering tidak tersedia secara lengkap. Metode ini sesuai digunakan karena hanya membutuhkan parameter curah hujan total, karakteristik tanah, dan tata guna lahan untuk memperkirakan volume limpasan (Triatmodjo, 2008). Periode ulang curah hujan yang digunakan adalah 5 tahun dan 10 tahun, dihitung dengan analisis distribusi Gumbel dan Log Pearson III, sesuai pedoman *Hidrologi Terapan* (Triatmodjo, 2008). Hasil limpasan (Q) dikonversi menjadi volume limpasan (V) yang kemudian digunakan sebagai dasar perencanaan kapasitas tampungan SuDS.

#### **2. Analisis Spasial dan Delineasi DAS Mikro**

Analisis spasial dilakukan menggunakan QGIS 3.34 untuk menentukan daerah tangkapan air (DTA) Danau Sipin, pola aliran permukaan, dan zona prioritas intervensi SuDS. Peta DEM digunakan untuk menghasilkan *Flow Direction*, *Flow Accumulation*, dan delineasi batas sub-DAS lokal. Data LULC dan CN diintegrasikan untuk membuat peta potensi limpasan. Peta ini menjadi dasar dalam menentukan lokasi optimal penerapan *rain garden*, *permeable pavement*, atau *retention pond*.

### 3. Simulasi Penerapan SuDS (SWMM 5.2)

Hasil perhitungan SCS–CN kemudian dijadikan masukan (input) dalam simulasi hidrologi-hidraulik menggunakan perangkat lunak *Storm Water Management Model* (SWMM) versi 5.2 untuk mengevaluasi perubahan debit puncak pada beberapa skenario penerapan SuDS. Perancangan sistem SuDS melibatkan pemilihan kombinasi elemen infrastruktur hijau. Simulasi implementasi SuDS diintegrasikan dalam model EPA SWMM untuk mengevaluasi efektivitas pengurangan debit limpasan dan peningkatan infiltrasi air. Analisis komparatif hasil simulasi sebelum dan sesudah penerapan SuDS memberikan dasar untuk rekomendasi teknis dalam pengelolaan drainase berkelanjutan di kawasan Danau Sipin. Tiga skenario dibandingkan :

- Skenario 1 (*Eksisting*): Kondisi drainase konvensional tanpa SuDS.
- Skenario 2 (Moderat): Penerapan SuDS pada  $\pm 25\%$  area kedap air (kombinasi *rain garden* dan *permeable pavement*).
- Skenario 3 (Maksimal): Penerapan SuDS pada  $\pm 50\%$  area kedap air (penambahan *bioretention cell* dan *retention pond*).

Parameter output yang dianalisis meliputi debit puncak ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), volume limpasan total ( $\text{m}^3$ ), dan efisiensi reduksi debit (%). Simulasi ini digunakan untuk mengukur tingkat efektivitas dan ketahanan hidrologi kawasan wisata terhadap curah hujan ekstrem. Efisiensi penerapan SuDS dihitung dengan :

$$E = \frac{Q_{\text{eksisting}} - Q_{\text{SuDS}}}{Q_{\text{eksisting}}} \times 100\% \quad (3)$$

Suatu sistem dinilai efektif apabila mampu menurunkan debit limpasan  $>30\%$  dan mengurangi luas genangan lebih dari  $25\%$  dibanding kondisi eksisting (Monachese, 2024; Putri et al., 2023).

### 4. Evaluasi Efektivitas dan Rekomendasi Desain

Tahapan ini menilai efektivitas penerapan sistem drainase berkelanjutan (SuDS) dalam mengurangi debit limpasan permukaan serta menentukan desain infrastruktur hijau yang paling layak diterapkan di kawasan wisata air Danau Sipin, Kota Jambi. Evaluasi dilakukan melalui pendekatan kuantitatif berbasis hasil simulasi hidrologi-hidraulik dan analisis spasial lokasi prioritas.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Analisis Hujan Rencana*

Analisis hujan rencana dilakukan untuk menentukan besarnya curah hujan rencana  $P_T$  pada berbagai periode ulang (T) yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan limpasan permukaan dengan metode SCS–CN. Analisis dimulai dengan uji konsistensi dan homogenitas data, yang menunjukkan bahwa data curah hujan tahunan bersifat stabil dan tidak terdapat tren ekstrem yang signifikan. Selanjutnya dilakukan analisis frekuensi hujan menggunakan dua jenis distribusi probabilitas, yaitu *Distribusi Gumbel (Extreme Value Type I)* dan *Distribusi Log-Pearson III*, yang merupakan metode umum untuk memperkirakan nilai hujan ekstrem di Indonesia (Triatmodjo, 2008). *Distribusi Gumbel* digunakan karena kemampuannya menggambarkan nilai ekstrem maksimum dari data tahunan, sedangkan *Log-Pearson III* dipilih sebagai pembanding untuk memverifikasi hasil dengan mempertimbangkan asimetri (*skewness*) data. Parameter statistik seperti nilai rata-rata, simpangan baku, dan koefisien kemencengan ( $C_s$ ) dihitung untuk masing-masing distribusi.

**Tabel 1.** Hasil analisis hujan rencana dengan distribusi *Gumbel* dan *Log Pearson III*

No	Periode Ulang (Tahun)	Probabilitas Kejadian (%)	Gumbel (mm)	Log-Pearson III (mm)	Selisih (%)
1	2	50.0	99.90	101.20	+1.3
2	5	20.0	123.45	125.16	+1.4
3	10	10.0	138.85	139.42	+0.4
4	25	4.0	141.00	139.38	-1.1
5	50	2.0	173.12	168.38	-2.7

Dari hasil *fitting*, distribusi *Gumbel* memberikan parameter lokasi ( $\mu$ ) sebesar 92,39 mm dan skala ( $\beta$ ) sebesar 20,60 mm, yang menunjukkan penyebaran data hujan maksimum tergolong sedang. Sedangkan parameter distribusi *Log-Pearson III* dihitung menggunakan pendekatan logaritmik dengan nilai rata-rata  $\log = 2,01$ , simpangan baku  $\log (S) = 0,09$  dan faktor frekuensi *Pearson* ( $K_T$ ) sesuai nilai periode ulang. Hasil kedua metode relatif kecil ( $<3\%$ ), menunjukkan bahwa data hujan maksimum Kota Jambi bersifat stabil dan simetris, sehingga kedua distribusi dapat digunakan dengan baik. *Distribusi Gumbel* dipilih sebagai distribusi utama karena memberikan kesesuaian yang lebih baik terhadap pola data dan memberikan hasil yang konservatif untuk desain sistem drainase berkelanjutan. Nilai  $P_T$  ini kemudian digunakan sebagai masukan dalam analisis limpasan permukaan menggunakan metode SCS–CN, sehingga setiap skenario tata guna lahan dapat diuji respons hidrologinya terhadap hujan ekstrem dengan peluang kejadian yang berbeda.

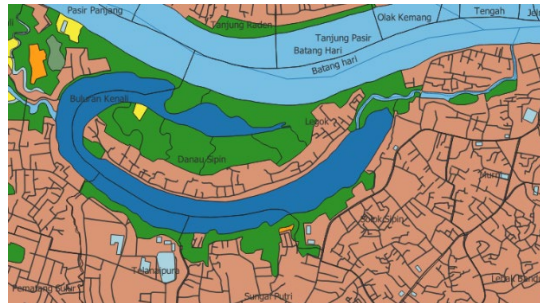
**Tabel 2.** Hasil perhitungan nilai hujan rencana ( $P_T$ ) distribusi *Gumbel*

Periode Ulang (Tahun)	Hujan Rencana ( $P_T$ ) (mm)
2	99.9
5	123.5
10	138.9
25	141.0
50	173.1

Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan periode ulang dari 2 ke 50 tahun meningkatkan hujan rencana sebesar sekitar 73%, yang menggambarkan bahwa karakteristik curah hujan ekstrem di daerah tropis dengan fluktuasi tinggi. Nilai ini penting sebagai dasar penentuan skenario desain sistem drainase berkelanjutan (*Sustainable Drainage System* (SuDS)), di mana desain infrastruktur untuk drainase lokal biasanya mempertimbangkan  $T = 2-5$  tahun, sedangkan sistem retensi dan pengendalian banjir dirancang untuk  $T = 10-50$  tahun.

#### ***Analisis Limpasan menggunakan Metode SCS – CN***

Setelah diperoleh nilai curah hujan rencana  $P_T$  dari hasil analisis frekuensi menggunakan distribusi *Gumbel* dan *Log-Pearson III*, tahap selanjutnya adalah menghitung besarnya limpasan permukaan yang terjadi di kawasan penelitian.

**Gambar 1.** Peta Sebaran Penutup Lahan dan Batas Daerah Tangkapan Danau Sipin, Kota Jambi

Nilai CN ditentukan berdasarkan data menunjukkan bahwa daerah tangkapan Danau Sipin didominasi oleh tanah aluvial ( $\pm 60\%$ ) dan tanah gambut ( $\pm 40\%$ ), dengan kombinasi penggunaan lahan berupa permukiman padat, lahan terbuka hijau, pertanian campuran, dan badan air. Gambar 1 menunjukkan batas daerah tangkapan air (*catchment*) Danau Sipin dan sekitarnya, termasuk hubungan hidrologis dengan Sungai Batanghari. Warna biru menandakan badan air utama (Danau Sipin dan Batanghari), warna hijau menunjukkan area vegetasi dan ruang terbuka hijau, sedangkan warna coklat menggambarkan kawasan permukiman padat dan lahan terbangun. Informasi spasial ini digunakan sebagai dasar dalam analisis nilai *Curve Number* (CN) dan penentuan subcatchment pada model simulasi hidrologi EPA SWMM.

Berdasarkan klasifikasi tersebut, diperoleh nilai CN rata-rata tertimbang sebesar 90,62 untuk kondisi eksisting, 85,12 untuk skenario mitigasi moderat (peningkatan area hijau  $\pm 25\%$ ), dan 81,82 untuk skenario mitigasi maksimal (peningkatan area hijau  $\pm 40\%$  dan penerapan *Sustainable Drainage Systems* (SuDS)). Luas daerah tangkapan air Danau Sipin yang digunakan dalam perhitungan adalah 11.749.320 m<sup>2</sup> ( $\approx 1.174,93$  ha). Hasil perhitungan menggunakan metode *Soil Conservation Service – Curve Number* (SCS–CN) menunjukkan bahwa karakteristik hidrologi kawasan wisata air Danau Sipin termasuk dalam kategori tinggi-limpasan (*High Runoff Response*). Nilai *Curve Number* (CN) total yang diperoleh untuk kondisi eksisting mencapai 90,62, yang mengindikasikan dominasi area kedap air dan daya infiltrasi tanah yang rendah akibat kombinasi permukiman padat, fasilitas wisata, serta keberadaan tanah alluvial dan gambut di sekitar danau. Hasil perhitungan pada table 3 menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting (CN = 90,62), limpasan permukaan yang terjadi meningkat secara signifikan terhadap periode ulang hujan. Pada  $T = 2$  tahun, limpasan tercatat sebesar 74,22 mm atau sekitar 871.480 m<sup>3</sup>, sedangkan pada  $T = 50$  tahun, limpasan meningkat menjadi 145,00 mm atau sekitar 1.703.218 m<sup>3</sup>. Sementara itu, pada skenario penerapan infrastruktur hijau moderat (CN = 85,12), volume limpasan menurun menjadi sekitar 1,48 juta m<sup>3</sup> untuk  $T = 50$  tahun, dan pada skenario maksimal (CN = 81,82), menurun hingga 1,32 juta m<sup>3</sup> pada periode ulang yang sama.

**Tabel 3.** Hasil perhitungan limpasan dengan Metode SCS – CN

Periode Ulang (Tahun)	Hujan Rencana (mm)	CN Baseline (90,62) → Q (mm)	CN Moderat (85,12) → Q (mm)	CN Maksimal (81,82) → Q (mm)
2	99.9	74.22	61.38	54.96
5	123.5	96.72	79.85	72.42

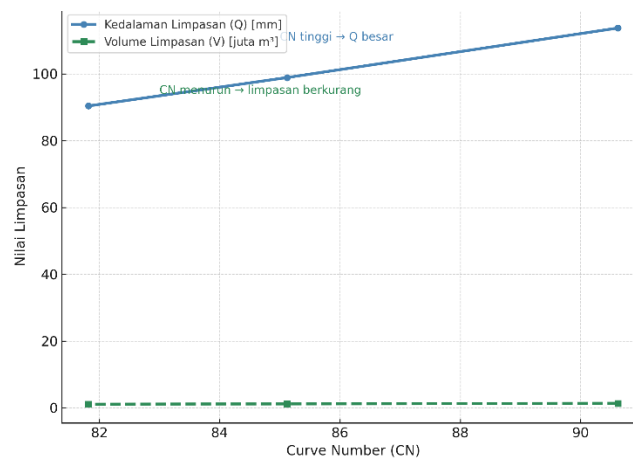
10	138.9	111.67	92.54	83.64
25	141.0	113.72	93.89	84.67
50	173.1	145.00	122.25	110.52

Selanjutnya dilakukan perhitungan retensi potensial (S), kehilangan awal ( $I_a$ ), dan kedalaman limpasan (Q) untuk tiga skenario tata guna lahan yaitu kondisi eksisting, penerapan infrastruktur hijau moderat, dan penerapan infrastruktur hijau maksimal pada nilai curah hujan rencana di periode kala ulang 25 tahun. Periode ulang 25 tahun dipilih sebagai dasar utama perhitungan limpasan karena mewakili kondisi rancangan drainase kawasan wisata air yang memerlukan tingkat perlindungan hidrologis tinggi, namun masih efisien secara teknis dan ekonomi. Sementara itu, periode 10 tahun digunakan untuk evaluasi kondisi konservatif, dan 50 tahun digunakan sebagai skenario ekstrem untuk menguji ketahanan sistem drainase berkelanjutan (SuDS) terhadap hujan intensitas tinggi. Hasil perhitungan besarnya retensi potensial (S), kehilangan awal ( $I_a$ ), dan kedalaman limpasan (Q) untuk tiga skenario tata guna lahan disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut, terlihat bahwa peningkatan luas area hijau dan permukaan infiltratif secara signifikan menurunkan kedalaman limpasan serta meningkatkan kapasitas retensi alami kawasan. Hubungan antara *Curve Number* (CN), kedalaman limpasan (Q), dan volume limpasan (V) ditampilkan pada Gambar 2, yang memperlihatkan bahwa penurunan nilai CN dari 90 menjadi 82 dapat menurunkan limpasan permukaan hingga lebih dari 20%. Grafik ini sekaligus mengilustrasikan efektivitas penerapan infrastruktur hijau (SuDS) dalam mereduksi aliran permukaan pada kawasan wisata air Danau Sipin.

**Tabel 4.** Hasil perhitungan besarnya *retensi potensial* untuk tiga skenario tata guna lahan

Skenario	CN	S (mm)	$I_a$ (mm)	Q (mm)	Runoff ratio (%)	Volume Limpasan (m <sup>3</sup> )
Eksisting	90.62	26.29	5.26	113.72	80.65	1.336.090,53
Moderat (SuDS 25%)	85.12	44.40	8.88	98.89	70.13	1.161.845,92
Maksimal (SuDS 50%)	81.82	56.44	11.29	90.39	64.10	1.061.972,34

Hasil perhitungan dan visualisasi hubungan antara *Curve Number* (CN), kedalaman limpasan (Q), serta volume limpasan (V) menunjukkan keterkaitan yang kuat antara perubahan tutupan lahan, karakteristik tanah, dan respon hidrologi kawasan Danau Sipin. Seiring dengan penurunan nilai CN akibat peningkatan area hijau dan penerapan infrastruktur infiltratif, nilai Q dan V menunjukkan penurunan yang signifikan. Pada kondisi eksisting (CN = 90,62), dengan curah hujan rencana sebesar 141 mm (periode ulang 25 tahun), kedalaman limpasan mencapai 113,72 mm dengan total volume limpasan sekitar 1,34 juta m<sup>3</sup>. Nilai ini menunjukkan bahwa lebih dari 80% curah hujan menjadi aliran permukaan, menandakan rendahnya kemampuan infiltrasi akibat dominasi area permukiman padat dan tanah aluvial jenuh air di sekitar danau. Skenario moderat (CN = 85,12), yang merepresentasikan penerapan sebagian teknologi *Sustainable Drainage System* (SuDS) seperti *rain garden* dan *permeable pavement*, nilai Q turun menjadi 98,89 mm atau sekitar 1,16 juta m<sup>3</sup>. Penurunan sebesar 174.000 m<sup>3</sup> ( $\approx 13\%$ ) ini menunjukkan bahwa peningkatan area infiltratif mampu mengalihkan sebagian limpasan menjadi retensi dan infiltrasi lokal. Sedangkan pada skenario maksimal (CN = 81,82), di mana penerapan SuDS dilakukan lebih luas termasuk *bioretention cell* dan *retention pond kecil*, volume limpasan menurun lebih lanjut menjadi 1,06 juta m<sup>3</sup>, atau berkurang sekitar 274.000 m<sup>3</sup> ( $\approx 20,5\%$ ) dibandingkan kondisi eksisting.



Gambar 2. Grafik Hubungan Curve Number, Kedalaman Limpasan dan Volume Limpasan



### Simulasi Penerapan SuDS

Berdasarkan hasil analisis limpasan dengan metode SCS–CN, dilakukan pemodelan lanjutan menggunakan EPA SWMM 5.2 untuk mensimulasikan respon hidrologi *subcatchment* Danau Sipin terhadap hujan rencana berbagai periode ulang. Tujuan utama simulasi ini adalah mengevaluasi perubahan debit puncak dan volume limpasan setelah penerapan sistem *Sustainable Drainage System* (SuDS) serta menentukan kapasitas tampungan optimal yang dibutuhkan. Dari hasil perhitungan, volume limpasan yang perlu dikelola untuk mencapai target pengurangan 20% dari kondisi eksisting diperkirakan sebesar  $\pm 270.000 \text{ m}^3$ , yang menjadi dasar penentuan kapasitas total sistem SuDS. Rencana sistem drainase berkelanjutan dirancang secara *multi-level*, meliputi *source control* (pengendalian di sumber), *site control* (pengaturan kawasan), dan *regional control* (penampungan akhir). Pembagian tanggung jawab pengendalian pada tiap level memungkinkan optimasi kapasitas tampungan tanpa memerlukan lahan yang luas. Dengan asumsi penanganan 50% dari total pengurangan limpasan pada skenario moderat ( $\pm 87.000 \text{ m}^3$ ), pembagian kapasitas antar komponen SuDS disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Rencana kapasitas dan luas efektif infrastruktur SuDS

Jenis Infrastruktur Hijau	Kedalaman Efektif (m)	Volume ( $\text{m}^3$ )	Luas Efektif ( $\text{m}^2$ )	Perkiraan Lokasi Penerapan
<i>Rain Garden</i>	0.30	17,424	58,080	Jalur pedestrian & taman wisata
<i>Bioretention Cell</i>	0.60	43,561	72,600	Area parkir & plaza publik
<i>Permeable Pavement</i>	0.12	26,136	217,800	Jalan akses utama & area parkir terbuka
Total	—	87,122	348,480	—

Hasil delineasi dan pengamatan pola drainase permukaan, wilayah tangkapan dibagi menjadi lima *subcatchment* utama (SC1–SC5) yang merepresentasikan variasi penggunaan lahan dan arah aliran. Pembagian ini bertujuan untuk memperoleh hasil simulasi yang representatif terhadap kondisi topografi dan hidrologi aktual kawasan. Setiap *subcatchment* memiliki karakteristik yang berbeda, dengan nilai *Curve Number* (CN) antara 82–91 dan kemiringan lereng 0,7–1,0%. Parameter input utama dalam pemodelan hidrologi menggunakan EPA SWMM 5.2 mencakup luas area tangkapan, nilai *Curve Number* (CN), kemiringan lereng, dan proporsi area kedap air (% impervious) untuk masing-masing *subcatchment*. Penentuan parameter dilakukan berdasarkan hasil interpretasi peta penutup lahan, topografi, serta kondisi tanah dari data RTRW Kota Jambi Tahun 2024. Nilai *Curve Number* ditetapkan berdasarkan kombinasi penggunaan lahan dan jenis tanah dominan (alluvial dan gambut) dengan kelompok hidrologi C–D, sedangkan persentase area kedap air ditentukan melalui digitasi spasial pada kawasan permukiman padat, area jalan, dan fasilitas publik. Rincian parameter yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Parameter input Model SWMM di Kawasan Danau Sipin

Subcatchment	Luas Area ( $\text{m}^2$ )	Luas (ha)	% Impervious	CN	Kemiringan Lereng (%)	Jenis Lahan Dominan
SC1 (Timur)	2.937.330	293.73	60	91	1.0	Permukiman padat & jalan
SC2 (Selatan)	2.937.330	293.73	55	90	1.0	Permukiman campuran & RTH
SC3 (Barat)	2.349.864	234.99	40	85	0.8	Vegetasi dan pertanian
SC4 (Utara)	2.349.864	234.99	45	87	0.9	Pertanian & lahan terbuka
SC5 (Tepi dan Pulau Tengah)	1.174.932	117.49	30	82	0.7	Area semi-terbuka & tepi danau
Total	11.749.320	1.174,93	—	—	—	—

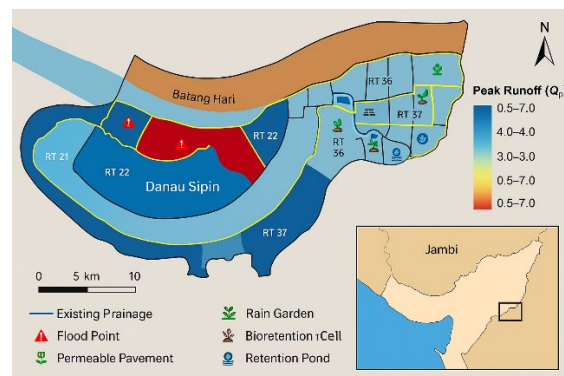
Hasil simulasi pada tabel 7 menunjukkan bahwa penerapan *Sustainable Drainage System* (SuDS) memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan limpasan permukaan. Pada kondisi eksisting, debit puncak mencapai  $39,86 \text{ m}^3/\text{s}$  untuk hujan rencana 25 tahun, dengan waktu menuju puncak 3,5 jam. Setelah penerapan *SuDS* moderat, debit puncak menurun menjadi  $29,62 \text{ m}^3/\text{s}$  (reduksi 25,7%), sementara skenario maksimal mampu menurunkan debit puncak hingga  $23,12 \text{ m}^3/\text{s}$  (reduksi 42%). Peningkatan waktu menuju puncak dari 3,5 jam menjadi 4,8 jam menunjukkan peningkatan kapasitas retensi alami dan keterlambatan aliran permukaan akibat meningkatnya infiltrasi. Secara hidrologis, hasil ini memperlihatkan bahwa penerapan *rain garden*, *bioretention*, dan *permeable pavement* efektif memperbesar kehilangan awal ( $I_a$ ) dan memperpanjang waktu konsentrasi (*time of concentration*), sehingga mengurangi tekanan hidraulis pada jaringan drainase eksisting.



**Tabel 7.** Hasil simulasi EPA SWMM pada berbagai scenario dan periode ulang

Periode Ulang (Tahun)	Skenario	Volume Limpasan (m <sup>3</sup> )	Debit Puncak Q <sub>p</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Waktu Menuju Puncak (jam)	Reduksi Volume (%)	Reduksi Q <sub>p</sub> (%)
10	Eksisting	1.309.442	45,58	3,0	—	—
10	Moderat	1.139.215	33,05	3,6	13,0	27,5
10	Maksimal	1.041.004	25,28	4,3	20,5	44,6
25	Eksisting	1.336.091	39,86	3,5	—	—
25	Moderat	1.162.500	29,62	4,1	13,0	25,7
25	Maksimal	1.061.972	23,12	4,8	20,5	42,0
50	Eksisting	1.703.218	44,47	4,0	—	—
50	Moderat	1.480.797	33,62	4,6	13,0	24,4
50	Maksimal	1.353.056	26,65	5,3	20,5	40,1

Peta hasil simulasi pada Gambar 3 menunjukkan sebaran intensitas limpasan pada masing-masing *subcatchment*. Warna merah menunjukkan area dengan limpasan tertinggi yang terkonsentrasi di sisi timur dan selatan danau, terutama pada permukiman padat di RT 21–23 dan RT 36–37. Sementara itu, warna biru hingga hijau menunjukkan area dengan potensi limpasan rendah yang didominasi oleh ruang terbuka hijau dan vegetasi di sisi barat dan utara danau. Berdasarkan distribusi tersebut, penerapan *SuDS* difokuskan pada area berwarna merah-oranye sebagai titik prioritas pengendalian.



Gambar 3. Grafik Hubungan Curve Number, Kedalaman Limpasan dan Volume Limpasan

Rencana intervensi meliputi pemasangan *rain garden* di tepi jalan wisata, *permeable pavement* di area parkir publik, *bioretention cell* di lahan kosong barat danau, serta pembangunan *retention pond* kecil di outlet timur laut yang terhubung ke Sungai Batanghari.

#### Evaluasi Efektivitas Penerapan Infrastruktur Hijau (*SuDS*)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan *Sustainable Drainage System* (*SuDS*) memberikan dampak nyata terhadap penurunan debit puncak dan volume limpasan di kawasan Danau Sipin. Dibandingkan kondisi eksisting, skenario moderat menurunkan debit puncak sekitar 25–27%, sedangkan skenario maksimal mencapai hingga 40%, dengan peningkatan waktu menuju puncak sebesar 1–1,3 jam. Penerapan *rain garden*, *bioretention*, dan *permeable pavement* meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah serta memperbesar retensi awal, sehingga aliran permukaan tertahan lebih lama sebelum mencapai saluran utama. Dampak kumulatifnya adalah berkurangnya beban sistem drainase dan stabilisasi muka air danau. Secara hidrologis, hasil ini membuktikan bahwa sistem *SuDS* efektif dalam mengendalikan limpasan, meningkatkan infiltrasi lokal, dan memperkuat ketahanan kawasan wisata air terhadap banjir genangan ekstrem.

## 5. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *Sustainable Drainage System* (*SuDS*) di kawasan Danau Sipin, Kota Jambi, efektif dalam mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan kapasitas retensi alami sistem drainase perkotaan. Analisis menggunakan metode *SCS–Curve Number* (*SCS–CN*) dan simulasi EPA SWMM 5.2 menunjukkan bahwa penerapan infrastruktur hijau mampu menurunkan debit puncak hingga 40% dan volume limpasan sekitar 20% dibandingkan kondisi eksisting, disertai peningkatan waktu menuju puncak limpasan sebesar 1–1,3 jam. Kombinasi *rain garden*, *bioretention cell*, *permeable pavement*, dan *retention pond* terbukti paling efektif dalam memperlambat aliran dan menambah kapasitas infiltrasi. Secara spasial, area timur dan selatan danau merupakan zona prioritas penerapan *SuDS* karena tingkat limpasan tertinggi dan kepadatan bangunan yang tinggi. Dari perspektif perencanaan, pendekatan drainase berkelanjutan ini mendukung upaya adaptasi terhadap perubahan

iklim, memperkuat ketahanan hidrologis kawasan wisata air, dan sejalan dengan kebijakan tata ruang Kota Jambi menuju pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan dan resilien terhadap bencana hidrometeorologis.

## DAFTAR PUSTAKA DAN PENULISAN PUSTAKA

- Adifa, F., Ermadani, dan Zuhdi, M. 2024. Analisis Daya Dukung Airdan Dampak Penggunaan Lahan terhadap Indeks Proteksi di Kawasan Danau Sipin. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 7 (1) : 76 – 88.
- Ballard, B.W., Wilson, S., Clarke, H.U., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., and Kellagher, R. 2015. *CIRIA C753 The SuDS Manual*. Construction Industry Research and Information Association. London
- Depratment for Environment, Food & Rural Affairs. 2025. *Guidance National Standars for Sustainable Drainage System (SuDS)*. UK Government. London
- García-Haba, E., Andrés-Doménech, I., Perales-Momparler, S., and Marco, J. B. 2023. *The Role of Different Sustainable Urban Drainage Systems (SuDS) As Nature-Based Solutions : A Review*. *Journal of Cleaner Production*, 411, 137190.
- Hidayat, D., Darsono, S., and Farid, M. 2023. *Evaluation of Infiltration Modeling in the Cisadane Watershed in Indonesia : Existing and New Approach Equation*. *Water*, 15 4149. <https://doi.org/10.3390/w15234149>
- Hidayath, T., Azmarwan., dan Zulfiati, R. 2023. *Simulasi Banjir Sungai Putri Danau Sipin Kota Jambi*. *Jurnal Talenta Sipil*, 6 (1) : 171 – 185.
- Mardika, M., Sihombing, T., dan Aritonang, N. 2025. *Kajian Flood Modelling Menggunakan HEC-RAS 1D dan Validasi Data Tinggi Banjir pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Putri dan Danau Sipin Kota Jambi*. *Dinamika Teknik Sipil*, 18 (1) : 1 – 10.
- Mishra, S. K., and Singh, V. P. 2021. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht.
- Monachese, A. P., Gómez-Villarino, M. T., López-Santiago, J., Sanz, E., Almeida-Ñauñay, A. F., and Zubelzu, S. 2025. *Challenges and innovations in urban drainage systems: Sustainable Drainage Systems focus*. *Water*, 17(1), 76.
- Nurhamidah, Junaidi, A., and Yogyantoro, A. 2023. *Performance Evaluation of the Urban Drainage Network Structure Using the SWMM Model*. *International Journal on Advance Science Engineering Information Technology*, 13 (2) : 462 – 468.
- USDA-SCS. 1972. *National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
- Putri, F. K., Hidayah, E., and Ma'ruf, F. 2023. *Enhancing Stormwater Management With Low Impact Development (LID): A Review Of The Rain Barrel, Bioretention, And Permeable Pavement Applicability In Indonesia*. *Water Science & Technology*, 87 (9), 2345–2362.
- Ramadhan, G., Sukhragcha, A., and Sarkar, T., 2023. *Evaluation of Visitor Responses To Lake Sipin Tourism Services*. *Journal Evaluation in Education (JEE)*, 4 (4) : 175 – 182.
- Republika. 2023. *Wisata Danau Sipin Siap Jadi Proyek Ketahanan Iklim Global*. Republika Online. Maret 2023 [Wisata Danau Sipin Siap Jadi Proyek Ketahanan Iklim Global | Republika Online](https://www.republika.co.id/berita/wisata-danau-sipin-siap-jadi-proyek-ketahanan-iklim-global-2023/03/03)
- Resilient Cities Network. 2023. *Project Logic City Of Jambi – Integrated Wastewater Management in Sipin Lake*. <https://resilientcitiesnetwork.org/wp-content/uploads/2023/07/Jambi-TFURP-Project-Logic.pdf>
- Sagala, S., Murwindarti, M., Avila, B., Rosyidie, A., and Azhari, D. 2022. *Sustainable Urban Drainage System (SuDS) as Nature Based Solutions Approach for Flood Risk Management in High Density Urban Settlement*. *International Conference on Disaster Management and Climate Change*. IOP Conf Series: Earth and Environmental Science 986 (2022) 012055. doi:10.1088/1755-1315/986/1/012055
- Saputra, H., Safri, M., dan Rosyani. 2022. *Analisis Dampak Pengembangan Pariwisata Danau Sipin terhadap Ekonomi, Sosial dan Lingkungan di Kota Jambi*. *Jurnal Pembangunan Berkelanjutan*, 5 (2) : 52 – 63.
- Satriawansyah, T., Kasim, M., Fantoni, Dewanto, and Fanani, M. 2024. *Meta-Analysis of Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS) in Reducing Urban Flood Risks*. *Indonesia Journal of Engineering and Education Technology (IJEET)*, 2 (2) : 297 – 303.
- Syahrizal, K. N., Sari, K. E., and Dinanti, D. 2024. *Hubungan Kinerja Sistem Drainase Dengan Permasalahan Pengendalian Air Limpasan Di Kelurahan Pandanwangi Kota Malang*. *PURE : Jurnal Teknik Sipil Universitas Brawijaya*, 13 (2) , 111 – 120.
- Soekma, N. I., and Mahendra, M. O. 2025. *Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase Perkotaan Menggunakan Metode Hidrologi dan Hidraulik*. *Jurnal Konstruksi*, 23(1), 45–56.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.